

**FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.
CONTRUTORA NOBERO ODEBRECHT S.A.
COMPLEXO MADEIRA – AHEs SANTO ANTÔNIO E JIRAU**

**RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS
APRESENTADAS PELO IBAMA NO ÂMBITO
DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO
AMBIENTAL DO COMPLEXO MADEIRA**

**INFORMAÇÕES TÉCNICAS Nºs 17, 19 E 20/2007
COHID/CGENE/DILIC/IBAMA**

11 de maio de 2007

**RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS APRESENTADAS PELO IBAMA NO
ÂMBITO DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL DO
COMPLEXO MADEIRA**

ITEMIZAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

**2. INFORMAÇÃO TÉCNICA Nº 17/2007 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA
(SEDIMENTOS)**

- 2.1. Considerações Iniciais
- 2.2. Considerações Gerais
- 2.3. Questionamentos sobre os Limites das Áreas de Influência e de
Abrangência do Complexo Madeira
- 2.4. Respostas às Perguntas da Informação Técnica 17/2007 (Sedimentos)
 - 2.4.1. Considerações Gerais
 - 2.4.2. Perguntas Específicas
 - 2.4.2.1. Montante dos AHEs
 - 2.4.2.2. Área dos Reservatórios
 - 2.4.2.3. Jusante dos AHEs
 - 2.4.2.4. Alternativas Tecnológicas e Locacionais

**3. INFORMAÇÃO TÉCNICA Nº 19/2007 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA
(ICTIOFAUNA)**

- 3.1. Considerações Gerais
- 3.2. Considerações Iniciais
 - 3.2.1. Metodologia
 - 3.2.2. A Variabilidade Genética e o *Homing*
- 3.3. Mecanismo de Transposição de Peixes
 - 3.3.1. Considerações Iniciais
 - 3.3.2. Respostas às Perguntas da Informação Técnica 19/2007 (Sistema de
Transposição de Peixes)
- 3.4. Ovos e Larvas
 - 3.4.1. Considerações Iniciais
 - 3.4.2. Respostas às Perguntas da Informação Técnica 19/2007 (Ovos e
Larvas)
- 3.5. Espécies Endêmicas
 - 3.5.1. Considerações Iniciais
 - 3.5.2. Respostas às Perguntas da Informação Técnica 19/2007 (Espécies
Endêmicas)

**4. INFORMAÇÃO TÉCNICA Nº 20/2007 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA
(MERCÚRIO)**

- 4.1. Considerações Iniciais
 - 4.1.1. Objetivos da Investigação
 - 4.1.1.1. Objetivo Geral
 - 4.1.1.2. Objetivos Específicos
 - 4.1.2. Metodologia
- 4.2. Considerações Gerais
- 4.3. Respostas às Perguntas da Informação Técnica 20/2007 (Mercúrio)

ANEXOS

ANEXO I – Ministério de Minas e Energia – Brasília – DF – Brasil – Projeto Rio Madeira – Estudos Hidráulicos e de Sedimentos – Sultan Alam – Consultor Independente, janeiro de 2007

ANEXO II – Ministério de Minas e Energia – Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético – Departamento de Planejamento Energético – Nota Técnica, 26 de março de 2007

ANEXO III – Nota Técnica – Sedimentos, Modelos e Níveis D'Água – Prof. Dr. José Galizia Tundisi, Newton de Oliveira Carvalho e Sultan Alam, 10 de abril de 2007

ANEXO IV – Ofício nº 042/2007/SPE/MME, Brasília, 10 de maio de 2007 e respectivos anexos

ANEXO V – Estudo de Impacto Ambiental - Volume 2/3 – Item 8 – Nova Simulação do Modelo da Qualidade da Água, maio de 2005

**RESPOSTAS ÀS PERGUNTAS APRESENTADAS PELO IBAMA NO
ÂMBITO DO PROCESSO DE LICENCIAMENTO AMBIENTAL DO
COMPLEXO MADEIRA**

1. INTRODUÇÃO

Esse documento objetiva consolidar as respostas do Consórcio FURNAS-ODEBRECHT às perguntas formuladas pelo IBAMA nas Informações Técnicas nºs 17-COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, emitida em 12/04/2007 e 19 e 20/2007-COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, ambas emitidas em 23/04/2007, respectivamente sobre sedimentos, ictiofauna e mercúrio, no âmbito do licenciamento ambiental do Complexo Madeira.

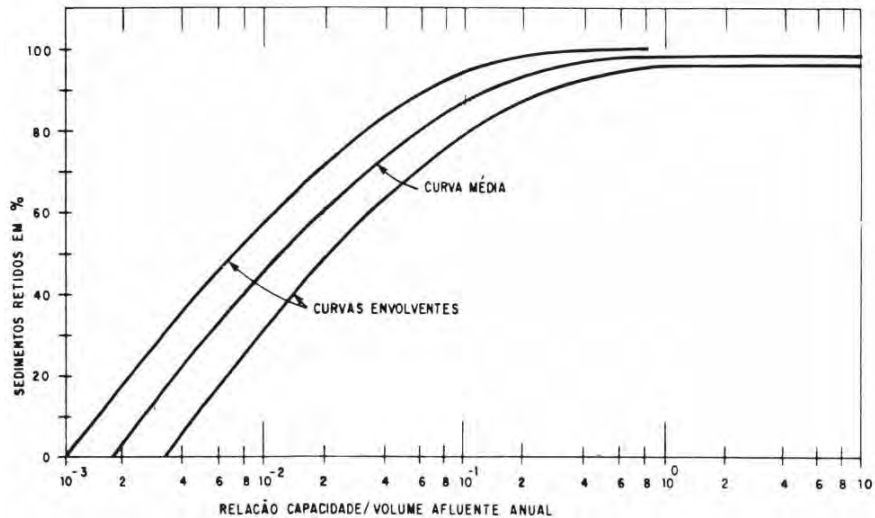
**2. INFORMAÇÃO TÉCNICA Nº 17/2007-COHID/CGENE/DILIC/IBAMA
(SEDIMENTOS)**

2.1. Considerações Iniciais:

Os estudos sedimentológicos para a etapa de viabilidade e para o EIA/RIMA dos AHEs Santo Antonio e Jirau utilizaram o método da curva de Brune para estimar a quantidade de sedimentos que poderia ser retida nos reservatórios. Esta curva foi estabelecida a partir de um conjunto de estudos realizados em diferentes reservatórios onde se incluíam casos a fio d'água e condições diversas de cargas de sedimentos. (Hidrossedimentologia Prática – Newton Oliveira Carvalho – Rio de Janeiro – CPRM – 1994).

Como pode ser observado na figura abaixo, além da curva média, há outras duas curvas envolventes, superior e inferior, que representam situações de reservatórios com sedimentos com granulometria grossa e fina respectivamente.

Figura 1 - Curva de Brune



As estimativas obtidas através da curva de Brune fornecem quantidades retidas, mas não informam sobre a distribuição espacial dessas quantidades.

A Tabela a seguir reúne a Eficiência de Retenção dos reservatórios estimada com base nas curvas de Brune média e inferior, onde pode ser observada a significativa redução da eficiência de retenção quando se adota uma curva adequada a sedimentos finos, ou curva inferior.

Eficiência de Retenção dos Reservatórios (%)

AHEs	Curva Média	Curva Inferior
Santo Antônio (NA =70,00)	19,15	~0
Jirau (NA = 87,00)	8,48	~0
Jirau (NA = 90,00)	19,15	~0

Considerando que os sedimentos transportados pelo rio Madeira são predominantemente finos e, portanto, mais facilmente mantidos em suspensão e carreados pelo fluxo natural do rio, pode-se ver que a opção pelo uso da curva inferior de Brune é a mais indicada.

Como detalhado no EIA e na Nota Técnica dos Consultores, os sedimentos em Abunã são predominantemente finos. Em média 99,2% têm granulometria inferior a 0,25 mm, sendo 24,7% de argilas, 57,2% de siltes e 17,3% de areias finas (<0,25 mm) – 12,5%). O restante, 0,8%, tem granulometria inferior a 2mm. As argilas e siltes e grande parte das areias finas são mantidas em suspensão no trecho do Rio Madeira compreendido entre Abunã e Porto Velho. Uma parcela das areias finas pode depositar em períodos de vazões baixas do Rio Madeira, sendo mobilizada para jusante nos períodos de cheia.

Os tributários do Rio Madeira entre Abunã e Porto Velho têm contribuição praticamente nula em termos de cargas de sedimentos aportados ao Rio Madeira.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.
CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.
COMPLEXO MADEIRA – AHEs SANTO ANTONIO E JIRAU

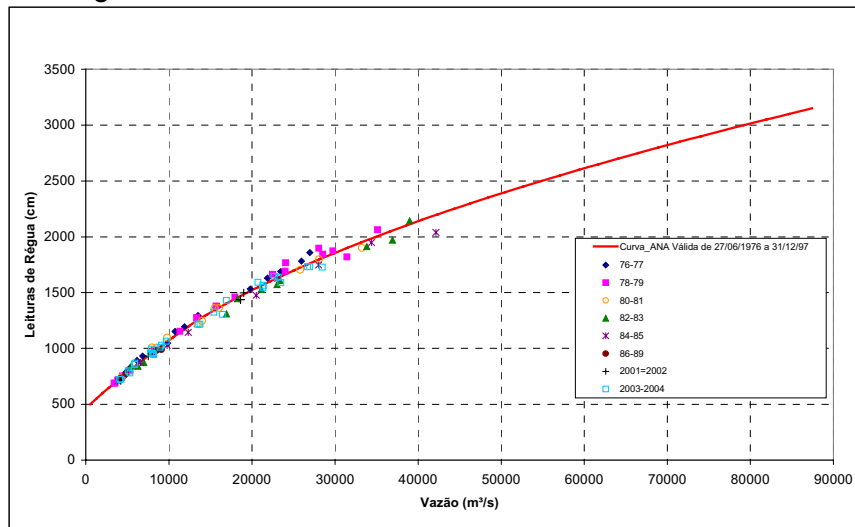
Os sedimentos medidos em Porto Velho têm granulometria bastante semelhante aos medidos em Abunã-Vila, caracterizados também como sedimentos finos, porém com traços de areias grossas e cascalho (diâmetro acima de 1 mm) que compõem uma pequena fração de sedimentos (abaixo de 1% em massa).

Daí vem a conclusão de ser praticamente nula a retenção de sedimentos, desde o início da operação. Esta previsão de retenção nula coincide com a análise independente realizada pelo consultor Dr. Sultan Alam que empregou metodologia diferente da curva de Brune. Assim, os impactos potenciais devidos à retenção de sedimentos tanto ao longo dos reservatórios quanto a jusante do AHE Santo Antonio estão superestimados na análise apresentada no EIA – RIMA e não ocorrerão, já que as condições futuras serão muito próximas das atuais, sem os empreendimentos.

Foram realizados, também, estudos de modelagem de hidráulica fluvial no EIA para responder a três questões básicas que, à época da elaboração do EIA, induzidas pela adoção da curva média de Brune, pareciam relevantes: a espacialização dos sedimentos no reservatório, os tipos de sedimentos predominantes nos pontos de deposição e a identificação da temporalidade, ou seja, se sazonais ou permanentes. Neste estudo foram empregados os modelos HEC-6 e HEC-RAS, fato este que, em reavaliações posteriores, confirmadas por especialistas de notório saber, tornou-se sem sentido tendo em conta a não ocorrência de retenção permanente de sedimentos.

Outro fato que corrobora esta afirmação é que a seção hidráulica em Abunã mantém-se estável e sem alterações ao longo dos últimos 30 anos, evidenciado pela curva-chave local apresentada na Figura 2. Isto significa que não está ocorrendo deposição ou erosão nesta seção.

Figura 2 - Curva-Chave do Rio Madeira em Abunã-Vila



Outra confirmação a esta conclusão são as pequenas alterações das conformações de ilhas e depósitos sedimentares no trecho, identificados em imagens de satélite em diferentes datas.

Neste assunto da área dos reservatórios e da mancha de inundação, o Parecer do IBAMA de 21/03/2007 requer esclarecimento.

No caso do AHE Santo Antônio, a área de 271 km² apresentada para o reservatório no NA máximo normal (70,00 m) está correta, como também a área da mancha de inundação prognosticada para a cheia de 50 anos de recorrência com o reservatório assoreado, correspondente a 583 km².

O que deve ser esclarecido é que o valor da área da mancha de inundação prognosticada para cheia de 50 anos de recorrência para o rio Madeira nas condições naturais corresponde a 560 km², obtido sobre o mesmo desenho usado pelo IBAMA. Isto mostra claramente que as inundações com ou sem o reservatório são da mesma ordem de grandeza.

Para o AHE Jirau essas cifras são: área do reservatório no NA máximo normal (90,00 m) 258 km², área da mancha de inundação prognosticada para a cheia de 50 anos de recorrência em condições naturais , 517 km² e área da mancha de inundação prognosticada para cheia de 50 anos de recorrência para o rio Madeira com o reservatório , 525 km².

A tabela a seguir reúne os valores dessas áreas.

AHE	Área do Reservatório NA máximo normal * (km ²)	Área da Mancha de Inundação da Cheia de 50 anos de recorrência (km ²)	
		Condições Naturais	c/ reservatório s/ assoreamento
Santo Antônio	271	560	580
Jirau	258	517	525

Obs: *Essas áreas, deduzidas as normalmente ocupadas pelo rio Madeira, seriam de cerca de 107 e 136 km² respectivamente para o AHE Santo Antônio e Jirau.

Para os reservatórios do rio Madeira, que mantém características fluviais, não se deve fazer comparações entre a área da mancha de inundação provocada por cheias com a área do reservatório em seu NA máximo normal.

É de ressaltar que os reservatórios a serem formados com os AHE de Santo Antônio e Jirau são muito pequenos em relação às vazões afluentes do rio Madeira, o que determina: tempos de residências muito reduzidos, em média 1,34 e 1,32 dias respectivamente para AHE Santo Antônio e Jirau e velocidades próprias de um rio em situação natural, mesmo no período de estiagem.

2.2. Considerações Gerais

A Instrução Técnica 17/2007 faz referência à necessidade de contratação de especialista de notório saber com conhecimento e experiência comprovada em questões sedimentológicas relacionadas a hidrelétricas e rios com descarga sólida semelhante a do Rio Madeira. O EIA contou com a consultoria

**FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.
CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.
COMPLEXO MADEIRA – AHEs SANTO ANTONIO E JIRAU**

especializada do Professor Dr. Newton Carvalho, um dos maiores especialistas brasileiros na matéria, e o Ministério de Minas e Energia contratou o Dr. Sultan Alam, também especialista nesse campo, com experiência internacional.

A conclusão da referida instrução técnica afirma que os Andes e a planície a montante (Chaco Beni-Llanos) são de fundamental importância para análise das questões hidrossedimentológicas relacionadas com os aproveitamentos hidrelétricos, enquanto afirmação em contrário foi exaustivamente apresentada ao IBAMA pelos consultores Drs. Newton Carvalho e Sultan Alam, ou seja, de que não é imprescindível um conhecimento detalhado da origem dos sedimentos do rio Madeira nesta fase de licenciamento prévio, o que é novamente explicado no item 3.4.2.1.

2.3. Questionamentos sobre os limites das áreas de influência e de abrangência do Complexo Madeira:

O “Termo de Referência para Elaboração do Estudo de Impacto Ambiental e o Respectivo Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA – AHEs no Rio Madeira – AHE Santo Antonio e AHE Jirau e Sistema de Transmissão Associado – setembro de 2009”, elaborado pelo IBAMA, definiu três áreas de influência para o Complexo Madeira:

- Área de Influência Direta, subdividida em meio físico-biótico e meio socioeconômico, e cuja extensão deveria ser definida pelos estudos.
- Área de Influência Indireta, também subdividida em meio físico-biótico e meio socioeconômico, sendo que a extensão do primeiro meio também a ser definida pelos estudos.
- Área de Abrangência Regional, definida de antemão no Termo de Referência como sendo a Bacia Hidrográfica do Rio Madeira em território brasileiro.

O EIA, portanto, definiu as três áreas acima, consoante ao estabelecido no termo de referência dos estudos ambientais, inclusive a sua extensão, não tendo sido questionado o limite das três áreas, haja vista as análises de abrangência e mérito do EIA, bem como o seu aceite para submissão em audiências públicas.

2.4. Respostas às Perguntas da Informação Técnica 17/2007 (Sedimentos)

2.4.1. Considerações Gerais

O tema de sedimentos, sua dinâmica, características e efeitos previstos com a construção dos empreendimentos dos AHES de Jirau e de Santo Antonio no Rio Madeira foi objeto de discussão e avaliação de consultores e especialistas reunidos no Ministério do Meio Ambiente na data de 28/03/2007. Estiveram nesta reunião especialistas brasileiros e estrangeiros de notório saber no tema que indicaram suas recomendações, conclusões e firmaram o entendimento em Nota Técnica específica que consta do processo de licenciamento no IBAMA.

No dia 03/04/2007 foi encaminhada ao IBAMA a versão em inglês do relatório do consultor Sultan Alam. O relatório traduzido foi encaminhado no dia 23/04/2007. O conjunto de Notas Técnicas assinadas pelos especialistas brasileiros e estrangeiros foi protocolado em 25/04/2007.

São os seguintes os especialistas de notório saber:

- José Galizia Tundisi – Professor da USP – Membro da Academia Brasileira de Ciências
- Carlos Eduardo Morelli Tucci – Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS
- Sultan Alam – especialista de renome internacional no tema de sedimentos, consultor do Banco Mundial e convidado pelo MME para analisar o tema aplicado aos projetos do Rio Madeira.
- Newton de Oliveira Carvalho – Doutor Honoris Causa da Universidade Federal do Mato Grosso e reconhecido especialista brasileiro de notório saber no tema de sedimentologia.

Todos os quatro especialistas tiveram oportunidade prévia de conhecer as partes do EIA e suas complementações apresentadas até julho de 2006 relativas aos estudos de sedimentos. O consultor Newton de Oliveira Carvalho esteve várias vezes nos locais dos aproveitamentos percorrendo os trechos de rio correspondentes aos reservatórios, treinando e acompanhando as equipes encarregadas da realização dos serviços hidrossedimentométricos, orientando e acompanhando as análises laboratoriais e a interpretação de seus resultados, além de ter participado das análises sedimentológicas. O Dr. Sultan Alam fez também visita de reconhecimento ao local proposto para o futuro barramento e reservatório de Santo Antonio.

Portanto, a primeira parte da Informação Técnica do IBAMA que recomenda a contratação de especialista de notório saber já foi realizada e os trabalhos apresentados.

Na seqüência são apresentadas, na cor azul, respostas a todas as questões apresentadas na Informação Técnica do IBAMA e comentários a citações. Os quesitos da Informação Técnica do IBAMA estão em letras na cor preta.

2.4.2. Perguntas Específicas

As perguntas do tema de sedimentos foram divididas nos seguintes quatro sub-temas:

- Montante dos AHEs
- Área dos Reservatórios
- Jusante dos AHEs
- Alternativas Tecnológicas e Locacionais

2.4.2.1. Montante dos AHEs

São cinco as perguntas relativas aos trechos de montante, ou seja, no rio Madeira e seus formadores acima do reservatório de Jirau, especialmente fora do território brasileiro.

A maior parte desses quesitos foi objeto de discussão entre os especialistas de notório saber. Parte das respostas já se encontra na Nota Técnica dos Especialistas “Sedimentos, Modelos e Níveis d’Água” assinada pelos especialistas e protocolada no IBAMA pelo Ministério de Minas e Energia.

1. Qual a importância de considerar nos estudos das hidroelétricas a bacia hidrográfica como um todo, e especialmente as unidades morfoestruturais que mais produzem e retêm sedimentos, Andes e planície de montante (Llanos)?

Os especialistas de notório saber foram claros ao afirmar que para a fase de viabilidade dos estudos, o uso de dados colhidos na estação fluviométrica de Abunã retrata a síntese de todos os processos climatológicos, hidrológicos fluviais e geomorfológicos fora do território brasileiro que impactam sobre: quantidade de sedimentos, granulometria e suas características.

A resposta está também na Nota Técnica do MME de 26 de março de 2007 – Não é necessário considerar para a atual fase de estudos a bacia hidrográfica como um todo, especialmente as unidades fora do território brasileiro, já que há dados consistentes de 30 anos colhidos na Estação de Abunã e de 40 anos de observação na Estação de Porto Velho.

Da Nota Técnica – Sedimentos, Modelos e Níveis d’Água, extraímos:

A existência da estação fluviométrica Abunã – Vila , logo a montante da confluência com o rio Abunã, permite avaliar a carga de sedimentos oriunda de toda a bacia do Madeira, inclusive a sub-bacia fora do território brasileiro. Assim, não é necessário, para efeito de avaliação de cargas de sedimentos, realizar levantamento de dados ou estudos de diagnóstico fora do território nacional. Não é imprescindível um conhecimento detalhado da origem dos sedimentos do rio Madeira nesta fase de licenciamento prévio.

A estação fluviométrica em Porto Velho a jusante permite avaliar o comportamento quanto à capacidade de transporte e sedimentação no trecho compreendido pelos reservatórios de Jirau e de Santo Antonio – trecho Abunã – Porto Velho.

Os sedimentos transportados pelo rio têm origem, em sua maior parte, nos trechos andinos formadores do Rio Madeira e, portanto, fora do território brasileiro. Em Abunã os sedimentos são predominantemente finos, em média 99,2% têm granulometria inferior a 0,25 mm, sendo 24,7% de argilas, 57,2% de siltes e 17,3% de areias finas (<0,25 mm) – 12,5%). O restante 0,8% tem granulometria inferior a 2mm. As argilas e siltes e grande parte das areias finas são mantidas em suspensão no trecho do Rio Madeira compreendido entre

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.
CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.
COMPLEXO MADEIRA – AHEs SANTO ANTONIO E JIRAU

Abunã e Porto Velho. Uma parcela das areias finas pode depositar-se em períodos de vazões baixas do Rio Madeira, sendo mobilizados para jusante nos períodos de cheia.

Os tributários do Rio Madeira entre Abunã e Porto Velho têm contribuição praticamente nula em termos de cargas de sedimentos aportados ao Rio Madeira.

Os sedimentos medidos em Porto Velho têm granulometria bastante semelhante aos medidos na Vila de Abunã, caracterizados também como sedimentos finos, porém com traços de areias grossas e cascalho (diâmetro acima de 1 mm) que compõem uma pequena fração de sedimentos (abaixo de 1% em massa).

Destaca-se que durante a visita ao rio Madeira do Dr. Sultan Alam e equipe do MME, foram coletadas amostras em 20 praias na região de Santo Antônio, sendo que apenas na praia Zé Paulino foram coletados materiais com granulometria superior às amostradas em Porto Velho. Todas as demais amostras coletadas têm a composição de sedimentos que comprovam a granulometria similar média amostrada em Porto Velho.

A praia de Zé Paulino localiza-se a montante de Santo Antonio, na parte interna de uma curva do rio, e é formada por material transportado por correntes hidráulicas secundárias. Esses grãos mais grosseiros, alguns com formato angular e não observados em Abunã, demonstram ter uma origem próxima, provavelmente no trecho do Rio Madeira entre Abunã e Porto Velho.

2. Em que sentido a avaliação da bacia hidrográfica como um todo poderia agregar informações relevantes ao diagnóstico do EIA, podendo afetar a decisão sobre a viabilidade ambiental dos AHEs Santo Antônio e Jirau?

A pergunta é uma variante da anterior. Para o diagnóstico do EIA quanto a sedimentos, tema desta Informação Técnica, não é necessário para a definição da viabilidade ambiental avaliar a bacia hidrográfica como um todo, ponto de consenso entre os especialistas e confirmado na Nota Técnica do MME e na Nota Técnica – Sedimentos, Modelos e Níveis d'Água.

3. A área de influência dos AHEs se caracteriza somente sobre o efeito do projeto sobre a bacia ou é importante também identificar a influência da bacia sobre o projeto?

Dois pontos são importantes para destacar: (1) o próprio Termo de Referência do IBAMA limitou a área de estudos ao território brasileiro. Este foi o marco inicial para o EIA; (2) a influência da bacia é considerada, pois tanto as vazões quanto as cargas de sedimentos medidas em Abunã e Porto Velho são um resultado dos processos de erosão e transporte de material sólido da bacia como um todo. Também este ponto foi corroborado pelos especialistas de notório saber.

Como o rio Madeira em Abunã tem uma bacia hidrográfica de cerca de 932000 km² é improvável, mesmo a longo prazo, a ocorrência de um cenário radical de alteração de uso do solo em toda a bacia. O aumento da antropização em áreas localizadas, com reflexo sobre o uso do solo, poderia provocar um aumento da carga de sedimentos. Sendo estes sedimentos predominantemente finos, pelo fato dos formadores do rio Madeira serem rios de baixa declividade, um aumento da carga de sedimentos continuaria a ser transportada pelos reservatórios dadas as suas características hidrodinâmicas. Portanto, mesmo o eventual aumento da carga de sedimentos, não afetaria as condições de transporte de sedimentos nos reservatórios e suas vidas úteis.

4. Qual a importância de conhecer, nas áreas de montante dos AHEs, a hidrometeorologia, fenômenos associados como La Nina e sedimentologia para o planejamento dos empreendimentos?

O tema de La Niña surgiu no Parecer Técnico do IBAMA de 21/03/2007. Da mesma forma, a questão dos processos hidrológicos produzidos pelo fenômeno ENSO – El Niño/Southern Oscillation, assinalada ao longo do texto, que tem sido objeto de pesquisas meteorológicas relativamente recentes, têm uma ocorrência cíclica na escala temporal e suas conseqüências em termos de produção hídrica e de sedimentos da bacia estão também refletidas nas séries hidrológicas históricas, e desta forma, consideradas nos projetos.

Corroborando essa afirmativa, avaliações dos fenômenos cíclicos El Nino / La Nina, no período de 1967 a 2001, para qual estão disponíveis vazões observadas no rio Madeira em Porto Velho, indicam:

- A ocorrência de sete fenômenos do El Nino e seis do La Nina;
- O fenômeno El Nino tende a produzir vazões medias anuais mais elevadas, enquanto que o La Nina tende a reduzir essas vazões.

O estudo desses fenômenos é muito mais útil como base para a previsão de clima, de precipitações e de vazões, atividades características da fase de operação das usinas, quando prognósticos de ocorrências futuras de vazões, podem gerar economia e segurança à geração hidrelétrica.

5. Quais impactos podem ser causados nos e pelos AHEs propostos na ocorrência de elevadas chuvas instantâneas, de rápido crescimento do nível d'água, onde a relação (Transporte de sedimentos / Vazão) pode ser totalmente alterada e exponencialmente aumentada? Quais medidas mitigadoras preventivas podem ser adotadas?

A pergunta é nova e não foi anteriormente apresentada pelo IBAMA. Porém, tal análise é adequada somente no caso de bacias hidrográficas de pequenas dimensões ou de grandes declividades, nas quais os tempos de concentração também são reduzidos, pois tais chuvas têm a característica de ocorrerem em áreas limitadas. Não há possibilidade de chuvas instantâneas causarem um rápido crescimento do nível d'água no Madeira. Este ponto está também tratado na Nota Técnica apresentada pelo MME com a assinatura dos especialistas que afirma textualmente o seguinte:

As variações de vazões em Porto Velho são, de forma geral, graduais devido às dimensões da bacia e pelo fato de que não há, a montante, nenhum reservatório de acumulação construído. As vazões aumentam a partir de valores mínimos anuais de até 2.500 m³/s, em setembro, até 48.750 m³/s ao final de março, início de abril. Embora estas variações (aumentos/decréscimos) não sejam uniformes, pode-se afirmar que em 80 % do tempo a variação é inferior a 500 m³/s/dia. Como o reservatório será operado a fio d'água, as variações de vazão a jusante de Porto Velho ocorrerão de forma muito próxima da atual, sob condições naturais.

Para vazões afluentes iguais ou inferiores à capacidade de engolimento das turbinas, 24.684 m³/s (44 x 561 m³/s), toda a vazão defluente passa pelas turbinas. O que exceder passará pelo vertedouro, sempre mantendo a mesma variabilidade que ocorre nas condições atuais.

De igual forma, não deverão ocorrer picos de concentrações significativos de sedimentos a jusante, pois o transporte de sedimentos ocorrerá de forma contínua, ao longo de todo o ano, pelas turbinas, e no período de cheias pelo vertedouro.

A parcela do sedimento com granulometria mais grossa, entre 1 e 2 mm, será mobilizada com o aumento de vazões, devido à maior turbulência do escoamento no período de subida do hidrograma, passando inclusive pelas turbinas. Por esta razão, as concentrações de sedimentos a jusante da usina serão muito semelhantes às atuais. Os sedimentos transportados por arraste, em sua maior parte durante o período de cheias, também passarão pelo vertedouro.

Estudos posteriores ao EIA demonstraram que o funcionamento das usinas é compatível com as cargas e granulometria dos sedimentos sem a necessidade de estruturas de proteção, como a proposta inicial de manutenção da ensecadeira a montante da tomada d'água no AHE Santo Antonio.

Com esse resultado, o projeto das usinas não deverá mais incluir a permanência da ensecadeira. Esta modificação de uma estrutura provisória de desvio do rio durante a fase de obras não caracteriza alteração de projeto, já que o mesmo mantém todos os elementos definidores principais.

2.4.2.2. Área dos Reservatórios

Neste sub-tema há várias perguntas que tratam de critérios sobre áreas de abrangência de uma hidrelétrica. De forma geral, é necessário dizer que os critérios aplicados às usinas do Madeira são os mesmos usados para todos os empreendimentos do setor elétrico. Por outro lado, o IBAMA não solicitou que se aplicasse um critério diferente ou questionou o critério aplicado. Portanto, ao final do processo de análise do EIA, não se deve rever critérios para aplicar ao caso do Madeira.

As questões específicas foram:

6. Qual é a área de abrangência da inundação de uma hidroelétrica?

O critério aplicado a todas as usinas do setor elétrico, licenciadas pelo IBAMA ou pelos órgãos estaduais, é o da área de inundação demarcada pela cota do nível d'água máximo normal. Assim foi feito para as usinas do Madeira, até porque não havia qualquer outra indicação de critério específico para as usinas no Termo de Referência estabelecido pelo IBAMA. As cotas respectivas em Jirau e Santo Antonio são de 90 e 70 metros acima do nível do mar e elas são a base para a área de inundação.

A propósito, o Setor Elétrico utiliza as seguintes definições: para o nível d'água máximo normal e máximo maximorum do reservatório:

- nível d'água máximo normal corresponde ao nível de água máximo no reservatório para fins de operação normal da usina. Corresponde ao nível que limita a parte superior do volume útil. No caso de usinas a fio d'água este nível coincide com o nível d'água mínimo normal, pois não há depleção.
- nível d'água máximo maximorum – nível de máxima enchente do reservatório – corresponde ao nível máximo atingido no reservatório resultante da passagem de cheia de projeto da barragem com período de recorrência de 10.000 anos, admitindo-se o reservatório no nível máximo normal no início do evento e todas as comportas dos órgãos extravasores operativas.

Como descrito no EIA, o Nível d'Água Máximo Normal no reservatório do AHE Santo Antônio foi fixado na cota 70,00 m, conforme os resultados dos “Estudos de Inventário Hidrelétrico do Rio Madeira - Trecho Porto Velho - Abunã”, no Estado de Rondônia, desenvolvidos por FURNAS e CNO, e aprovados pela ANEEL em abril de 2002.

Para a condição de ocorrência da vazão decamilenar, $Q = 84.000 \text{ m}^3/\text{s}$ o nível d'água do reservatório atinge o seu NA máximo maximorum (72,00). Destaca-se também que a capacidade do vertedouro com as comportas completamente abertas e o nível d'água do reservatório em seu NA máximo normal (70,00 m), e ainda com todas as turbinas inoperantes, é igual a $75.700 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde ao pico de uma cheia com tempo de recorrência superior a 1.000 anos. Desta forma somente em situações muito pouco freqüentes ocorrerá um aumento do nível d'água junto à barragem.

O Tomo E volume 1/3 do EIA detalha este e outros aspectos relativos à regra operativa do AHE Santo Antonio e Jirau.

6.1. Em relação aos aspectos físicos, quais critérios técnicos podem ser utilizados como subsídio a determinação da extensão (longitudinal) de um reservatório bem como determinação do trecho do rio a montante de uma hidrelétrica que é afetado ou impactado por ela?

O critério brasileiro é o da área alagada (ver resposta acima) e, no trecho de montante, a área de remanso. No caso do Madeira este aspecto está esclarecido no item que trata da aplicação da curva guia do reservatório. Ademais, a Resolução da ANA de no. 555 de 19/12/2006 estabelece a condição para não ocorrer remanso além do reservatório de Jirau, especialmente fora do território brasileiro.

O consultor do IBAMA e especialista Prof. Carlos Tucci afirma em sua apresentação à Câmara dos Deputados em 03/05/2007 que: *“para o cenário atual o uso da curva-guia durante a operação evitaria a influência sobre o trecho da Bolívia”* e *“é possível gerenciar o efeito fora do Brasil a montante”*.

Assim, as informações do EIA e a Resolução da ANA demonstram que o projeto Madeira segue as regras aplicadas aos projetos no Brasil e inclui as medidas para conter o reservatório em território brasileiro, conforme atestam os especialistas de notório saber.

Não cabe ao Consórcio propor novos critérios relativos a este tema. Esse assunto deverá ser tratado com os órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira.

6.2. Solicita-se tecer considerações embasadas tecnicamente sobre as seguintes propostas para determinação da extensão longitudinal de reservatórios e trecho do rio afetado por uma usina hidrelétrica:

6.2.1. Relacionar, para um mesmo período de estiagem, como por exemplo a vazão mínima média anual, o perfil da linha d'água natural com o perfil da linha d'água com barragem na sua cota máxima normal de operação, sendo este o ponto de extensão do reservatório.

6.2.2. Relacionar a cota máxima normal de operação de uma hidrelétrica com o perfil do leito do rio até que os valores se igualem, sendo este o ponto do rio diretamente afetado pela usina.

Não cabe ao Consórcio propor novos critérios relativos a este tema. Esse assunto deverá ser tratado com os órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira.

6.3. Quais critérios técnicos podem ser utilizados como subsídio a determinação da abrangência da inundação, ou seja, qual a área diretamente afetada (ADA) transversalmente levando-se em consideração toda a extensão do reservatório?

A regra aplicada a todos os reservatórios no Brasil é o da área de inundação demarcada pelo nível de água na barragem em sua cota máxima normal. Se houver necessidade, proteções específicas poderão ser incorporadas para proteção de estruturas, instalações, benfeitorias. A área de influência direta leva em consideração uma faixa adicional de 100 metros para a área de preservação permanente. Assim foi feito com os reservatórios do Madeira.

Similar ao já esclarecido, novos critérios deverão ser avaliados pelos órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira.

6.4. Elaborar e apresentar uma proposta, na forma de roteiro, contendo os procedimentos necessários para a identificação da área de abrangência da inundação.

Não cabe ao Consórcio propor novos critérios relativos a este tema. Esse assunto deverá ser tratado com os órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira.

7. Quais critérios técnicos podem ser utilizados como subsídio a determinação da extensão do trecho do rio a jusante de uma hidrelétrica que é afetado ou impactado por ela?

O EIA considerou como base a condição de que o regime fluvial a jusante de Santo Antonio não será alterado. Estudos posteriores (uso da curva inferior de Brune e análise da capacidade de transporte pelo consultor Sultan Alam) demonstraram que não haverá retenção de sedimentos nos reservatórios, confirmando a hipótese de manutenção das condições fluviais a jusante de Santo Antonio.

É importante destacar que estes critérios ainda não estão definidos no Brasil e que tal solicitação deverá ser encaminhada aos órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira.

Análise e questionamentos específicos aos AHEs Jirau e Santo Antônio:

Na identificação e computo das áreas diretamente afetadas pelos AHEs Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira, não foram considerados os efeitos de remanso e respectivos perfis da linha d'água em diferentes vazões, identificados no próprio Estudo de Impacto Ambiental.

As áreas diretamente afetadas pelos AHEs Santo Antonio e Jirau foram definidas conforme se faz para os empreendimentos do setor elétrico licenciados pelo IBAMA e órgãos estaduais – a área de inundação acrescida da faixa de 100 metros para preservação permanente.

Os rios afluentes ao rio Madeira, em especial os rios Jaci-Paraná e Mutum-Paraná cujas margens se encontram duas principais ocupações urbanas atingidas pelo reservatório, não foram consideradas na análise do remanso do EIA.

A afirmativa requer esclarecimento. O estudo de remanso de cheias do Madeira foi considerado na definição das áreas de afetação do reservatório. Como conseqüência, está previsto no EIA o remanejamento dessas ocupações urbanas em Jaci-Paraná (parte do distrito na região do Rio Jaci Paraná) e Mutum-Paraná (de toda a parte baixa de Mutum Paraná).

Portanto, é preciso definir a abrangência da inundação de ambos os reservatórios levando-se em conta os efeitos causados pelo barramento e seu respectivo remanso onde se pergunta:

8. Qual perfil da linha d'água deve ser considerado na identificação da abrangência da inundação? Tecer comentários com embasamento técnico a respeito do tema considerando vazões como máxima cheia média anual, Tempo de Recorrência de 10, 25, 50 e 100 anos, bem como demais considerações pertinentes.

O critério de definição da abrangência da inundação utilizado nas usinas do Madeira é o que se aplica a todos os empreendimentos do setor hidrelétrico, como já explicado (resposta a questão 6)

Como já sugerido anteriormente as alterações de critério deverão ser tratadas com os órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira.

Contudo, no EIA foram apresentados perfis da linha d'água para cheias de 50 anos de recorrência em condições naturais e com o reservatório. Foram apresentadas também desenhos com a indicação dessas manchas de inundações em planta.

No caso do AHE Santo Antônio, a área de 271 km² apresentada para o reservatório no NA máximo normal (70,00 m) está correta. O valor da área da mancha de inundação prognosticada para cheia de 50 anos de recorrência para o rio Madeira nas condições naturais corresponde a 560 km², enquanto que a área com reservatório é de 580 km², obtidas sobre o referido desenho. Isto mostra claramente que as inundações com ou sem o reservatório são da mesma ordem de grandeza.

Para o AHE Jirau essas cifras são: área do reservatório no NA máximo normal (90,00 m) 258 km², área da mancha de inundação prognosticada para a cheia de 50 anos de recorrência em condições naturais , 517 km² e área da mancha de inundação prognosticada para cheia de 50 anos de recorrência para o rio Madeira com o reservatório , 525 km².

A tabela a seguir reúne os valores dessas áreas.

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.
CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.
COMPLEXO MADEIRA – AHEs SANTO ANTONIO E JIRAU

AHE	Área do Reservatório NA máximo normal * (km ²)	Área da Mancha de Inundação da Cheia de 50 anos de recorrência (km ²)	
		Condições Naturais	c/ reservatório s/ assoreamento
Santo Antônio	271	560	580
Jirau	258	517	525

Obs: *Essas áreas, deduzidas as normalmente ocupadas pelo rio Madeira, seriam de cerca de 107 e 136 km² respectivamente para o AHE Santo Antônio e Jirau.

Conforme prognósticos apresentados no Estudo de Impacto Ambiental, existe uma expectativa de rápido e significativo assoreamento dos reservatórios, o que pode intensificar os efeitos de remanso, com diversas conseqüências como a sobre-elevação dos perfis de linha d'água.

Estudos posteriores ao EIA (aplicação da curva inferior de Brune e análise da capacidade de transporte de sedimentos pelo consultor Sultan Alam) demonstraram que não haverá deposição significativa de sedimentos com assoreamentos dos reservatórios.

A curva inferior de Brune leva a conclusões similares tanto para o reservatório de Santo Antonio quanto de Jirau. A análise do consultor Sultan Alam foi feita para o reservatório de Santo Antonio, contudo, seus resultados se aplicam igualmente a Jirau pela similaridade das características dos reservatórios (velocidades, tempo de percurso, extensão, declividades), dos sedimentos (granulometria e concentrações) e das vazões em trânsito.

Portanto, uma vez que não ocorrerão assoreamentos, não deverão ocorrer sobre-elevações dos perfis da linha d'água.

Conforme exposto no EIA, no Parecer Técnico nº 014/2007 e a partir das informações, integrantes do processo formal de licenciamento, concernentes à dinâmica sedimentológica que é inerente ao rio Madeira, faz-se necessário maiores esclarecimentos sobre o comportamento desse fenômeno e conseqüentemente seus reflexos sobre as áreas que poderão sofrer interferências, bem como a magnitude dos impactos.

Assim, a garantia do conhecimento com mínima segurança das áreas que os reservatórios tanto de Santo Antônio como de Jirau irão ocupar, seja em condições naturais seja com influência do assoreamento e sua distribuição, bem como a modificação da dinâmica sedimentológica, são necessários para a identificação, prevenção e mitigação dos possíveis impactos.

Nos Estudos de Vida Útil dos AHEs ou na Modelagem de Hidráulica Fluvial, como repetidamente frisado no EIA pelos projetistas, os resultados devem ser considerados como tendências, onde ainda há significativos graus de incerteza. Isso mostra que os estudos não estão consolidados. Nesse sentido, a equipe remete os seguintes questionamentos:

9. Qual é a área de inundação do AHE Jirau, bem como a extensão do remanso, **levando em consideração a influência do assoreamento?**

A questão sobre a área de inundação de uma hidrelétrica foi respondida na pergunta de no. 6.

Quanto ao remanso, como não há previsão de assoreamento nos reservatórios também não há previsão de sobre-elevações de linha d'água como detalhado na resposta à pergunta de no. 8.

Este tema está também tratado na Nota Técnica – Sedimentos, Modelos e Níveis d'Água dos especialistas, que prevê assoreamento praticamente nulo.

No tema de sobre-elevação dos níveis d'água a montante do reservatório de Jirau, a Resolução nº. 555 de 19/12/2006 da Agência Nacional de Águas – ANA definiu em seu artigo 4o. o seguinte:

Art. 4º As condições de operação do reservatório do aproveitamento hidrelétrico serão definidas e fiscalizadas pela ANA, em articulação com o Operador Nacional do Sistema - ONS, conforme disposição do art. 4º, inciso XII e §3º, da Lei nº 9.984, de 2000, devendo respeitar as seguintes condições gerais:

I - vazão mínima remanescente a jusante de 3.240,0 m³/s;

II - a tomada d'água e o vertedouro deverão ser operados de modo a buscar reduzir o acúmulo de sedimentos no reservatório e a promover a descarga controlada de sedimentos acumulados no reservatório;

III - o reservatório poderá ser operado de modo a garantir condições adequadas de qualidade da água e níveis d'água necessários aos usos múltiplos da água no reservatório e no trecho do rio Madeira a jusante da barragem; e

IV - o nível d'água normal do reservatório deverá variar acompanhando as condições naturais do rio Madeira, observando a curva-guia abaixo, avaliada anualmente, e respeitando os níveis d'água necessários à garantia do transporte de balsas em Abunã e à manutenção dos usos múltiplos da água.

No caso específico da região de Abunã, a Resolução da ANA exige a manutenção de condições de fluxo idênticas às atualmente observadas, em que não há evidência de deposição ou de erosão. Assim, os níveis d'água junto ao barramento em Jirau deverão ser estabelecidos de forma a assegurar o cumprimento desta Resolução.

Para as previsões dos perfis de linha d'água dos reservatórios em estudo sem assoreamento, há precisão adequada nos resultados obtidos. Esses resultados mostram que as áreas de inundação para vazões de cheias, com 25, 50 ou 100 anos de recorrência são muito próximas das áreas de inundação em condições naturais. Isto demonstra que os reservatórios em condições de cheias se comportarão muito próximos da situação que seria observada em condições naturais.

10. Em que sentido a regra de operação variável do reservatório de Jirau, proposta no EIA, atende as preocupações de mitigação dos impactos ambientais.

Tanto a Nota Técnica dos especialistas como a apresentação do Professor Tucci na recente audiência pública na Câmara dos Deputados (03/05/2007) atestam a adequação da regra operativa como ferramenta de controle para conter os impactos em território brasileiro.

11. Com a construção do AHE Jirau haverá impacto a montante da seção “42.3 - Rio Abunã”? Caso haja, quais impactos?

A construção do AHE Jirau não causará impactos a montante da seção 42.3 – Rio Abunã. A questão 9 acima, esclarece a dúvida com relação ao remanso na região da fronteira com a Bolívia, inclusive no que diz respeito à regra de operação estipulada pela Resolução da ANA.

12. Levando em consideração o assoreamento indicado no EIA, para o “Trecho I” dos estudos sedimentológicos e Estação Fluviométrica de Abunã (fronteira com a Bolívia), haverá impactos na Bolívia e na Vila de Abunã?

Não, a questão 9 acima, esclarece a dúvida com relação ao remanso na região da fronteira com a Bolívia, inclusive no que diz respeito à regra de operação estipulada pela ANA em Resolução. A isso acrescentamos uma das conclusões do Consultor Sultan Alam, em seu relatório “Projeto Rio Madeira - Estudos Hidráulicos e de Sedimentos - (Tradução).

“As curvas de remanso não devem sofrer impactos importantes uma vez que as velocidades do fluxo são altas e o transporte das areias deve ser em suspensão dentro do total do reservatório. Assim não devem ser formados grandes depósitos de areia nas áreas do remanso nem nas áreas perto da usina. Este projeto, como todos os projetos a fio d'água, deve operar normalmente e ter uma vida longa.”

13. Quais são os efeitos de remanso esperados no trecho do rio Madeira a montante do rio Abunã, no próprio rio Abunã e na sua foz com o rio Madeira, considerando vazões pequenas e médias (mínima média anual e mínimas médias mensais) e altas (máxima média anual e TR 10, 25, 50 e 100 anos)?

De forma idêntica à questão anterior, a resposta já está clara na Nota Técnica dos especialistas. O EIA já indicava que não haveria diferenças para as altas vazões. A questão das diferenças para as baixas vazões foi equacionada pela adoção da curva guia em Jirau e a determinação da resolução da ANA.

14. Qual é a área de inundação para o AHE Santo Antônio, bem como a extensão do remanso, levando em consideração a influência do assoreamento?

A área de inundação para o AHE Santo Antonio não será afetada pelo assoreamento, conforme explicado nas questões 9 e 12 anteriormente respondidas e tratado na Nota Técnica dos especialistas sobre o tema de sedimentos.

15. No caso da implantação do AHE Santo Antônio anteceder a do AHE Jirau, o remanso de Santo Antônio e seu agravamento devido ao assoreamento poderiam afetar a economicidade e vida útil do AHE Jirau?

O EIA analisa os aproveitamentos propostos nos Estudos de Viabilidade. Estes estudos, já aprovados pela ANEEL, demonstraram a viabilidade técnica e econômica dos empreendimentos. O tema de assoreamento foi já esclarecido e não se prevê sua ocorrência. Assim, não há também efeito previsto sobre a economicidade e vida útil do AHE Jirau.

De acordo com a legislação vigente, cabe à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL a gestão e a aprovação dos estudos de inventário hidrelétrico e de viabilidade técnico-econômica de aproveitamentos hidrelétricos. Além da aprovação da ANEEL, os empreendimentos, para se tornarem aptos aos leilões de concessão e venda de energia, passam pela análise técnica da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, e aprovação final do Ministério de Minas e Energia. Nenhuma dessas entidades manifestou restrições quanto às questões acima colocadas.

Entretanto, julgamos que é sempre oportuno lembrar que o objetivo da etapa de estudos de viabilidade é a definição da concepção global de um dado aproveitamento da melhor alternativa de divisão de queda estabelecida na etapa de inventário hidrelétrico, visando sua concepção técnico-econômica e ambiental e a avaliação de seus benefícios e custos associados.

Os estudos realizados até o momento no rio Madeira são suficientemente conclusivos quanto a garantir que não há risco algum à vida útil dos aproveitamentos e a modificações de níveis d'água nas áreas de remanso.

Mais uma vez transcrevemos uma das conclusões do Consultor Sultan Alam, em seu relatório “Projeto Rio Madeira - Estudos Hidráulicos e de Sedimentos - (Tradução)”:

“As curvas de remanso não devem sofrer impactos importantes uma vez que as velocidades do fluxo são altas e o transporte das areias deve ser em suspensão dentro do total do reservatório. Assim não devem ser formados grandes depósitos de areia nas áreas do remanso nem nas áreas perto da usina. Este projeto, como todos os projetos a fio d’água, deve operar normalmente e ter uma vida longa.”

2.4.2.3. Jusante dos AHEs

As perguntas e afirmativas sobre a área de jusante são:

...

No entanto, o EIA não contemplou em nenhum momento um diagnóstico da situação inicialmente prevista da operação do reservatório ou vislumbrou a possível ocorrência de impactos que podem advir dessa operação.

A condição de operação a fio d’água significa que não haverá alteração das condições de vazão do rio Madeira a jusante das usinas. A demonstração dos estudos recentes da não formação de assoreamentos e, conseqüentemente da não alteração das descargas sólidas, permite concluir que não se prevê impactos referentes a sedimentos a jusante das usinas devidos à sua implantação e operação.

16. Quais os impactos na qualidade da água, morfologia da calha, portos, margens, praias e ilhas do rio podem ser esperados a jusante do AHE Santo Antônio decorrentes da operação prevista?

A operação a fio d’água e a manutenção da capacidade de transporte de sedimentos asseguram a não alteração das condições de qualidade da água, morfologia da calha, portos, margens, praias e ilhas do rio no trecho a jusante da usina de Santo Antonio.

Transcrevemos novamente a seguir trecho da Nota Técnica – Sedimentos, Modelos e Níveis d’Água

O reservatório de Santo Antonio com capacidade de acumulação da ordem de 2.075 hm³ caracteriza-se como um pequeno reservatório quando comparado com o regime de vazões do rio Madeira, com uma vazão média anual da ordem de 18.000 m³/s. O tempo de residência deste reservatório para a vazão média anual é da ordem de 1,3 dia. Será operado a fio d’água, isto é, com vazões defluentes sempre iguais às vazões afluentes ao reservatório.

O regime fluvial do rio Madeira caracteriza-se por apresentar períodos de cheia e de recessão bem definidos. De maneira geral, o início da subida do hidrograma ocorre durante os meses de outubro / novembro, atingindo seu pico durante os meses de março / abril, quando tem início a recessão que se estende até setembro / outubro.

As variações de vazões em Porto Velho são, de forma geral, graduais devido às dimensões da bacia e pelo fato de que não há, a montante, nenhum reservatório de acumulação construído. As vazões aumentam a partir de valores mínimos anuais de até 2.500 m³/s, em setembro, até 48.750 m³/s ao final de março, início de abril. Embora estas variações (aumentos/decréscimos) não sejam uniformes, pode-se afirmar que em 80 % do tempo a variação é inferior a 500 m³/s/dia. Como o reservatório será operado a fio d'água, as variações de vazão a jusante de Porto Velho ocorrerão de forma muito próxima da atual, sob condições naturais.

Para vazões afluentes iguais ou inferiores à capacidade de engolimento das turbinas, 24.684 m³/s (44 x 561 m³/s), toda a vazão defluente passa pelas turbinas. O que exceder passará pelo vertedouro, sempre mantendo a mesma variabilidade que ocorre nas condições atuais.

De igual forma, não deverão ocorrer picos de concentrações significativos de sedimentos a jusante, pois o transporte de sedimentos ocorrerá de forma contínua, ao longo de todo o ano, pelas turbinas, e no período de cheias, pelo vertedouro.

A parcela do sedimento com granulometria mais grossa, entre 1 e 2 mm, será mobilizada com o aumento de vazões, devido à maior turbulência do escoamento no período de subida do hidrograma, passando inclusive pelas turbinas (com a remoção do remanescente da ensecadeira submersa). Por esta razão, as concentrações de sedimentos a jusante da usina serão muito semelhantes às atuais. Os sedimentos transportados por arraste, em sua maior parte durante o período de cheias, também passarão pelo vertedouro.

17. Quais os efeitos decorrentes da variação do fluxo sazonal (vazões baixas e vazões altas) e interanual (provocados pela retenção dos sedimentos até a estabilização do fluxo, conforme previsto no EIA) dos sedimentos e seus impactos no trecho a jusante, com a implantação do AHE Santo Antônio e do AHE Jirau?

Esta questão está tratada na Nota Técnica dos Especialistas e também na questão anterior. Considerando a situação de não retenção não haverá efeitos causados por variações de fluxo sazonais.

Em condições naturais o fluxo sazonal de sedimentos do rio Madeira, em Porto Velho, expresso através da concentração de sedimentos em suspensão, tem as seguintes características médias:

Período	Concentrações
Seca: Ago - Out	< 200 mg/l
Subida do hidrograma: Nov - Jan	300 a 750 mg/l
Cheia: Fev - Abr	1.000 a 1.500 mg/l
Recessão do hidrograma: Mai - Jul	300 a 700 mg/l

No período mais seco do ano o sedimento em trânsito ao longo do rio Madeira entre Abunã e Porto Velho, tem uma granulometria mais fina e são observados freqüentes depósitos em razão da menor capacidade de transporte do rio Madeira. No período de subida do hidrograma verifica-se um aumento da capacidade de transporte e tem início a mobilização dos depósitos formados no período anterior.

Para o período de grandes cheias, o rio Madeira tem plena capacidade de transporte, mobilizando os depósitos para a jusante, até que durante o período de recessão do hidrograma, sua capacidade é reduzida, tendo início a formação de novos depósitos em sua calha, fechando assim o ciclo hidrológico.

Considerando que a capacidade de transportar sedimentos será pouco afetada com a construção dos reservatórios, os impactos destes sobre o fluxo de sedimentos serão pouco expressivos, variando sazonalmente da seguinte forma:

- Período de seca – são esperadas algumas deposições na região mais profunda dos reservatórios, isto é nos trechos próximos a barragem, com a conseqüente redução da concentração de sedimentos a jusante em relação à condição natural. O sedimento passará exclusivamente pelas turbinas;
- Período de subida do hidrograma – início da mobilização dos depósitos formados no período anterior para jusante. A concentração de sedimentos a jusante da barragem deve ser ligeiramente superior à condição natural. Para vazões médias o vertedouro ficará inoperante e o sedimento somente passará pelas turbinas.
- Período de cheia – mobilização plena dos depósitos para jusante e operação dos vertedouros. Neste período é esperado um acréscimo de concentração de sedimentos a jusante mais significativo em relação às condições naturais. Contudo, a regra de operação dos vertedouros garante uma variação gradual das concentrações à jusante até sua estabilização.

Destaca-se a grande variabilidade das concentrações do rio Madeira em Porto Velho, cuja média em fevereiro é estimada em 933 mg/l e o máximo medido foi de 3.500 mg/l em 16 de fevereiro de 2002.

- Período de recessão do hidrograma – transição entre os períodos de cheia e seca, com a redução da capacidade de transporte e a conseqüente redução, pouco significativa, da concentração de sedimentos a jusante em relação à condição natural;

18. Existe retenção zero na Curva de Brune?

Sim, conforme Mahmood (1987), ASCE (1977) e Carvalho (1994). A retenção zero ocorre na situação de equilíbrio sedimentométrico do reservatório. Para as usinas do Madeira e conforme os estudos recentes, a condição de equilíbrio é alcançada imediatamente logo após a entrada em operação, em função dos baixos tempos de residência e da granulometria dos sedimentos (finos).

19. A Curva de Brune é representativa para o rio Madeira e os AHEs Jirau e Santo Antônio?

Sim. Segundo Brune (1953) não há restrições para sua utilização. Como descrito no EIA, a curva de Brune foi estabelecida a partir de levantamentos sedimentométricos de vários reservatórios nos EUA inclusive reservatórios com baixos tempos de residência, inferiores até aos de Jirau e Santo Antonio. Além disso, a Curva de Brune é a única do gênero que considera a granulometria do sedimento.

Tem sido utilizada em diversos aproveitamentos no Brasil e no exterior. A exemplo de outros estudos realizados no Brasil, está prevista a execução de monitoramento específico para acompanhamento da eventual modificação do leito.

20. Segundo o U.S.Bureau of Reclamation (1977) apud Mahmood (1987) o método de Brune não deve ser utilizado para períodos inferiores a 10 anos, portanto é adequada a sua utilização em períodos anuais?

Sim. A recomendação apresentada na citada referência sobre o método de Brune trata da limitação do seu uso para uma série curta de dados (inferior a dez anos) por não representar com segurança o deflúvio sólido médio anual afluente ao reservatório. A evolução de volumes retidos em reservatórios deve ser calculada para longos períodos (por exemplo, 100 anos) e determinada com passo de cálculo anual, o que exprime mais adequadamente a variação do peso específico aparente do depósito de sedimentos e da eficiência de retenção.

Não se deve confundir passo de cálculo com a recomendação do Bureau of Reclamation quanto à extensão da série.

21. Existirá uma estabilização na retenção dos sedimentos conforme colocado no EIA?

Sim. Os estudos recentes com base na Curva de Brune inferior apontam para uma imediata estabilização do reservatório pela retenção nula. Nesta situação a vida útil dos reservatórios é ilimitada.

Estudos elaborados pelo Consultor Sultan Alam sobre a capacidade de transporte do rio Madeira indicam que não há risco de assoreamento e apontam para uma vida útil dos reservatórios também ilimitada.

22. Existem elementos técnicos que embasem a hipótese de retenção nula de sedimento nos reservatórios de Santo Antônio e Jirau?

A retenção nula ocorre a partir de uma situação de equilíbrio entre a afluência e a descarga de sedimentos do reservatório. Esta é demonstrada a partir da aplicação da curva inferior de Brune. Esta condição foi também demonstrada pelo especialista Dr. Sultan Alam em sua análise da capacidade de transporte do rio Madeira.

23. Os reservatórios operarão na condição de comportas fechadas em média 8 a 9 meses por ano, portanto nesta condição quais impactos podem ser esperados no reservatório e a jusante?

No período de vazões inferiores à capacidade de engolimento das turbinas, período de menor concentração, os sedimentos predominantemente finos serão descarregados para jusante exclusivamente pelas turbinas. A presença de sedimentos de maiores dimensões neste período de baixas vazões é mínima. Estes sedimentos tenderão a se manter depositados até serem arrastados no período de vazões elevadas, como acontece no regime natural. Assim sendo, não são esperados impactos no reservatório e a jusante.

24. Os reservatórios operarão na condição de comportas abertas em média 3 a 4 meses por ano, portanto nesta condição quais impactos podem ser esperados no reservatório e a jusante?

No período de vazões superiores à capacidade de engolimento das turbinas, período de maiores concentrações de sedimentos, a hidrodinâmica do escoamento (velocidades, profundidades, turbulências) na região imediatamente a montante das barragens, em particular na aproximação às Tomadas de Água e dos Vertedouros, tem capacidade para transportar todos os sedimentos para jusante, seja pelas turbinas ou pelo vertedouro.

A passagem de sedimentos mais grosseiros pelo vertedouro no período de vazões elevadas pode ser garantida pela regra de operação das comportas, permitindo assim um controle de condições para evitar excessos de concentrações de sedimentos e reduzir os impactos a jusante.

Considerando que não se prevê depósitos expressivos de sedimentos logo a montante dos vertedouros formados durante o período de estiagem e que a operação gradual das comportas do vertedouro não causará variações bruscas de vazões nem de concentrações de sedimentos, conclui-se que não deverão ocorrer impactos significativos a jusante. A regra de operação das comportas, como de praxe no setor elétrico, será definida em modelo reduzido por ocasião do projeto executivo.

Deve ser destacado também que não estão previstas operações de “flushing”, ou seja, abertura rápida e total de uma ou mais comportas para descarga de sedimentos para jusante, visando à remoção de depósitos expressivos de sedimentos a montante da barragem, uma vez que não são esperadas ocorrências desses depósitos como comentado anteriormente.

Operações do tipo acima são desnecessárias e desaconselháveis por produzir ondas mais significativas a jusante que podem, eventualmente, causar danos às margens e a navegação de menor porte nas imediações das obras. Por isto, não deverão fazer parte das regras normais de operação do vertedouro.

2.4.2.4. Alternativas Tecnológicas e Locacionais

25. O consultor faz análise expedita do potencial de transporte de sedimentos relacionado com a velocidade da água em diversas seções utilizando metodologia diferente das utilizadas no EIA e no Brasil. Qual o embasamento técnico e bibliografia que fundamenta o método de cálculo?

A metodologia utilizada pelo Consultor Sultan Alam está baseada no gráfico da distribuição da carga de sedimento suspenso desenvolvido por Hunter Rouse (ref: Sedimentation Engineering-ASCE - Manuals and Reports on Engineering Practice nº 54) tendo sido usada para estudar o transporte de areia ao longo do reservatório a fio d'água, conforme descreve o autor em seu Relatório “Projeto Rio Madeira Estudos Hidráulicos e de Sedimentos (Tradução)” de Janeiro de 2007, encaminhado ao IBAMA em 24 de abril de 2007. A metodologia não pode ser considerada expedita. A restrição, apontada pelo autor, diz respeito à aproximação dos cálculos tendo em conta que os dados das larguras efetivas do rio e do reservatório a fio d'água, profundidades hidráulicas e inclinações das superfícies d'água, derivadas de informações do relatório e usadas nos cálculos para as condições existentes e com o reservatório a fio d'água, são aproximados, salientando que, mesmo assim, os cálculos são válidos e suficientes para esta fase de viabilidade ambiental.

Para estudar as importantes mudanças nos parâmetros hidráulicos nas características de transporte de areia ao longo do comprimento do rio por esta metodologia, 18 trechos de rio foram considerados.

Conhecendo a velocidade de cisalhamento local u^* que é função de $(gdi)^{0,5}$

onde:

- g = aceleração de gravidade
- d = profundidade do fluxo
- i = inclinação da superfície d'água ou gradiente de energia do fluxo do rio

e a velocidade de queda w de um determinado tamanho do grão de areia, é possível determinar a razão w/u^* que define a distribuição vertical do grão de areia em movimento no fluxo turbulento.

Os seguintes procedimentos foram usados para determinar a profundidade de fluxo e a inclinação da superfície d'água: Para um determinado trecho, a profundidade de fluxo d foi aquela localizada no extremo de montante e a inclinação da superfície d'água foi obtida dividindo a diferença das profundidades d'água nos extremos de montante e de jusante pelo comprimento do trecho (Parece que os níveis d'água indicados para seção 8 para as condições naturais e com o reservatório a fio d'água estão influenciados pelas velocidades de fluxo sobre o salto de Teotônio (ref: Tabela 7.54 e Tabela 7.60) assim criando uma subestimação das inclinações da superfície d'água (algumas vezes negativas) entre seções 8 e 7, que impacta a capacidade de transporte de areia localmente como freqüentemente é aparente nos valores de w/u^*).

A figura a seguir mostra a distribuição relativa da carga em suspensão como desenvolvida por Rouse. Para $w/u^*=0,06$ a distribuição é quase vertical sobre toda a profundidade de fluxo. Para $w/u^*=2$ o grão está ainda em suspensão, mas somente sobre 30% da profundidade de fluxo. Para $w/u^*=4$ o autor assumiu que o grão é quase inerte.

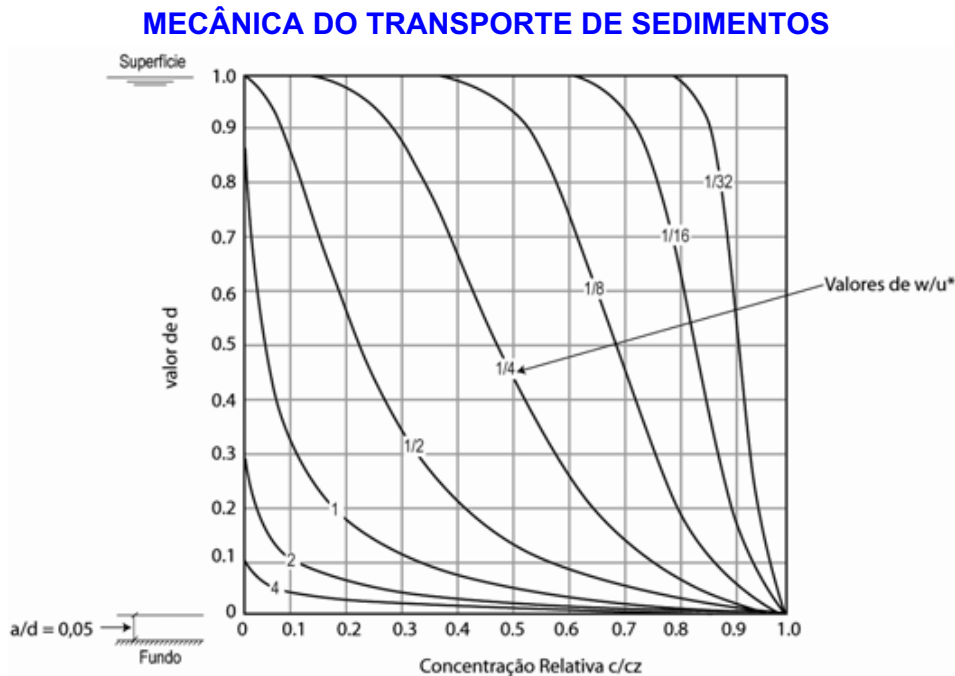


Gráfico de Rouse com Equação da Distribuição da Carga Suspensa sedimentar

26. Qual a confiabilidade da metodologia?

A metodologia é indicada no Sedimentation Engineering - Manuals and Reports on Engineering Practice nº 54, da Sociedade Americana de Engenharia Civil (ASCE), juntamente com outras, como a de Brune.

27. Este método pode ser utilizado isoladamente ou deve ser utilizado em conjunto com outros?

Pode ser utilizado isoladamente. Entretanto a utilização de mais de uma metodologia é sempre uma boa prática por dar mais segurança às análises.

28. Os cálculos de transporte e deposição de sedimentos estão inclusos nos modelos computacionais de hidráulica fluvial?

Sim. Os modelos computacionais de hidráulica fluvial consideram as equações de escoamento, de transporte e deposição de sedimentos.

Esses modelos exigem uma grande quantidade de informações, tais como seções transversais, definição dos controles rígidos do leito, granulometria do material do leito, entre outras, que se constitui na grande dificuldade de aplicação dos mesmos.

29. A análise foi realizada para o arranjo construtivo do AHE de Santo Antônio apresentado no EIA ou para o arranjo proposto pelo consultor?

A análise do Consultor Alam foi feita para o reservatório de Santo Antônio independentemente do arranjo de suas estruturas, por que trata apenas do trânsito dos sedimentos ao longo do reservatório e não de sua passagem pelas estruturas. Sobre esse particular destaca-se que a sugestão de arranjo proposta pelo Consultor deve ser entendida como uma das possibilidades de otimização a ser avaliada nas fases subseqüentes, como é prática no setor elétrico.

O Consultor Sultan Alam recomenda a realização de estudos em modelo hidráulico reduzido na fase de projeto básico, para otimização das estruturas do arranjo, o que se constitui numa boa prática de projetos em usinas hidrelétricas, tanto no Brasil quanto no exterior.

É oportuno salientar que o arranjo adotado no Estudo de Viabilidade Técnica Econômica e aprovado pela ANEEL foi resultado de análise de uma grande quantidade de lay-outs, cerca de 14, elaborados a partir de considerações das características topográficas, hidrológicas, geológicas e geotécnicas locais e as seguintes condicionantes e premissas.

- Proximidade com área Urbana da Cidade de Porto Velho

O sítio do AHE Santo Antônio localiza-se a cerca de 6 km a montante da cidade de Porto Velho. Na margem direita, nas proximidades dos eixos estudados existem construções de importante valor histórico e cultural, a exemplo da Igreja de Santo Antônio – situada a cerca de 250 m a jusante dos eixos estudados – e a Casa dos Ingleses – situada a 240 m a montante. Em função da localização e da importância dessas construções, foram consideradas no desenvolvimento das alternativas de arranjo as seguintes premissas:

- Evitar qualquer interferência construtiva direta com a Igreja de Santo Antônio;
 - Relocação da Casa dos Ingleses para local livre de interferência das obras e do futuro reservatório a ser formado;
 - Evitar interferências com o cemitério de Santo Antonio, com a via de acesso local e com as residências e comércio nessa via.
- O Fechamento do Rio

Na região da Cachoeira de Santo Antônio existem diversas ilhas constituídas de afloramentos rochosos destacando-se, por sua área e elevação, a Ilha do Presídio localizada mais próxima da margem esquerda. O desnível natural no trecho da Cachoeira, atinge 1 a 2 m dependendo da vazão em trânsito.

A configuração topográfica do sítio e o desnível natural da cachoeira determinam que, durante a fase de desvio, o fechamento do leito do rio seja feito por pré-ensecadeiras lançadas imediatamente a montante do início da Cachoeira, apoiadas sobre as ilhas. Nesse trecho, é possível obter-se desníveis, entre o nível d'água a montante e a jusante das ensecadeiras, mais favoráveis para o fechamento do rio.

Na segunda fase do desvio, em todas as alternativas, foi adotada como premissa a utilização de blocos rebaixados do vertedouro (perfil Creager inconcluso), visando facilitar o lançamento e reduzir a altura das respectivas ensecadeiras de montante.

- O Tipo de Turbina

Os estudos elaborados visando à caracterização do estado da arte das turbinas Bulbo e também as análises comparativas entre este tipo de turbina e a turbina Kaplan para as condições locais, resultaram na recomendação da utilização de turbinas Bulbo no aproveitamento de Santo Antônio. Portanto, todas as alternativas de arranjo foram desenvolvidas considerando este tipo de equipamento.

- A Motorização
- Por ocasião da elaboração dos estudos de arranjo foi considerada, em todas as alternativas, a potência instalada de 3.150 MW, com a implantação de 44 unidades Bulbo de 71,6 MW (na saída do gerador), que representa o limite do estado da arte atual.
- A Geração Antecipada

Em todas as alternativas analisadas adotou-se o conceito de antecipar a entrada em operação comercial do maior número possível de unidades de forma a antecipar receitas com a obra ainda em andamento.

- Os níveis dos reservatórios

Todas as alternativas consideraram os níveis máximo normal e o máximo maximorum do reservatório de Santo Antônio nas elevações 70,00 m e 72,00 m, respectivamente.

30. Qual a cota da tomada d'água considerada na análise elaborada para o MME?

A elevação indicada nos Estudos de Viabilidade para o AHE Santo Antonio, ou seja: elevação da soleira da tomada d'água na cota 25,20 m e a borda superior da boca da tomada d'água na cota 54,90 m, conforme ilustrado na Figura 3 a seguir.

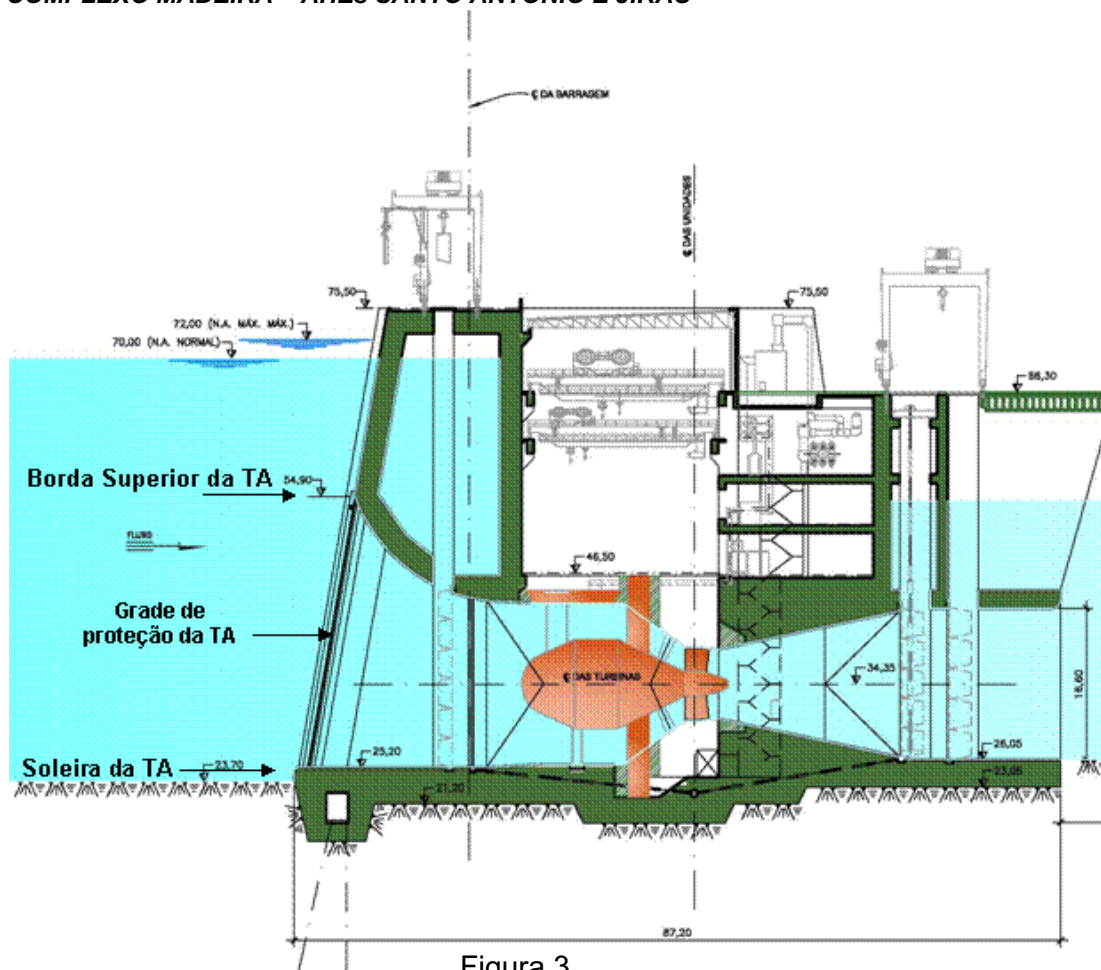


Figura 3

31. Os sedimentos são um risco a economicidade dos AHEs propostos no EIA? E no proposto pelo consultor do MME?

Os sedimentos não constituem risco para nenhum dos arranjos considerados, seja nos desenvolvidos nos Estudos de Viabilidade ou na sugestão apresentada pelo Consultor do MME, conforme demonstrado na Nota Técnica de Sedimentos preparada pelos especialistas de notório saber e nas reuniões realizadas no MMA, quando foram feitas apresentações do tema. O EIA analisa os aproveitamentos propostos nos Estudos de Viabilidade. Estes estudos, já aprovados pela ANEEL, demonstraram a viabilidade técnica e econômica dos empreendimentos, conforme apresentado na resposta à questão 15. Especificamente quanto aos sedimentos não há qualquer risco à economicidade dos mesmos. Como já mencionado anteriormente, na fase posterior de projeto, os arranjos serão otimizados em modelo reduzido.

32. A tomada d'água em cotas próximas ao leito do rio poderia ter uma boa relação custo x benefício uma vez que possibilitaria a passagem de sedimentos mais próxima ao natural?

As cotas de soleiras das tomadas d'água, em Jirau e Santo Antônio, são muito próximas ou mesmo inferiores às cotas do leito natural do rio Madeira nesses locais. Portanto não causam qualquer impedimento à passagem de sedimentos para jusante.

Como não há restrições à passagem de sedimentos nos arranjos estudados, não há sentido na realização de análises benefício / custo para definição das cotas das soleiras, como indicado na questão.

33. Discutir a abordagem de prognóstico da dinâmica dos sedimentos no reservatório desenvolvida pelos autores do EIA vis-à-vis o estudo do consultor Dr. Sultan Alam. Qual a abordagem mais adequada para o tipo de análise necessária em um estudo de viabilidade e de impacto ambiental para os AHEs Santo Antônio e Jirau?

No EIA foram usadas duas metodologias: a primeira baseada na Curva de Brune para avaliação da vida útil do aproveitamento e a segunda correspondente à modelagem do transporte de sedimentos.

Estudos recentes indicaram ser a curva inferior de Brune adequada à previsão do comportamento de sedimentos e coerente com os resultados da análise realizada pelo consultor Dr. Sultan Alam. Estas metodologias são complementares e adequadas para análise dos aproveitamentos em questão.

O importante a ser destacado é que ambas as metodologias (da curva de Brune e da capacidade de transporte) conduzem às mesmas conclusões quanto à vida útil dos aproveitamentos e, portanto, à viabilidade de ambos sob este aspecto.

Destaca-se que nos estudos de remanso dos reservatórios em condição natural, constantes do EIA, foi utilizado o modelo HEC-RAS – River Analysis System, versão 3.0 de janeiro de 2001, desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers Este modelo considera as seções transversais medidas ao longo estirão fluvial estáveis, isto é, sem considerar a possibilidade da mobilidade do leito por erosões ou assoreamentos, numa abordagem permanente, unidimensional e gradualmente variada. Nas próximas etapas de projeto está prevista a utilização desse modelo para estudos e detalhamentos.

O consultor do IBAMA e especialista Prof. Carlos Tucci, corroborando o uso desta ferramenta, afirmou em sua apresentação à Câmara dos Deputados em 03/05/2007 que: “a metodologia de estimativa de níveis para o cenário atual é adequada”.

Nas simulações de transporte de sedimentos ao longo do rio Madeira em condições naturais e com reservatório foi utilizado o modelo HEC6 – Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs, também desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers. É um modelo numérico unidimensional de fundo móvel, destinado à simulação do escoamento em canais e à previsão de mudanças geométricas nas seções fluviais e nos perfis de linha de água, resultantes da erosão e do assoreamento, através de longos períodos de tempo. Constitui-se numa ferramenta atualizada de análise e mundialmente utilizada.

O HEC-6 é capaz de simular uma rede de canais e cursos de água afluentes, analisando efeitos de dragagem, implantação de diques, depósitos em reservatórios ou quaisquer outras modificações no canal fluvial, empregando diversos métodos para o cálculo do transporte de sedimentos.

Entretanto, as reavaliações posteriores, confirmadas pelos especialistas de notório saber, quanto a não ocorrência de retenção permanente de sedimentos, tornou sem sentido a aplicação deste modelo nos casos dos reservatórios do rio Madeira.

34. Com relação à dinâmica dos sedimentos no reservatório, discutir o resultado das diferentes hipóteses assumidas entre o EIA e as dos estudos do consultor Dr. Sultan Alan particularmente quanto à intensidade e distribuição da deposição dos sedimentos bem como sua influência sobre a dinâmica dos reservatórios de Santo Antônio e Jirau.

Os estudos posteriores ao EIA com o emprego da curva inferior de Brune e o método da capacidade de transporte, utilizada pelo consultor Dr. Sultan Alam, conduzem a resultados coerentes e convergentes quanto à retenção nula de sedimentos nos reservatórios.

As conclusões relativas ao reservatório de Santo Antonio são também válidas para o caso de Jirau pelas similaridades entre os dois reservatórios, conforme já descrito anteriormente.

35. O arranjo proposto para os AHEs Santo Antônio e Jirau, por ter tomada d'água elevada, assemelha-se à figura (1) reproduzida adiante?

A figura absolutamente não se aplica ao caso. Os arranjos propostos para os AHEs Santo Antonio e Jirau não têm tomadas d'água elevadas e não guardam qualquer semelhança.

A figura em questão, tirada do livro “Hidrossedimentologia Prática”, de 1994, do Consultor Newton de Oliveira Carvalho, se refere a uma usina do tipo de Itaipu, por exemplo, com grande reservatório, alta queda, tomada d'água elevada e grande volume morto. As usinas do rio Madeira, ao contrário, têm pequenos reservatórios, baixas quedas, tomadas d'água e vertedouros com soleiras próximas ao leito do rio e volumes mortos inexistentes.

Adicionalmente, a figura se refere à maioria dos reservatórios com formação de delta. Normalmente estes reservatórios têm um alargamento em sua entrada com grande queda de velocidade, o que propicia a formação de depósitos. No caso das usinas do Madeira os reservatórios não possuem esta característica mantendo-se como o próprio curso d'água, com velocidades da corrente muito próximas das naturais, capazes de manter o transporte de sedimentos.

36. Quais impactos identificados na figura (1) podem ser esperados para os AHEs Santo Antônio e Jirau?

Conforme Relatório “Projeto Rio Madeira Estudos Hidráulicos e de Sedimentos (Tradução)” de Janeiro de 2007, do Consultor Sultan Alam, encaminhado ao IBAMA em 24/04/2007, o único impacto, entre os apontados na figura, poderá ser a formação de pequenos depósitos de areias grossas e cascalhos finos, num processo lento e intermitente, limitado a áreas específicas. O processo é intermitente pois são depósitos que se formarão e serão removidos anualmente. As áreas específicas citadas acima se referem às depressões mais profundas do leito.

37. Podem ser esperados depósitos de remanso?

Não. Esse assunto foi abordado em várias questões anteriores e amplamente discutido nas reuniões de março de 2007 e está esclarecido na Nota Técnica “Sedimentos, Modelos e Níveis d'Água” de 10/04/2007.

38. Realizar comentário e sugestão sobre as possíveis soluções de engenharia que podem ou devem ser estudadas, visando o controle e gestão preventiva do assoreamento e da vida útil dos aproveitamentos.

Conforme indicado nos Estudos de Viabilidade do AHE Jirau e Santo Antonio, bem como no Relatório “Projeto Rio Madeira Estudos Hidráulicos e de Sedimentos (Tradução)” de Janeiro de 2007, do Consultor Sultan Alam, encaminhado ao IBAMA em 24/04/2007 e Nota Técnica “Sedimentos, Modelos e Níveis d'Água”, essas soluções deverão ser desenvolvidas nas fases posteriores de projeto, em modelos hidráulicos reduzidos, como é prática usual nos projetos de hidrelétricas.

39. Realizar comentário e sugestão sobre possíveis alternativas de gestão dos sedimentos para os empreendimentos propostos no EIA (sediment routing)?

Da mesma forma, essa etapa diz respeito às fases de projeto básico e executivo.

40. Solicita-se, que seja realizada por parte do consultor contratado, uma completa análise técnica sobre os Estudos Hidrossedimentológicos dos Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau inserido no Estudo de Impacto Ambiental.

Apresenta-se a seguir uma síntese das principais conclusões da análise realizada pelo Dr. Sultan Alam, Consultor independente do MME, sobre os Estudos Hidrossedimentológicos dos Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau e na seqüência as principais conclusões dos consultores José Galizia Tundisi, Sultan Alam e Newton de Oliveira Carvalho, especialistas de notório saber, consubstanciadas na Nota Técnica – Sedimentos, Modelos e Níveis D' água, que de certa forma realizaram a completa análise técnica sobre os estudos solicitados nesta questão.

Do relatório “Projeto Rio Madeira Estudos Hidráulicos e de Sedimentos (Tradução)” de Janeiro de 2007, preparado pelo Consultor Sultan Alam, selecionamos as conclusões especificamente relacionadas com os temas questionados:

- Segregação e acumulação de areias grossas e cascalhos finos têm sido observadas a cerca de 2.000 m a montante do projeto. Cuidados devem ser empregados na seleção da locação das estruturas de concreto de maneira a facilitar a passagem destas areias e cascalhos pelo vertedouro. O conteúdo de quartzo da rocha do embasamento é de cerca de 40 %. No momento não sabemos a composição mineralógica das areias do leito do rio.
- As curvas de remanso não devem sofrer impactos importantes uma vez que as velocidades do fluxo são altas e o transporte das areias deve ser em suspensão dentro do total do reservatório. Assim não devem ser formados grandes depósitos de areia nas áreas do remanso nem nas áreas perto da usina. Este projeto, como todos os projetos a fio d'água, deve operar normalmente e ter uma vida longa.
- Um modelo físico hidráulico deve ser construído e operado para otimizar:
 - O arranjo do projeto com a passagem das areias pelo vertedouro;
 - A limpeza das madeiras flutuantes e submersas e prevenção de grandes entulhos;
 - A prevenção da formação de vórtices de ar na águas;
 - O desempenho e operação de todas as estruturas hidráulicas

Da reunião no MMA em 28/03/2007 resultou a Nota Técnica “Sedimentos, Modelos e Níveis d'Água” de 10 de abril de 2007, juntamente com outros consultores presentes, da qual ressaltamos:

- Sedimentos não são problemas em barramentos de baixa queda com reservatórios a fio d'água. Minha experiência permite afirmar que em tais condições, com barramentos inferiores a 20 metros de queda d'água, não há problemas de sedimentos. O histórico de 22 barragens no rio Rhone na França e no Mississipi confirma esta afirmativa. Sedimentos em barragens a fio d'água podem ser problemas quando as alturas são bem superiores a 20 metros;

- O Rio Madeira no trecho entre Abunã e Santo Antonio tem capacidade para transportar toda a carga de sedimentos anual que recebe de montante. Esta capacidade será pouco afetada com a construção dos reservatórios e deverá manter o transporte total dos sedimentos após a construção dos dois barramentos;
- Sob o ponto de vista de concepção de engenharia hidráulica e adequação à situação do rio com alta carga de sedimentos, posso afirmar que os projetos do Rio Madeira estão entre os melhores que conheci. São excelentes projetos.

3. INFORMAÇÃO TÉCNICA Nº 19/2007-COHID/CGENE/DILIC/IBAMA (ICTIOFAUNA)

3.1. Considerações Gerais:

A Informação Técnica 29/2007 faz referência à necessidade de contratação de especialista de notório saber com conhecimento e experiência comprovada em estudos da ictiofauna do Rio Madeira e tributários. O EIA contou com a consultoria especializada dos Professores Dr^{as}. Carolina Doria e Nidia Fabr , e, ainda do Dr. Jansen Zuanon, respectivamente das Universidades Federal de Rondônia e Federal do Amazonas e do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, haja vista sua larga experiência em ictiofauna e pesca do Rio Madeira, nos grandes bagres amazônicos e na ictiofauna da região da Amazônia.

3.2. Considera es Iniciais:

Os trabalhos sobre ictiofauna para o Complexo Madeira partiram da base de dados primários obtidos em campo no período de outubro de 2003 a fevereiro de 2005 e posteriormente entre março e abril de 2006. Esses trabalhos subsidiaram os estudos preparados para as áreas direta e indiretamente afetadas pelos empreendimentos de Jirau e de Santo Antonio e tiveram como objetivo principal caracterizar a estrutura da comunidade de peixes, a ecologia e a biologia das espécies do trecho do rio Madeira situado entre as cidades de Nova Mamoré e Porto Velho.

Os dados de desembarque pesqueiro da pesca artesanal foram também obtidos para o trecho entre Guajará-Mirim (Rio Mamoré) até o município de Porto Velho, no período de dezembro de 2003 e fevereiro de 2005.

3.2.1. Metodologia:

As atividades envolveram sete expedi es de coletas de campo (inventário preliminar e seis coletas bimestrais, compreendendo um ciclo hidrológico completo) em 10 afluentes da região, situados em quatro áreas:  rea de influência indireta a montante dos empreendimentos, área de influência direta do empreendimento Jirau,  rea de influência direta do empreendimento Santo Antônio e área de influência indireta a jusante dos empreendimentos.

A escolha dos pontos de captura foi estabelecida conforme o tipo do aparelho de pesca utilizado. As coletas de campo envolveram capturas com diversos aparelhos de pesca (malhadeira, rede de cerco, rede de arrasto de fundo "trawl-net"), além de amostras com outros aparelhos (espinhel, pu a, linha e anzol).

As amostragens da ictiofauna bentônica do canal do Rio Madeira foram realizadas com uso de redes de arrasto de fundo do tipo “trawl net”. Para a coleta de ovos e larvas de peixes foi utilizada uma rede de ictioplâncton, com malha de 300µ.

3.2.2. A Variabilidade Genética e o *Homing*:

A questão do *homing* foi amplamente discutida nas reuniões realizadas no MMA sobre ictiofauna. Dessa forma, reproduzimos, a seguir, texto extraído da Nota Técnica elaborada pela Dra. Nídia Fabrê reproduzindo as considerações apresentadas nas reuniões, específica sobre esta temática:

“Sabe-se que a maior variabilidade genética registrada na bacia corresponde ao Estuário do Solimões – Amazonas e que esta variabilidade genética vai diminuindo conforme vamos subindo o Solimões – Amazonas e os tributários de água branca da bacia. Destaca-se que o rio Madeira é o primeiro tributário de água branca que estes bagres encontram na sua longa rota migratória pelo eixo do Solimões Amazonas.

Não devemos entender que cada tributário “DETÊM” parte da variabilidade genética total e sim que cada tributário de água branca CONTRIBUI com informação para compor a variabilidade genética total da bacia amazônica. A contribuição de informação genética de cada tributário de água branca para manter a variabilidade genética da população de dourada na bacia amazônica é apresentada no seguinte tabela:

Tributário	% contribuição
Solimões-Amazonas	36,9
Içá	2,2
Japurá	17,7
Juruá	15,9
Purus	6,7
Madeira	20,6

Em relação à dourada, os estudos de genética molecular indicam que **TODAS** as variedades genéticas estão representadas nos tributários de águas brancas da bacia, **CONTUDO** algumas variedades são mais freqüentes em alguns tributários que em outros. Este padrão poderia indicar uma tendência a escolha da rota de migração, no caso tributário, pelas douradas, mas não temos evidências concretas de “**homing**” para estas espécies.

Dentro deste contexto, deve-se pesquisar a existência desta estratégia como uma alternativa ao uso aleatório dos tributários para reprodução. Destacando que esta última estratégia é a única que de fato está concretamente definida pelos estudos de genética molecular.

Por outro lado, a alta diversidade genética observada em ambas as espécies de bagres e pela sua representatividade em todos os tributários da bacia, inclusive em alguns tributários de água clara como Tapajós e de água preta como o rio Negro, é difícil pensar no colapso dos bagres migradores a partir da construção de uma barreira física no Madeira.

Contudo, a verificação da existência de uma rota migratória desses peixes no rio Madeira, aliada à existência de áreas de desova a montante dos futuros barramentos, exige a construção de mecanismos de transposição para essas espécies. Estes mecanismos devem ser sistematicamente monitorados no intuito de verificar sua eficiência e poderá representar uma fonte de dados continuados que permitirão elucidar novas questões sobre a ecologia dos bagres migradores e de outras espécies presentes na área do empreendimento”.

Tendo em vista o exposto acima, a opção pelo mecanismo de transposição, apresentada no EIA, é a solução para a continuidade das rotas migratórias, independente da existência ou não do *holming*.

3.3. Mecanismo de Transposição de Peixes:

3.3.1. Considerações Iniciais:

A necessidade de instalação de um Sistema de Transposição de Peixes (STP) junto aos barramentos dos AHEs Santo Antônio e Jirau foi indicada no TOMO C – impacto 3.34 do EIA, como forma de mitigação do impacto gerado pela implantação dos empreendimentos sobre os peixes migradores de longa distância, especialmente sobre os grandes bagres.

O EIA indicou a necessidade de utilização de um STP sem definir seu detalhamento, definição esta a ser dada na etapa de projeto básico, posterior à atual etapa de viabilidade. Entretanto, o IBAMA solicitou, no pedido de complementações ao EIA, que fosse apresentada, já nesta etapa, proposta de sistema de transposição contemplando todas as considerações de “design” sugeridas no EIA.

Para essa definição o Consórcio FURNAS-ODEBRECHT, como proposto no EIA para a etapa seguinte à da fase de viabilidade, reuniu especialistas com comprovada experiência na construção e no monitoramento da eficiência de tais obras de engenharia para definirem, em conjunto, o tipo de STP mais adequado para a situação dos empreendimentos em tela. Essa definição, assim como as premissas básicas a serem consideradas pela engenharia na elaboração dos projetos básico e executivo do sistema de transposição proposto, foram incluídas no TOMO E, volume 2/3 do EIA.

Em vista das reuniões específicas sobre ictiofauna ocorridas entre técnicos e consultores do Consórcio FURNAS-ODEBRECHT com o MMA e o IBAMA, em 28/03 e 02/04/2007, foi solicitada ao Dr. Ângelo Antônio Agostinho, da Universidade Estadual de Maringá, a elaboração de um Parecer Técnico, que avaliasse a oportunidade e a eficácia da implantação do sistema de transposição proposto para os AHEs Jirau e Santo Antônio, para a conservação das espécies migradoras da ictiofauna local e regional. Essa solicitação foi motivada pelas dúvidas ratificadas pela equipe técnica do IBAMA à conveniência deste tipo de dispositivo sob a perspectiva da conservação dos recursos e preservação da diversidade ictiofaunística. Esse Parecer foi protocolado no IBAMA em 25/04/2007.

A análise realizada pelo Dr. Ângelo Agostinho baseou-se nas informações disponíveis sobre as características da ictiofauna local, com ênfase para os grandes bagres migradores, e na experiência deste pesquisador no monitoramento de diferentes tipos de mecanismos de transposição existentes do país.

Vale ressaltar, ainda, que, no Parecer Técnico sobre a ictiofauna elaborado pelos consultores independentes indicados pelo Ministério Público, Drs. Ronaldo Barthem e Michael Goulding, esses pesquisadores concluem que: “Um outro projeto essencial para a mitigação do impacto do empreendimento é o da elaboração e construção de mecanismos de transposição, apresentado no item 15.4. O documento apresentado no Tomo E – Volume 2/3 (meio biótico) discute o tipo de mecanismos de transposição mais adequado para o caso do rio Madeira e indica a construção de um canal semi-natural ao barramento como o mais adequado.”.

3.3.2. Respostas às Perguntas da Informação Técnica 19/2007 (Mecanismo de Transposição de Peixes):

Pergunta “a” - com base em informações atuais sobre STPs, quais as possibilidades de sucesso do mecanismo proposto em relação às espécies migradoras e ao número de indivíduos que utilizam o rio Madeira como rota migratória?

O Dr. Ângelo Agostinho, em sua análise sobre a adequabilidade do STP proposto, conclui, em seu Parecer, que “No contexto da ictiofauna local e face às informações disponíveis a implantação de um canal lateral semi-natural é a melhor opção de transposição, a despeito das naturais incertezas que cercam o tema. Os canais laterais, devido às suas semelhanças com tributários naturais, tem a vantagem de serem mais amigáveis aos peixes, podendo fornecer uma grande variedade de abrigos e habitats”.

Essa conclusão baseia-se nos resultados obtidos no monitoramento do sistema de transposição instalado recentemente junto à barragem da UHE Itaipu, onde, segundo esse pesquisador, “foram registradas 117 espécies de peixes, incluindo, virtualmente, todas as migradoras. Esse número de espécies pode ser considerado extraordinário para um canal com apenas 10 km de extensão, visto que rios com mais de 200 km apresentam uma riqueza menor de espécies (Piquiri=57 espécies; Ivinheima=91; Iguatemi=77 espécies).”.

Esse pesquisador aponta, ainda, que a “maior vantagem no presente caso é de facultar modificações *a posteriori*, permitindo ajustes com vistas à facilitação da transposição para as espécies-alvo ou a interposição de obstáculos visando selecionar aquelas que devem ser transpostas.” E que “As condições para a instalação de um canal semi-natural na hidrelétrica de Santo Antônio e Jirau são, sem dúvida, mais favoráveis que o de Itaipu, quer pelo desnível mais ameno (<18m x >100m em Itaipu) como pela concepção do projeto, conferindo maior flexibilidade para os ajustes posteriores”.

À semelhança das análises e conclusões do Dr. Ângelo Agostinho, a nota técnica do Dr. Jansen Zuanon, também protocolada no IBAMA em 25/04/2007, aponta que “Os empreendimentos nas áreas de Santo Antonio e Jirau representariam barreiras intransponíveis para os peixes migradores (entre eles a dourada) no rio Madeira, na ausência de um mecanismo de transposição. A proposta de construção de um canal “semi-natural”, mimetizando os obstáculos naturais representados hoje pelas corredeiras existentes naqueles trechos, parece-me uma alternativa viável, tanto do ponto de vista de sua exequibilidade (engenharia) como de sua eficiência pretendida. O exemplo de Itaipu, com as devidas ressalvas às características estruturais e resultados esperados, indica que tal estratégia tem boas chances de sucesso. O modelo de canal tem a vantagem de poder ser periodicamente ajustado, a partir dos resultados de um monitoramento contínuo de sua efetividade. Assim, “gargalos” detectados como obstáculos para a passagem das espécies-alvo, bem como possíveis pontos de “vazamento” (passagem de espécies não desejadas), poderiam ser corrigidos a partir da inclusão/retirada/alteração/redimensionamento de obstáculos no canal. Da mesma forma, o controle da vazão (e da velocidade da correnteza) no canal permitiria modular seu funcionamento para atingir os objetivos pretendidos. Assim, mesmo considerando o ineditismo do tipo de mecanismo de transposição proposto, acredito que há boas chances de que douradas e outros peixes que normalmente vencem as corredeiras do rio Madeira, continuem a fazê-lo através de um canal com essas características.”.

Pergunta “b” - o que as possíveis alterações qualitativas e quantitativas dos peixes migradores transpostos podem representar para conservação dessas espécies no rio Madeira e na bacia Amazônica, em especial para dourada e piramutaba?

O sistema de transposição proposto (canal semi-natural) deverá ser projetado no sentido de, como colocado pelo Dr. Ângelo Agostinho em seu Parecer, “facultar modificações a posteriori, permitindo ajustes com vistas à facilitação da transposição para as espécies-alvo ou a interposição de obstáculos visando selecionar aquelas que devem ser transpostas”. Os monitoramentos propostos no Tomo C do EIA, em especial o monitoramento do STP e o dos desembarques pesqueiros, deverão indicar tais correções de modo a garantir a continuidade da representatividade das espécies de grandes bagres migradores na bacia do rio Madeira, assim como na bacia Amazônica, contribuindo, assim, para a conservação dessas espécies.

De acordo com o colocado pela Dra. Nídia Fabré tanto nas reuniões específicas sobre ictiofauna ocorridas entre técnicos e consultores de FURNAS-ODEBRECHT, com o MMA e o IBAMA, como em sua Nota Técnica protocolada no IBAMA em 25/04/2007, “a alta diversidade genética observada em ambas as espécies de bagres e pela sua representatividade em todos os tributários da bacia, inclusive em alguns tributários de água clara como Tapajós e de água preta como o rio Negro, é difícil pensar no colapso dos bagres migradores a partir da construção de uma barreira física no Madeira. Contudo, a verificação da existência de uma rota migratória desses peixes no rio Madeira, aliada à existência de áreas de desova a montante dos futuros barramentos, exige a construção de mecanismos de transposição para essas espécies.”.

Pergunta “c” - quais as conseqüências da possível mistura de algumas populações de peixes, e da segregação de outras, ocasionada pelo STP, para composição da ictiofauna regional?

O sucesso de um mecanismo de transposição é determinado também pelo impedimento da passagem das espécies que habitam somente a região de jusante ou de montante.

O Dr. Ângelo Agostinho, nas análises incluídas em seu Parecer sobre o STP proposto, leva em consideração a indicação de “que há diferenças ictiofaunísticas entre os trechos a montante e a jusante das cachoeiras existentes na área prevista para os represamentos, devendo essas imporem certa seletividade à subida de algumas espécies”. Em vista disso, esse pesquisador conclui que “no contexto da ictiofauna local e face às informações disponíveis a implantação de um canal lateral semi-natural é a melhor opção de transposição, a despeito das naturais incertezas que cercam o tema.”.

Esse pesquisador justifica a opção escolhida devido à “flexibilidade dos canais semi-naturais a mudanças físicas ou estruturais” que fazem “desse tipo de sistema o mais adequado para as condições vigentes no rio Madeira e às restrições que deverão ser impostas à ascensão de espécies hoje restrita aos trechos a jusante.”.

Adicionalmente, é importante lembrar que os Drs. Ronaldo Barthem e Michael Goulding, em seu Parecer Técnico sobre a ictiofauna, elaborado para a análise independente do EIA realizada pelo Ministério Público, concluem que: “Um outro projeto essencial para a mitigação do impacto do empreendimento é o da elaboração e construção de mecanismos de transposição, apresentado no item 15.4. O documento apresentado no Tomo E – Volume 2/3 (meio biótico) discute o tipo de mecanismos de transposição mais adequado para o caso do rio Madeira e indica a construção de um canal semi-natural ao barramento como o mais adequado.”.

Dessa forma, podemos considerar que o STP proposto deverá ser eficaz na manutenção da seletividade imposta pelas cachoeiras, não devendo ocorrer a mistura de fauna e, conseqüentemente, não trazer conseqüências negativas para a composição da ictiofauna regional.

Pergunta “d” - se o STP projetado não possibilitar a subida das espécies-alvo, qual o impacto esperado nos estoques pesqueiros e na conservação dessas espécies nas bacias do rio Madeira e Amazônica?

Conforme apresentado no TOMO E, volume 2/3, os especialistas contratados para definir o STP mais indicado para os AHEs Santo Antônio e Jirau concluíram que o canal lateral semi-natural é o sistema mais eficiente e adequado para permitir a transposição dos grandes bagres que utilizam o rio Madeira como rota migratória ascendente durante seus deslocamentos até as áreas de desova situadas em território boliviano e peruano. Conforme apontado pelo Dr. Ângelo Agostinho em seu Parecer, “as condições para a instalação de um canal semi-natural na hidrelétrica de Santo Antônio e Jirau são, sem dúvida, mais favoráveis que o de Itaipu, quer pelo desnível mais ameno (<18m x >100m em Itaipu) como pela concepção do projeto, conferindo maior flexibilidade para os ajustes posteriores.”.

A Dra. Nidia Fabr e, tanto nas reuniões ocorridas no MMA com técnicos do IBAMA, como em sua nota técnica, aponta a existência de uma alta diversidade genética para ambas as espécies de grandes bagres (dourada e piramutaba) e a ocorrência de áreas de desova dessas espécies em todos os tributários de água branca do Solimões/Amazonas. Essa pesquisadora explica que a alta diversidade genética e a ampla distribui o dessas duas espécies de grandes bagres, não induzem a conclusões sobre colapso dos grandes bagres migradores como resultado do barramento do rio para a implanta o das usinas de Jirau e Santo Antônio, conforme pode ser depreendido pelos trechos da nota técnica reproduzidos a seguir:

“Em 2002 e 2003, foi definido o ciclo de vida da piramutaba e da dourada e comprovada, por estudos de genética molecular, a existência de uma única popula o de dourada e piramutaba, distribuída no eixo Solimões Amazonas e seus tributários de água branca: Madeira, Purus, Juruá, Japurá e I a. (Fabr e e Barthem, 2005). Desta forma não podemos falar que hoje não temos conhecimento do ciclo de vida destes grandes bagres migradores como apontado em diferentes trechos do parecer do IBAMA”.

“Desta forma, apesar de não termos conhecimentos detalhados da estrutura e dinâmica populacional destes bagres no rio Madeira, com a base científica disponível atualmente para a bacia amazônica e, a partir do fato da existência de uma única população, é possível caracterizar o rio Madeira como uma das cinco rotas migratórias e, em termos de ciclo de vida, como uma área de crescimento”.

“Em relação à dourada, os estudos de genética molecular indicam que **TODAS** as variedades genéticas estão representadas nos tributários de águas brancas da bacia, **CONTUDO** algumas variedades são mais freqüentes em alguns tributários que em outros”.

“Por outro lado, a alta diversidade genética observada em ambas as espécies de bagres e pela sua representatividade em todos os tributários da bacia, inclusive em alguns tributários de água clara como Tapajós e de água preta como o rio Negro, é difícil pensar no colapso dos bagres migradores a partir da construção de uma barreira física no Madeira. Contudo, a verificação da existência de uma rota migratória desses peixes no rio Madeira, aliada à existência de áreas de desova a montante dos futuros barramentos, exige a construção de mecanismos de transposição para essas espécies”.

Pergunta “e” - qual o dimensionamento mínimo (profundidade, largura, distância, declividade, vazão, turbulência e sinuosidade) necessário, projetável, para garantir a eficiência e a eficácia da subida das espécies-alvo pelo STP proposto?

O mecanismo proposto para os aproveitamentos hidrelétricos do rio Madeira, o canal semi-natural, deverá ser projetado de forma a permitir a subida das espécies que atualmente passam pelas cachoeiras e restringir o acesso às espécies que habitam somente a região de jusante. Para que isso seja possível, e conforme explicitado no TOMO E, volume 2/3 do EIA, esse canal semi-natural deverá apresentar condições hidráulicas semelhantes às do rio, e dificuldades semelhantes às existentes nas cachoeiras de Teotônio (para o STP do AHE Santo Antônio) e Jirau (para o STP do AHE Jirau), em determinados trechos, de forma a permitir o deslocamento seletivo de peixes para montante dos reservatórios.

Conforme previsto no Programa de Conservação da Ictiofauna apresentado no TOMO C do EIA, o projeto do STP proposto será objeto de detalhamento, em nível de projeto básico e executivo, nas fases seguintes dos empreendimentos, e deverá considerar todas as premissas relacionadas pelos especialistas contratados para a sua definição, incluídas no TOMO E, volume 2/3.

Pergunta “f” - durante a subida dos grandes bagres, existe alguma preferência por estes indivíduos no posicionamento da calha do rio? Quais as implicações deste aspecto no mecanismo proposto?

Conforme apontado no Tomo B, volume 5/8 do EIA e em suas complementações (TOMO E, volume 2/3), o projeto do STP deverá ser dimensionado posteriormente, na etapa de projeto básico, devendo a indicação da sua localização (margem esquerda ou direita) atender às preferências das espécies-alvo.

Dessa forma, a preferência dos bagres quanto ao seu posicionamento de subida na calha do rio será considerada quando da localização e projeto básico do STP.

Pergunta “g” - quais os meses do ano em que a possível existência da barragem poderia prejudicar de forma mais significativa a subida dos grandes bagres? Existe alguma preferência por estes indivíduos de posicionamento da coluna d’água, e esse aspecto influenciaria em sua transposição?

Conforme apresentado na nota técnica da Dra. Nídia Fabr , “a migração da dourada pode ser entendida como pulsos ou sobem seguindo o modelo de anéis migratórios (Paulov, 1994), estes movimentos ocorrem principalmente no período de vazante.” ... “de tal forma que a subida permite explorar novas áreas de alimentação que logo serão abandonadas para ocupar uma nova área em um sistema de reposição.”

Desta forma, o período de águas baixas (junho a dezembro) será o mais crítico para a operação do sistema de transposição de modo a não impedir os deslocamentos dos grandes bagres rio acima.

Quanto à preferência dos grandes bagres na coluna d’água, sabe-se que esses peixes se locomovem pelo fundo do canal, e o projeto de engenharia do STP deverá levar essa característica em consideração no seu dimensionamento.

Pergunta “h” - existe alguma possibilidade alternativa ao STP proposto para garantir a subida das espécies migradoras?

Considerando que as conclusões apontadas pelos pesquisadores em suas notas técnicas indicam que entre os mecanismos de transposição de peixes em operação no Brasil, o canal semi-natural é o mais adequado para o caso dos empreendimentos do Rio Madeira, não há porque supor que outro mecanismo ou outra solução seja mais eficiente.

3.4. Ovos e Larvas:

3.4.1. Considerações Iniciais:

O impacto e as correspondentes medidas mitigadoras na rota de deriva de ovos, larvas e juvenis de peixes migradores são descritos no TOMO C item 3.35, página II-117 do EIA, relacionando-os com a formação do reservatório, quando a barragem e a diminuição da velocidade da água poderão proporcionar uma barreira física à sua dispersão.

É mister destacar que os estudos de ovos e larvas apresentados no diagnóstico da ictiofauna do EIA (TOMO B, volume 5/8, item 2.10.11 – Distribuição e abundância de ovos e larvas de peixes no sistema) foram realizados por iniciativa de FURNAS/CNO, uma vez que o Termo de Referência elaborado pelo IBAMA não solicitou tais análises.

Nas complementações e adequações solicitadas pelo IBAMA antes das audiências públicas, e incluídas no TOMO E do EIA, a única referência a este tema disse respeito à necessidade de “apresentar medições e realizar possíveis experimentos que possam ser preditivos da deposição de ovos e larvas a montante dos reservatórios”. Uma vez que o atendimento de tal solicitação implica na realização de estudos inéditos e de longa duração, incompatíveis com a atual fase de estudos de viabilidade, e que a previsão é a de que não ocorra deposição de ovos e larvas nos reservatórios, conforme detalhado adiante, foi proposta a implementação de um projeto de pesquisa e desenvolvimento visando à construção de um modelo matemático preditivo para a deriva e deposição de ovos e larvas de peixes, utilizando o caso do rio Madeira como piloto. Entretanto, foi acordado com o IBAMA que esse estudo não seria inserido no licenciamento ambiental do empreendimento, dadas as variáveis e fatores envolvidos.

Dessa forma, e considerando as experiências da Dra. Nidia Fabré e do Dr. Jansen Zuanon na região amazônica, que indicam a possibilidade de descida dos ovos e larvas durante o período de cheia, os resultados dos experimentos solicitados não deverão ser impeditivos para a tomada de decisão sobre a viabilidade ambiental do Complexo Madeira, podendo ser esses experimentos executados como um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, conforme consenso com o IBAMA.

De acordo com o Dr. Jansen Zuanon, em nota técnica protocolada no IBAMA em 25/04/2007, “a deriva de ovos, larvas e juvenis de dourada no rio Madeira representa um fenômeno que ocorre principalmente nos rios de águas brancas (turvas) da Amazônia. Neste sentido, não há motivos para supor que o ciclo biológico da dourada no rio Madeira seja diferente do observado nos demais ambientes que compõem a área de vida da dourada na Amazônia. Apesar de não haver registro de desova da dourada no rio Madeira em território brasileiro, evidências indiretas (p. ex., presença de larvas e juvenis em amostras coletadas no canal do rio Madeira em Rondônia) indicam que a desova da espécie ocorre na fase inicial da enchente. Assim, mesmo considerando a possível existência de eventos isolados de desova fora do pico de reprodução da espécie, pode-se esperar que a maior parte dos ovos, larvas e juvenis de dourada desçam o rio a deriva durante a enchente/cheia do rio Madeira”.

Assim, se os ovos e larvas da dourada descem o rio Madeira no período de águas altas, quando a velocidade e volume de água são maiores, e, considerando que nessa situação os sedimentos (areia fina, silte e argila, que representam 99% da carga sedimentométrica da área) não se depositam no reservatório, conforme apontam os estudos sedimentológicos, não devemos supor que o comportamento dos ovos e larvas deverá ser diferente.

Mesmo que ocorra um deslocamento de descida de ovos e larvas durante o período de seca, pode-se supor que, sendo a declividade da área do reservatório muito maior (cerca de seis vezes maior) que a declividade normalmente encontrada a jusante da Cachoeira do Teotônio, o comportamento dos ovos e larvas não deverá ser diferente da situação ocorrida sem o barramento. Ou seja, não deverá ocorrer uma deposição desses ovos e larvas em função de uma pequena redução da velocidade da água, como se espera que não ocorra com os sedimentos finos do Rio Madeira.

A maioria dos questionamentos sobre ovos e larvas incorporados na Informação Técnica 19/2007 foi abordada nas reuniões específicas sobre ictiofauna ocorridas entre técnicos e consultores de FURNAS-ODEBRECHT com o MMA e o IBAMA em 28/03 e 02/04/2007, cujos esclarecimentos foram ratificados nas notas técnicas protocoladas posteriormente no IBAMA.

3.4.2. Respostas às Perguntas da Informação Técnica 19/2007 (Ovos e Larvas):

Pergunta “a” - qual a representatividade das quantidades de larvas e juvenis de dourada, piramutaba e demais migradores, que derivam na cheia, na vazante, na seca e na enchente do rio Madeira, para a manutenção do estoque pesqueiro e conservação das espécies?

Durante as referidas reuniões realizadas entre técnicos e consultores de FURNAS-ODEBRECHT com técnicos do IBAMA, nas dependências do MMA, os seguintes esclarecimentos foram prestados:

As espécies que realizam migrações ascendentes meso e macroregionais, como os grandes bagres, desovam nos trechos correntosos dos rios, no período de enchente/cheia, e seus ovos e larvas derivam rio abaixo até serem levados pela enchente para as áreas de berçário, situadas nas margens inundáveis dos rios. Nestes ambientes as larvas se desenvolvem devido, principalmente, à abundância de alimento e abrigo proporcionados pela incorporação de novas áreas durante o período de cheia. Essa estratégia tem sido registrada por estudos científicos em todas as grandes bacias hidrográficas sul-americanas e objetiva, principalmente, garantir uma maior sobrevivência para a prole.

Os estudos sobre a reprodução das espécies realizados no âmbito do EIA dos AHEs Santo Antônio e Jirau concluem que “os resultados das análises evidenciam que o período de enchente-cheia é a época que a maioria das espécies se reproduzem, conforme já observado por Welcomme (1979) e Junk et al. (1989).” (Tomo B, volume 5/8, pg. IV-831).

“Os resultados demonstraram que a frequência de indivíduos com gônadas maduras começa a aumentar no mês de outubro, final do período de seca. Os meses de novembro, dezembro e fevereiro, que correspondem ao período de enchente-cheia, apresentaram as maiores frequências percentuais e em abril (final da cheia/início da vazante) foi possível verificar uma grande queda na frequência de indivíduos maduros, tanto para as fêmeas como para os machos.” (Tomo B, volume 5/8, pg. IV-842).

Esses resultados demonstraram, ainda, que “após o mês de fevereiro (cheia) ocorre um declínio de indivíduos maduros e um aumento da frequência de fêmeas desovadas/recuperadas e machos esvaziados/recuperados. Os poucos indivíduos imaturos, tanto machos quanto fêmeas, capturados durante o ciclo hidrológico completo ficaram restritos ao período de vazante.” (Tomo B, volume 5/8, pg. IV-842).

“Em relação ao período do ciclo hidrológico em que são capturadas douradas com as “ovas desenvolvidas”, segundo a percepção dos pescadores, os dados das entrevistas indicam que a ocorrência de douradas e piramutabas em maturação inicial e intermediária na área de estudo está relacionada ao período de enchente, como observado nos rios Caquetá no alto Japurá.” (Tomo B, volume 5/8, pg. 888). Esse fato evidencia que a desova dessa espécie, na bacia do rio Madeira, deva ocorrer no período de enchente/cheia, como registrado para outros locais de desova dessa espécie.

Os estudos sobre ovos e larvas apresentados no TOMO B, volume 5/8, item 2.10.11 – Distribuição e Abundância de Ovos e Larvas de Peixes no Sistema (página IV-860), realizados para corroborar as evidências de desovas na área de estudo, demonstram que, como esperado, há um acréscimo significativo no número de larvas que derivam no período de enchente/cheia.

Outra estratégia bastante conhecida é aquela utilizada pelas espécies de peixes que não realizam migrações de longas distâncias, chamadas residentes, as quais desovam em várias épocas do ano, algumas até durante todo o ano, e possuem desova parcelada. Muitas dessas espécies possuem cuidados parentais ou outras estratégias que garantam uma maior sobrevivência da prole, e seus ovos e larvas não necessitam derivar longas distâncias para se desenvolverem. Na área estudada, “algumas espécies foram encontradas em atividade reprodutiva durante a vazante-seca, entre elas espécies de desova parcelada.” (Tomo B, volume 5/8, pg. 859).

Pelo exposto, a representatividade das quantidades de larvas e juvenis de dourada, piramutaba e demais migradores, que derivam na enchente/cheia do rio Madeira é muito maior para a manutenção do estoque pesqueiro e conservação das espécies do que aquela que eventualmente deriva na vazante e na seca.

Perguntas “b” e “d” - quais as possibilidades de descida viável de ovos, larvas, juvenis e adultos das espécies migradoras do rio Madeira pelo mecanismo de transposição proposto, turbina e vertedouro, nas diferentes épocas do ano? A existência ou não de dique de contenção de sedimentos altera essas condições? e tomando como base as características de passagem pela turbina, como altura da tomada d’água (com ou sem dique de contenção), desnível, diferença de pressão, rotação, turbulência, qual a taxa de mortalidade esperada para ovos, larvas, juvenis e adultos das diferentes espécies de peixe de maior ocorrência na região estudada?

A nota técnica elaborada pelo Dr. Ângelo Agostinho (NUPELIA/UEM) sobre o STP proposto para os AHEs Santo Antônio e Jirau, protocolada no IBAMA em 25/04/2007, informa que “avaliações realizadas imediatamente abaixo da barragem de Itaipu indicam que apenas cerca de 30% das larvas (de espécies pelágicas que desovam no reservatório) mostraram-se injuriadas, percentual considerado aceitável face à elevada mortalidade natural nessa fase de desenvolvimento.”

Levando-se em consideração que o desnível previsto para as barragens dos AHEs Santo Antônio e Jirau é cerca de 10 vezes menor que o da Usina de Itaipu, e que as turbinas que serão utilizadas nesses aproveitamentos produzem energia com pressões d’água também cerca de 10 vezes menores, pode-se esperar que o percentual de injúria de ovos e larvas que eventualmente passem pelas turbinas seja bastante inferior ao percentual encontrado em Itaipu.

Porém, como esclarecido nas referidas reuniões realizadas entre técnicos e consultores de FURNAS-ODEBRECHT com técnicos do IBAMA, e na resposta à pergunta anterior, a maior parte da deriva de ovos e larvas ocorre no período de enchente/cheia, quando os vertedouros obrigatoriamente terão que estar abertos a fim de deixar passar as vazões excedentes àquelas turbináveis, podendo-se concluir que a possibilidade de descida viável de ovos, larvas, juvenis e adultos das espécies migradoras do Rio Madeira por essas estruturas seja muito grande.

Especificamente no que concerne ao dique de contenção de sedimentos, e conforme consta da resposta à pergunta 5 do item 2 deste documento, que responde às perguntas formuladas pelo IBAMA na Informação Técnica 17/2007 (sedimentos), o projeto do empreendimento não deverá mais incluir a permanência da ensecadeira (dique de contenção).

No tocante à relação altura da tomada d’água/passagem de ovos, larvas, juvenis e adultos, conforme esclarecido nas respostas às perguntas 30 e 32 do item 2 deste documento, que responde às perguntas formuladas pelo IBAMA acerca da questão dos sedimentos, as cotas de soleiras das tomadas d’água, em Jirau e Santo Antônio, são muito próximas ou mesmo inferiores às cotas do leito natural do rio Madeira nesses locais. Portanto, não causam qualquer impedimento à passagem de sedimentos para jusante e, aliada às distâncias da soleira da tomada d’água e de sua borda superior, conseqüentemente,

também não causam impedimento à passagem de ovos, larvas, juvenis e adultos de peixes para jusante.

Pergunta “c” - ovos, larvas e juvenis das diferentes espécies de peixes da bacia do rio Madeira, durante a deriva, encontram restrições similares (velocidade de correnteza, modificações abruptas em pressão, etc.) àquelas que provavelmente encontrarão com a implantação e operação dos reservatórios, considerando as diferentes épocas do ano? Qual a magnitude dessas alterações?

Como pode ser verificado no TOMO E, Volume 1/3, “A partir dos perfis de linha d’água e de velocidades obtidos a partir de simulação do escoamento, realizadas pelo modelo HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers – River Analysis System HEC-RAS – Version 3.1.1 – September 2002), foi possível apreciar a magnitude da mudança das características hidráulicas ao longo do estirão fluvial, tendo como objetivo identificar os trechos com tendência ao assoreamento e a capacidade de transporte nas situações de estiagem, média e de cheias.

Esta análise foi feita pela simples comparação dos perfis de linha d’água e de velocidades apresentados nas Figuras 4.1 e 4.2, para o AHE Santo Antônio, e nas Figuras 4.3 e 4.4, para o AHE Jirau. Fica evidente, nos dois casos, que os reservatórios formados apresentam um trecho de maior profundidade próximo às barragens, com cerca de 30 km de extensão, em Santo Antônio, e cerca de 20 km de extensão, em Jirau. Nesses trechos, as reduções de velocidade provocadas pela implantação dos reservatórios são significativas. Nos trechos mais afastados das barragens, que correspondem à maior parte principal dos reservatórios formados, a redução de velocidade média de escoamento é pequena.

Objetivando melhor quantificar estas variações de velocidade, apresenta-se, no Quadro 4.5, para os dois reservatórios, um resumo das velocidades médias do escoamento simuladas nos trechos próximo e afastado das barragens, para quatro condições hidrológicas, incluindo as três correspondentes aos perfis de linha d’água ilustrados nas Figuras 4.1 e 4.4. Tabela 4.5.”

Tabela 4.5
Velocidades Médias Simuladas ao Longo do Rio Madeira nos Trechos dos Futuros Reservatórios de Santo Antônio e Jirau

	Vazão (m ³ /s)	Velocidades (m/s) no Trecho Próximo à Barragem			Velocidades (m/s) na Porção Restante do Reservatório		
		Sem Reserv.	Com Reserv.	Varição	Sem Reserv.	Com Reserv.	Varição
UHE SANTO ANTONIO	5.000	1,27	0,22	(1,05)	0,54	0,26	(0,28)
	18.000	2,01	0,20	(1,31)	0,90	0,23	(0,17)
	30.000	2,32	1,06	(1,06)	1,21	1,01	(0,10)
	48.600	2,61	1,82	(0,79)	1,45	1,40	(0,05)
UHE JIRAU	5.600	2,62	0,31	(2,31)	0,68	0,24	(0,44)
	16.600	4,57	1,19	(3,38)	1,17	0,36	(0,41)
	30.000	5,71	2,19	(3,52)	1,66	1,31	(0,35)
	48.800	6,92	3,28	(3,64)	2,10	1,82	(0,28)

Os dados provenientes dos estudos sedimentológicos apresentados em anexo do TOMO B, Volume 6/8 do EIA, demonstram que na área de inserção dos reservatórios (entre Abunã e Porto Velho) o rio Madeira, em condições naturais, apresenta um desnível de 39m, adquirindo uma declividade média de 13cm/km. Esses dados apontam, também, que a jusante da Cachoeira de Santo Antônio, o rio Madeira adquire características de rio de planície, apresentando uma declividade média de 1,7cm/km até a sua foz no rio Amazonas.

Os estudos de modelagem hidráulica para o trecho de 80 km entre a cidade de Porto Velho e a foz do rio Jamari, apresentados no TOMO E, Volume 1/3, indicaram a equação de velocidade média como:

$$V_{\text{média}} = 0,000519 \times Q^{0,767}, \quad \text{onde } Q = \text{vazão em m}^3/\text{s e}$$
$$V_{\text{média}} = \text{velocidade média em m/s}$$

À partir dessa equação, pode-se estimar que as velocidades médias desse trecho do Rio Madeira, para as vazões de 20.000, 30.000 e 40.000 m³/s são:

Q (m³/s)	V_{média} (m/s)
20.000	1,0
30.000	1,4
40.000	1,7

Da análise conjunta das duas tabelas apresentadas acima, pode-se concluir que as velocidades médias de escoamento simuladas para os reservatórios dos AHEs Santo Antônio e Jirau em períodos de enchente/cheia (quando ocorre a maior deriva de ovos e larvas), tanto para os trechos fluviais desses reservatórios, como para os trechos “lacustres”, mais próximos à barragem, são semelhantes ou superiores às velocidades médias calculadas (para vazões próximas) para o trecho do Rio Madeira situado a jusante de Porto Velho. Portanto, pode-se dizer que ovos, larvas e juvenis das diferentes espécies de peixes da bacia do rio Madeira, durante a deriva, encontrarão, nos reservatórios, restrições similares às naturais após a implantação dos empreendimentos.

Pergunta “e” - caso a descida das espécies, nas diferentes fases de vida (ovos, larvas, juvenis e adultos), seja prejudicada pelas barragens, quais os impactos esperados para os estoques pesqueiros e para a conservação das espécies da ictiofauna da bacia do rio Madeira e bacia Amazônica, em especial para dourada e piramutaba?

Pelo exposto na resposta da pergunta acima, não são esperadas grandes alterações na descida das espécies devido, principalmente, às velocidades simuladas para os reservatórios em períodos de cheia e à necessidade de abertura dos vertedores nessa época do ano.

Entretanto, não se pode dizer que não ocorrerão quaisquer alterações nesses deslocamentos. Nesse sentido, no que se refere à extensão dos impactos para o restante da bacia, conforme sugere o questionamento contido nesta pergunta, o Dr. Jansen Zuanon apresentou a seguinte consideração em sua nota técnica protocolada no IBAMA em 25/04/2007: “Finalmente, é preciso considerar que as eventuais alterações ambientais decorrentes dos empreendimentos (caso concretizados) podem assumir características e proporções diversas, dificilmente previstas com a precisão desejável. Para cada impacto previsto, diferentes cenários podem ser considerados, em função da complexidade do ambiente em estudo. Assim, ao enfatizar os piores cenários para os impactos previstos, o parecer adquire tons catastrofistas que mais atrapalham do que auxiliam nas análises. Por exemplo, considerando as condições limnológicas previstas para os reservatórios (tempo de residência da água, velocidade do fluxo, área alagada), é provável que não ocorram grandes mortandades de peixes na fase inicial dos reservatórios, ao contrário do especificado no parecer (q.v. pág. 76). Da mesma forma, a previsão de “colapso” para a população de douradas na Amazônia, em decorrência dos impactos ambientais dos empreendimentos no rio Madeira, parece exagerada. Os impactos da pesca, tanto na área de crescimento (estuário do rio Amazonas) como ao longo de toda a bacia amazônica, possivelmente têm efeitos deletérios tão ou mais importantes para a espécie, o que merece ser investigado em um contexto macro-regional, independente da execução ou não dos empreendimentos no rio Madeira ...” (continua).

Pergunta “f” - qual a possibilidade de que não haja deposição de ovos, larvas e juvenis no fundo do futuro reservatório (cesse a deriva) e que não haja modificação significativa na taxa de predação destes indivíduos?

Nas referidas reuniões específicas sobre ictiofauna ocorridas com o MMA e o IBAMA, foi esclarecido pelos técnicos e consultores de FURNAS-ODEBRECHT que, devido à manutenção de velocidades significativas no interior dos reservatórios, inclusive nas proximidades das barragens, a hipótese mais provável é a de que os ovos e larvas das espécies migradoras de longa distância, como os grandes bagres, atinjam o trecho do rio Madeira situado a jusante do AHE Santo Antônio, uma vez que os ovos e larvas de espécies migradoras neotropicais derivam no período de enchente/cheia, quando os vertedores obrigatoriamente terão que estar abertos a fim de deixar passar as vazões excedentes àquelas turbináveis, conforme já esclarecido nas perguntas anteriores.

Essa hipótese é corroborada pelos analistas independentes contratados por indicação do Ministério Público, Drs. Ronaldo Barthem e Michael Goulding, que relatam em seu parecer: “O comprometimento da descida de ovos e larvas pode ser causada quando a correnteza praticamente desaparece, por exemplo, quando há um imenso lago artificial para a geração de energia. A ausência de correnteza interrompe a descida de ovos e larvas que passam a se depositar neste lago. Novamente, este não parece ser o caso das hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, pois a correnteza não desaparecerá por completo.”.

Esses autores afirmam, ainda, que “estudos sobre descida de ovos e larvas e sua relação com a correnteza devem ser feitos com mais detalhes e por um longo período e seu início deve ocorrer na maior brevidade de tempo possível, para que se tenha uma série histórica suficiente para que se possa elaborar modelos preditivos confiáveis.”, corroborando, dessa forma, as ações propostas no EIA: a de monitoramento de ovos e larvas e a de desenvolvimento de um modelo matemático preditivo para a deriva e deposição de ovos e larvas de peixes no âmbito de projetos de pesquisa e desenvolvimento setorial.

Os dados apresentados no TOMO C, volume 1/3 apontam que, após a formação dos reservatórios, “na situação de vazões baixas, a capacidade de transporte por arrasto ficará muito reduzida, sendo de se esperar que o material transportado pelo fundo aí se deposite, ficando disponível até que o aumento da vazão e conseqüentemente da velocidade de escoamento, o mobilize para jusante. Quanto ao de suspensão, as velocidades de escoamento serão ainda capazes de transportá-los. Na situação de cheias, as velocidades de escoamento têm capacidade de transportar o sedimento, seja de suspensão ou do leito.”

Esses dados, somados ao conhecimento de que ovos e larvas de peixes derivam no período de cheia, ajudam a corroborar a hipótese de que não haverá deposição significativa de ovos, larvas e juvenis no fundo do futuro reservatório.

Adicionalmente, esses dados também auxiliam a compreensão de que o aumento da transparência da água não será significativo, uma vez que mesmo em períodos de baixas vazões, as velocidades de escoamento serão capazes de transportar os sedimentos em suspensão. Deste modo, não é esperado que haja modificação significativa na taxa de predação de ovos e larvas de peixes que derivam no período de cheia.

3.5. Espécies Endêmicas:

3.5.1. Considerações Iniciais:

Os questionamentos sobre o tema referente à existência de espécies endêmicas (espécies que ocorrem somente em uma dada região) abordam questionamentos relacionados à extinção de espécies em função do barramento do rio e à necessidade de conservação da biodiversidade regional. Porém, o IBAMA não considerou qualquer possibilidade de efetividade para o mecanismo de transposição de peixes proposto.

Conforme apontado pelos pesquisadores nas reuniões com técnicos do IBAMA no MMA e nas notas técnicas protocoladas no IBAMA em 25/04/2007, ocorrem no rio Madeira espécies de peixes migradores, representados pelos grandes bagres (dourada e piramutaba), que se deslocam, desde o estuário, por mais de 3.000km rio-acima no eixo do Solimões/Amazonas, penetrando em seus afluentes de água branca (Madeira, Purus, Japurá, Juruá e Içá) para

desovarem nos trechos superiores. Considerando essa estratégia de vida, o barramento do Rio Madeira poderia se constituir numa barreira física para o necessário deslocamento ascendente dos jovens e pré-adultos migrantes, caso não existisse a proposta de um sistema de transposição para permitir a continuidade dos deslocamentos desses peixes para montante. De acordo com todos os especialistas consultados, o mecanismo proposto para os AHEs Santo Antônio e Jirau, constituído por um canal lateral semi-natural, deverá permitir a passagem desses peixes migradores de jusante para montante da área sob influência direta dos empreendimentos, minimizando o impacto da sua implantação sobre as populações de espécies de peixes migradoras de longa distância.

Ocorrem também no rio Madeira, no trecho de inserção dos empreendimentos, algumas espécies de peixes que se distribuem apenas na região a montante ou a jusante do trecho das cachoeiras, evidenciando diferenças ictiofaunísticas entre esses trechos. Essas espécies não deverão sofrer impactos com a implantação do STP proposto, como sugerido nos questionamentos apresentados sobre esse tema, tendo em vista que esse tipo de STP permite a introdução de barreiras seletivas e alterações físicas ou estruturais no sentido de evitar a passagem dessas espécies para trechos do rio onde não ocorriam naturalmente.

A nota técnica elaborada pelo Dr. Jansen Zuanon aponta que a abrangência temporal dos estudos “englobaram um ciclo sazonal completo, conforme estabelecido no termo de referência emitido pelo IBAMA” e que de qualquer forma, apesar das dificuldades existentes para se “conhecer adequadamente um sistema amplo e complexo como o rio Madeira”, “as informações existentes e fornecidas são suficientes para se tomar decisões sobre a viabilidade ambiental dos aproveitamentos”.

Tanto o Dr. Jansen Zuanon, consultor de FURNAS-ODEBRECHT, como os Drs. Ronaldo Barthem e Michael Goulding, consultores que realizaram a análise independente do EIA para o Ministério Público, afirmam também que os trabalhos conduzidos no Rio Madeira representam o primeiro estudo mais abrangente realizado naquele rio, e que o desconhecimento e a falta de informações se aplicam a todos os rios da Amazônia. Para resolver essa situação, há necessidade de estudos de longo prazo (10 anos ou mais) e o envolvimento de grandes equipes de pesquisadores com larga experiência na região.

3.5.2. Respostas às Perguntas da Informação Técnica 19/2007 (Espécies Endêmicas):

Pergunta “a” - qual a possibilidade da não ocorrência de espécies endêmicas na área de influência direta do empreendimento?

Como apontado acima, a falta de informações detalhadas na região impede afirmativas como a dessa pergunta. Conforme apontado pelo Dr. Jansen Zuanon em sua nota técnica protocolada no IBAMA, “uma das características mais marcantes da ictiofauna nesse trecho do rio Madeira é a elevada riqueza de espécies. Entretanto, não se pode tomar essas estimativas de riqueza das espécies como verdades absolutas”..... “é prematuro afirmar que o rio Madeira possui “a maior riqueza ictiofaunística do mundo, como apontado no parecer e afirmado nas reuniões técnicas (Brasília, março/abril de 2007). Como já mencionado, a falta de estudos detalhados sobre a grande maioria dos demais tributários do rio Amazonas impede que se possa comparar adequadamente a quantidade e similaridade da fauna de peixes existente nesses rios”.

De acordo com o Dr Jansen Zuanon, “as diferenças ictiofaunísticas observadas entre os trechos a montante e a jusante da cachoeira do Teotônio são um fato registrado efetivamente nas amostragens. Entretanto, essa característica não é exclusiva da bacia do rio Madeira. Em todos os afluentes do rio Amazonas que drenam os escudos das Guianas e do Brasil Central, a linha de cachoeiras/corredeiras delimita uma compartimentação da ictiofauna” mas não um isolamento geográfico.

Segundo esse pesquisador, “as espécies de peixes que habitam aquele trecho (jusante) têm conectividade direta e permanente com toda a rede hidrográfica assentada na grande planície sedimentar da bacia do rio Amazonas. A situação registrada no rio Madeira reflete, então, uma divisão relacionada aos *ambientes* existentes a montante e jusante das primeiras cachoeiras, relacionada às características ecológicas do sistema”.

O Dr. Jansen Zuanon coloca, ainda, com relação às cachoeiras, que “o rio Madeira apresenta uma característica diferente, quando comparado aos demais rios encachoeirados que drenam os planaltos das Guianas e do Brasil Central, em função de suas águas barrentas. Rios de águas claras aparentemente têm uma maior participação de peixes perifitvoros (riqueza/abundância/endemismos) nas assembléias de peixes das corredeiras, em função de uma maior produtividade perifítica nesses ambientes, do que a observada no rio Madeira. Essa maior dependência trófica do perifiton pelos peixes de rios encachoeirados de águas claras possivelmente implica em uma maior ocorrência de espécies endêmicas, o que ainda necessita de comprovação científica”.

Assim, rios de águas brancas, como o rio Madeira, apesar de apresentarem uma grande diversidade de espécies, não devem apresentar um endemismo peculiar de regiões de corredeiras, à semelhança de rios de águas claras.

Perguntas “b” e “c” – respectivamente qual a possibilidade de que espécies possivelmente endêmicas não sejam extintas com a implantação e operação do empreendimento? e qual a relevância da possível ocorrência de espécies endêmicas ainda não inventariadas, na área de influência do empreendimento, que poderão vir a ser extintas, mesmo antes de serem conhecidas, com a implantação e operação das usinas?

Conforme evidenciado pelo Dr. Jansen Zuanon nas reuniões realizadas no MMA com a participação dos técnicos do IBAMA, e apontado por esse pesquisador na nota técnica protocolada no IBAMA em 25/04/2007, a possibilidade de ocorrência de espécies endêmicas ao trecho de 300km do Rio Madeira onde serão implantados os empreendimentos é improvável. Dessa forma, podemos afirmar que não haverá extinção de espécies de peixes em decorrência da implantação dos AHEs Santo Antônio e Jirau, sejam elas endêmicas ou não.

Pergunta “d” - qual o impacto esperado sobre as populações (inclusive aquelas com alta intensidade reprodutiva) que possuem áreas de vida que englobam este trecho do rio Madeira e tributários?

O canal semi-natural proposto, conforme já apontado em diversas das respostas anteriores, deverá permitir a passagem das espécies de peixes que necessitam ultrapassar o trecho de cachoeiras para alcançarem os locais de desova situados a montante da área de inserção dos empreendimentos.

Além disso, conforme apontado pela Dra. Nidia Fabr e e pelo Dr. Jansen Zuanon, em suas notas técnicas, apesar da ausência de informa es detalhadas sobre a estrutura e dinâmica populacional dos bagres migradores, as informa es científicas atualmente disponíveis sobre esses peixes na Bacia Amazônica permitem afirmar que o Rio Madeira constitui uma das cinco rotas migratórias da popula o de dourada, que se distribui no eixo Solimões-Amazonas e seus tributários de água branca: Madeira, Purus, Juruá, Japurá e I a.

Entretanto, conforme apontado pelo Dr.  ngelo Agostinho em seu Parecer, “como ocorre em outras bacias hidrográficas, as distâncias requeridas pelas espécies migradoras parecem ser amplamente variáveis entre as espécies.” Dessa forma, segundo esse pesquisador, “não há motivos para preocupa es relevantes em rela o   transposi o para espécies migradoras que não apresentam estratégias reprodutivas de retorno ao lar de reprodu o. A existência de áreas de várzea a jusante e a montante leva a crer que o ciclo deva se completar em cada trecho. Nesse caso a transposi o seria feita apenas para manuten o da heterogeneidade genética. Trabalho em publica o indica que as espécies migradoras mais emblemáticas da bacia do rio Paraná (curimat , dourado e pintado) buscavam rios alternativos do trecho a jusante quando encontravam a barragem de Porto Primavera (antes da implanta o dos mecanismos de transposi o).”

Pergunta “e” - quais os riscos de extin o local ou global, decorrente dos impactos gerados pela implanta o e opera o do empreendimento, principalmente considerando o STP e possível mistura de fauna?

Essa pergunta é similar à apresentada na pergunta “c” do tema “Mecanismo de Transposição de Peixes” da Informação Técnica em foco, estando, portanto, já respondida.

Pergunta “f” - a nova condição ambiental a ser estabelecida pelo empreendimento propiciará a manutenção da biodiversidade?

Conforme discutido no TOMO C do EIA, item 3.32 - Alteração na composição de espécies ictiícas devido a mudanças na dinâmica da água pela formação dos reservatórios, “um grande número de espécies encontradas hoje no trecho do rio Madeira a ser afetado pela formação dos reservatórios, necessita do ambiente lótico para completar seus ciclos de vida (reofílicas) e, portanto, não deverão se estabelecer no novo ambiente. Por outro lado, espécies generalistas e mais rústicas, incluindo algumas exóticas, poderão colonizar os reservatórios.”

“De forma geral, com a formação dos reservatórios, no trecho de inserção dos empreendimentos pode-se prever que:

- na área “lacustre” dos reservatórios não deverão mais ocorrer espécies com estratégia de desova total e migradoras (sardinhas, jatuarana, branquinha, curimatã, surubim, etc). Estes peixes, aparentemente, utilizam as áreas de várzea a jusante da cachoeira de Santo Antônio para alimentação e crescimento, migrando para o Alto rio Madeira (a montante das principais cachoeiras) para eventos reprodutivos. Desta forma, a formação dos reservatórios exercerá efeitos negativos no ciclo de vida dessas espécies, que poderão ter suas populações reduzidas localmente. Assim, na porção lacustre dos reservatórios pode-se esperar uma maior participação das espécies que possuem estratégia de desova parcelada, mais comuns em condições lênticas ou semi-lênticas, como os acarás, tucunarés, traíras, piranhas e pescadas.

Na porção fluvial e de transição dos reservatórios, caso haja o aumento previsto da produtividade primária (macrófitas e algas), deverá ocorrer um incremento de espécies herbívoras e fitoplânctófagas (e.g., aracus e mapará). Além destas, espécies de desova parcelada e crescimento rápido também deverão ser favorecidas.

Portanto, de forma geral, a estrutura das comunidades de peixes na área dos reservatórios será sensivelmente alterada, com perda local de algumas espécies e aumento ou diminuição das abundâncias de outras”.

Deve-se destacar, entretanto, que a “perda local de espécies”, restrita à área dos reservatórios e inerente à implantação de qualquer aproveitamento hidrelétrico, não significa extinção de espécies. Essa assertiva é verdadeira principalmente no caso dos AHEs Santo Antônio e Jirau, onde, como já dito anteriormente, a possibilidade de ocorrência de espécies endêmicas (que não ocorrem em outro lugar) ao trecho de 300 km do Rio Madeira no qual serão implantados esses empreendimentos, é improvável. O fato de existirem ambientes naturais similares aos diretamente afetados pelo represamento, em

outras áreas da bacia, principalmente a montante, permitirá que essas espécies continuem ocorrendo na bacia, mantendo a biodiversidade regional.

Adicionalmente, o STP proposto (o canal semi-natural), conforme esclarecido pelo Dr Ângelo Agostinho em seu Parecer Técnico, será desenvolvido de forma a possibilitar uma flexibilidade a ajustes posteriores, de acordo com os resultados obtidos nos monitoramentos propostos no âmbito do Programa de Conservação da Ictiofauna, permitindo uma eficiência para a passagem dos peixes que migram rio-acima e, uma seletividade aos peixes que se mantêm a jusante, evitando a mistura da fauna.

Quanto às demais espécies, de acordo com esse pesquisador, não há motivos para preocupações relevantes em relação à transposição para espécies migradoras que não apresentam estratégias reprodutivas de retorno ao “lar de reprodução” visto que a existência de áreas de várzea a jusante e a montante da área prevista para implantação dos empreendimentos sugere que o ciclo de vida dessas espécies deva se completar em cada um desses trechos. Nesse caso a transposição deverá promover somente a manutenção da heterogeneidade genética.

Pergunta “g” - caso o STP não apresente os resultados esperados e/ou as alterações paisagísticas representem impactos negativos sobre a deriva de ovos, larvas e juvenis de espécies migradoras, quais medidas compensatórias podem ser propostas?

Conforme já esclarecido em questões anteriores referentes ao sistema de transposição proposto e à deriva de ovos e larvas, os consultores especialistas, que participaram da definição do tipo de STP mais adequado para os AHEs Santo Antônio e Jirau, entendem que o tipo de STP proposto deverá ser efetivo para a transposição dos barramentos pelas espécies migradoras de longas distâncias e que, devido às velocidades médias previstas para o corpo dos reservatórios, os ovos e as larvas devem continuar derivando por esse trecho do rio Madeira.

De toda a forma, independente do sucesso desta ou de outras medidas mitigadoras, a compensação ambiental para fazer face aos danos ocasionados aos ecossistemas, inclusive os aquáticos, já é prevista na legislação federal, pela lei que criou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação, disciplinada por resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Especificamente no que concerne à atividade da pesca, já com sinais de sobreexploração em toda a Bacia Amazônica, o EIA identificou um conjunto de medidas a serem adotadas, conforme descritas a seguir, e que constam no TOMO C, Volume 1/1, Capítulo II – Identificação e Avaliação de Impactos Ambientais, Item 3 – Descrição dos Impactos, Fase 3 – Enchimento dos Reservatórios/Operação das Usinas:

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.
CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.
COMPLEXO MADEIRA – AHEs SANTO ANTONIO E JIRAU

- Impacto 3.38 – “Modificação da pesca nos reservatórios devido a alteração nos recursos pesqueiros disponíveis: a atividade pesqueira existente nas áreas de influência direta e indireta dos empreendimentos movimenta a economia local no trecho entre Guajará-Mirim e Humaitá, incluindo a pesca extrativista do lago Cuniã. Assim, é imprescindível que os desembarques pesqueiros deste trecho sejam acompanhados constantemente, inclusive em termos de CPUE, para que estimativas confiáveis das variações da produção pesqueira sejam produzidas. Além do monitoramento da pesca são necessárias as implementações das seguintes ações:
 - proposta para normatização e ordenamento da pesca, considerando o zoneamento da atividade pesqueira e co-gestão nos reservatórios com base nos resultados do monitoramento da pesca;
 - proposta para normatização e ordenamento pesqueiro participativo (co-gestão) a jusante do AHE Santo Antônio, principalmente no que se refere aos grandes bagres;
 - programa de treinamento e instrumentalização dos pescadores da região contemplando a nova realidade observada com a formação dos reservatórios”.
- Impacto 3.42 – “Alteração na renda dos pescadores: monitoramento da atividade, identificação e implantação de projetos que garantam a sustentabilidade do trabalho e da renda dos pescadores, propiciando aos mesmos a permanência na atividade ou a inserção em atividades produtivas alternativas, caso seja de seu interesse.”.
- Impacto 3.49 – “Alteração na qualidade de vida da população: apoio à pesca local - comercial e artesanal - e outras iniciativas identificadas junto a grupos organizados de trabalhadores, aí se incluindo aqueles com atividades direta ou indiretamente associadas ao garimpo ou que utilizam as áreas de várzea situadas a jusante do Aproveitamento de Santo Antônio; apoio ao desenvolvimento de atividades turísticas.”.

Cabe salientar que o Programa de Conservação da Ictiofauna, descrito no TOMO C, Volume 1/1, Capítulo III – Medidas Mitigadoras e Compensatórias e Programas Ambientais – Item 15 do EIA, identifica como seu objetivo geral “o acompanhamento das alterações impostas a ictiofauna e à **pesca** durante a construção e a operação dos AHEs Santo Antonio e Jirau.” (grifo nosso).

Esse Programa, conforme apontado no referido capítulo do EIA, está subdividido em quatro SubProgramas, os quais, na sua maioria, estão previstos para serem iniciados 12 meses antes do início da construção. “Estes subprogramas estão planejados para serem executados, sem interrupção, durante todo o período de construção, entrada em operação das unidades geradoras e por 5 anos após a entrada em operação da última dessas unidades. A partir dos resultados obtidos, as ações e monitoramentos executados deverão ser avaliados para que o Programa possa ser redimensionado à luz do novo panorama ambiental que a implantação destes empreendimentos acarretará na região.”.

Evidentemente, o monitoramento da ictiofauna como um todo merece destaque, pois é fundamental para verificação das variações espaço-temporais das comunidades de peixes nos novos ambientes formados. Essa ação, em síntese, permite acompanhar o processo de estabilização da comunidade e propor, com base nos resultados obtidos, medidas de manejo para a conservação da biodiversidade e/ou manutenção da produtividade pesqueira.

Além desse monitoramento, destaca-se a proposição, nesse capítulo do EIA, de dois subprogramas: o de monitoramento da atividade pesqueira e o de monitoramento do STP.

O monitoramento da atividade pesqueira traz como principal objetivo, “o monitoramento dos possíveis efeitos ambientais e sociais gerados pela implantação dos AHEs Santo Antônio e Jirau sobre a atividade pesqueira existente no trecho do rio Madeira compreendido entre Guajará-Mirim e Humaitá.”.

Nesse sentido, o EIA aponta que “deverão ser monitorados os seguintes portos de desembarque de pescado: Humaitá, Porto Velho, Cachoeira do Teotônio, Jaci-Paraná, Abunã, Fortaleza de Abunã, Nova Mamoré e Guajará-Mirim. Deverão ser observados, além dos desembarques, os tipos de aparelhos de pesca e de embarcações utilizadas, os locais de pesca (ambientes), o número de pescadores em atividade e formas de armazenamento. Os desembarques em cada ponto deverão ser acompanhados, diariamente, por meio de um amostrador selecionado na comunidade, ...”.

“Os dados deverão ser obtidos visando ao registro da captura por unidade de esforço (CPUE) em kg/pescador/dia, a fim de que possam ser comparados com os resultados obtidos na fase de viabilidade dos empreendimentos. O registro do esforço de captura é também essencial para a análise sobre quais variáveis estão interferindo no total capturado por mês ou por ano.

Os dados obtidos deverão ser armazenados em um banco de dados, preferencialmente, compatível com o programa utilizado pelo Provárzea/IBAMA, visando à integração dos dados da pesca na Amazônia. Também deverão ser acompanhados os registros de desembarques efetuados pelas colônias de pescadores que atuam na região, assim como as alterações no número de afiliados.”

O monitoramento do STP, por sua vez, objetiva monitorar sua eficiência “(número de espécies e número de exemplares/espécie que conseguem atingir o reservatório por época do ano, etc.), para que as condições de operação do mecanismo possam ser adequadas e/ou corrigidas. Além do monitoramento da eficiência do mecanismo escolhido, deverá ser monitorada a sua eficácia, ou seja, o que acontece com os exemplares que conseguem atingir o reservatório.”.

Acrescenta-se a ambos os monitoramentos, a importância dos estudos genéticos previstos no monitoramento da ictiofauna como um todo, que visa à “coleta de amostras de tecido das espécies inventariadas pelo monitoramento da ictiofauna em todo o trecho de estudo, montando um banco de dados genético para futuros estudos sobre a distribuição das espécies e seus estoques na bacia. Além disso, o estudo genético de populações visará ao acompanhamento das populações de espécies migratórias no que se refere à variabilidade genética das populações após a implantação dos empreendimentos. Os resultados do presente estudo repercutirão em diversos setores, seja do ponto de vista puramente científico, obtendo-se o histórico da distribuição das espécies, seja quanto aos **estoques explorados**, especialmente no que se refere a peixes comercialmente importantes.” (grifo nosso).

Também se somam ao monitoramento da eficácia do STP, os dados provenientes do monitoramento de ovos e larvas, também previsto nesse capítulo do EIA.

O TOMO C, Volume 1/1, Capítulo III – Medidas Mitigadoras e Compensatórias e Programas Ambientais – Item 25 (Programa de Compensação Social), apresenta, a exemplo da compensação ambiental, prevista em legislação específica, uma compensação social às populações locais, conforme programa ambiental de mesmo nome.

Portanto, o Programa de Compensação Social visa buscar soluções particulares de adequação, correção ou compensação, às principais alterações que o empreendimento ocasionará à população. Conseqüentemente, o programa objetiva “propiciar a articulação destas soluções, a partir de um planejamento integrado que ofereça à população de Porto Velho oportunidades concretas de elevação de padrão de vida compatíveis com os investimentos a serem realizados em seu território, com a construção dos Aproveitamentos.”.

O Programa de Compensação Social foi planejado segundo dois grupos de procedimentos de implantação: o primeiro, voltado ao necessário apoio que o Município de Porto Velho deverá receber dos empreendedores para fazer frente às necessidades emergentes, e o segundo, de interesse à resposta da pergunta formulada pelo IBAMA, “orientado para capacitação de segmentos da população local, de forma a aumentar suas oportunidades de participar do aquecimento econômico a ser verificado em toda a Área de Influência dos projetos.”.

A capacitação da população e o desenvolvimento de oportunidades prevêm uma série de ações, com destaque, na presente resposta ao IBAMA, das “ações de apoio à pesca local (comercial e artesanal) e outras iniciativas identificadas junto a grupos organizados de trabalhadores, aí se incluindo aqueles com atividades direta ou indiretamente associadas ao garimpo ou que utilizam as áreas de várzea como base de sua agricultura.”.

Por fim, na “fase de operação dos empreendimentos, o Empreendedor deve articular-se com a Prefeitura Municipal de Porto Velho e o Governo do Estado de Rondônia, no sentido de ofertar apoio para a definição e aplicação dos recursos provenientes da compensação financeira prevista na legislação.”.

Pergunta “h” - qual é a relevância do rio Madeira, em condições naturais, para conservação da dourada, piramutaba e outros migradores na Bacia Amazônica?

Considerando que essa pergunta está associada à contribuição do Rio Madeira para a manutenção da variabilidade genética desses peixes na Bacia Amazônica, objeto de abordagem no item 3.2.2. anterior, juntamente com a questão do *homing*, a resposta a essa pergunta já consta daquele item, que reproduz o parecer da Dra. Nídia Fabré sobre essa temática.

4. INFORMAÇÃO TÉCNICA Nº 20/2007-COHID/CGENE/DILIC/IBAMA (MERCÚRIO)

4.1. Considerações Iniciais:

Esse item apresenta resumidamente a investigação hidrobiogeoquímica realizada no âmbito do Estudo de Impacto Ambiental do Complexo Madeira.

4.1.1. Objetivos da Investigação:

4.1.1.1. Objetivo Geral:

Efetuar diagnóstico ambiental e humano nas comunidades ribeirinhas na área de estudo determinando as concentrações de poluentes organo-metálicos, a exemplo do mercúrio, tendo em vista a grande utilização desse elemento-traço nos sistemas hídricos locais pela mineração do ouro no processo de amalgamação, a partir da década de 70.

4.1.1.2. Objetivos Específicos:

- contribuir para o conhecimento do ciclo global do mercúrio no ambiente tropical por meio do levantamento dos processos biogeoquímicos.
- quantificar os corpos d'água da área de estudo em suas condições físicas e químicas (pH, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido e DQO).
- quantificar as concentrações de compostos metálicos nos compartimentos ambientais bióticos (peixes e macrófitas aquáticas) e abióticos (água, sólidos em suspensão, solos marginais e sedimentos de fundo) e na população humana potencialmente crítica a exposição ao mercúrio (análises em cabelo, urina e leite materno).
- avaliar as comunidades ribeirinhas quanto ao perfil epidemiológico, por meio de inquérito alimentar.

4.1.2. Metodologia:

O processo metodológico dos estudos hidrobiogeoquímicos do EIA iniciou-se com a delimitação do perfil de deslocamento para a realização das coletas de amostras abióticas (água, sólidos em suspensão, solos marginais e sedimentos de fundo), bióticas (peixes e macrófitas aquáticas) e na população humana potencialmente crítica à exposição ao mercúrio (cabelo). Em paralelo, foi realizado um inquérito alimentar e diagnóstico epidemiológico junto à população ribeirinha, delimitando assim a área de estudo, por meio da elaboração de desenho amostral.

Posteriormente, a metodologia delimitada para determinação dos elementos metálicos na área amostral constou das seguintes etapas: estruturação (montagem de equipe e preparação do laboratório), levantamento da área de estudo, levantamento bibliográfico, realização das amostragens (biótica, abiótica e humana), georeferenciamento dos pontos de amostragens, preparação e análise química das amostras, realização de análises estatísticas dos dados gerados, elaboração de planilhas e gráficos, interpretação dos resultados e confecção de relatórios e artigos científicos.

A amostragem ambiental (solos marginais, sedimentos de fundo, sólidos em suspensão, água, macrófitas aquáticas e peixe) foi realizada em duas etapas, considerando os períodos de vazante e cheia do rio. Essa amostragem envolveu o trabalho de uma equipe composta por 10 pessoas. A amostragem de peixes foi realizada por um integrante da equipe, que participou das campanhas da equipe da UNIR responsável por parte dos trabalhos de Ictiofauna.

A amostragem humana (cabelo) foi realizada também em duas etapas. Foram selecionadas algumas localidades no trecho em questão para realização dessas coletas. Os indivíduos da pesquisa foram orientados quanto ao estudo em realização para que autorizassem a coleta do cabelo, conforme os critérios legais.

4.2. Considerações Gerais:

A Instrução Técnica 20/2007 faz referência à necessidade de contratação de especialista de notório saber com conhecimento e experiência comprovada em hidrobiogeoquímica do mercúrio das águas do Rio Madeira e tributários. Importante salientar que o EIA contou com a consultoria especializada dos Professores Drs. Ene Gloria e Wanderley Rodrigues Bastos, do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal de Rondônia, que desenvolvem trabalhos na região do Rio Madeira há mais de duas décadas sobre essa temática.

Sob esse aspecto, a instrução não considerou os esclarecimentos prestados em reunião realizada no MMA em 28/03/2007, pelo Prof. Dr. José Galizia Tundisi, Presidente Honorário e Pesquisador do INSTITUTO INTERNACIONAL DE ECOLOGIA e Membro Titular da Academia Brasileira de Ciências, que os reproduziu conclusivamente em nota técnica protocolada posteriormente no IBAMA, conforme a seguir:

“1) Os estudos realizados com relação a Limnologia do Rio Madeira nos trechos dos empreendimentos foram realizados com competência e com a profundidade necessárias para uma avaliação do impacto e sua mitigação. Eventuais necessidades futuras de complementação de estudos não comprometem a viabilidade do empreendimento e a implementação dos trabalhos. As informações obtidas são de excelente nível e realizadas com abundância de dados de campo em todas as áreas da Limnologia.

2) A modelagem matemática da qualidade da água realizada foi adequada para uma avaliação do impacto do empreendimento e para futuras ações mitigadoras. A configuração e morfometria do sistema são de tal ordem que os impactos serão atenuados ou de pequena monta.

3) As avaliações e determinações realizadas com o transporte de sedimentos e as técnicas desenvolvidas apresentam grau de segurança adequado quanto à viabilidade, operação do empreendimento e futuros impactos. A necessidade de complementação de estudos no futuro não impede o prosseguimento do trabalho concomitantemente ao aprofundamento dos estudos já realizados e em andamento.

4) Do ponto de vista ambiental o empreendimento apresenta vantagens que são: baixo tempo de retenção; usinas operando afogadas e a fio d'água; baixo impacto sobre a retenção dos sedimentos. Isto foi demonstrado pelos estudos e pelas demonstrações dos técnicos na discussão ocorrida.

5) A continuidade dos estudos em etapas posteriores deve abranger alguns impactos em áreas de remanso, as interações sedimento/água e os efeitos das barragens a jusante; pela configuração e características operacionais dos sistemas, estes impactos não comprometerão o funcionamento dos principais processos ecológicos do Rio Madeira.

6) Em conclusão, reafirmo a avaliação técnica já realizada: o RIMA foi realizado com ampla gama de avaliações de excelente nível e alguns estudos necessários no futuro não comprometem o prosseguimento da obra. As condições de operação das obras são extremamente favoráveis à manutenção do funcionamento ecológico do sistema Rio Madeira.”

As medidas propostas nos estudos ambientais, relativas às condições do Igarapé Jatuarana, tencionam manter esse corpo d'água oxigenado, reduzindo as possibilidades de condições ideais para a metilação do Hg, conforme apresentado nos estudos ambientais.

Ainda segundo as modelagens matemáticas realizadas nos estudos ambientais, o tempo de residência no canal principal, durante e pós-enchimento, não acarretará grandes mudanças nas condições físico-químicas, assim como estratificação na coluna d'água. Assim, deverão ser mantidas as características físico-químicas principais da água do Rio Madeira, que, como é sabido, não são as mais propícias para a biotransformação do Hg, fato também não considerado na informação técnica.

A conclusão do parecer, portanto, desconsidera os esclarecimentos prestados no TOMO E do EIA em relação às medidas propostas para reduzir as condições propícias à metilação do mercúrio no Igarapé Jatuarana, bem como as medidas propostas para a retirada de macrófitas, no caso de seu desenvolvimento.

4.3. Respostas às Perguntas da Informação Técnica 20/2007 (Mercúrio):

Os quesitos 1, 2 e 4, reproduzidos a seguir, foram respondidos nos TOMOS “B” (Volume 6/8 – Capítulo IV), “C” (Volume 1/1 – Capítulo 3) e “E” (Volume 2/3, itens 5 e 6, páginas 109 a 112) do EIA.

Pergunta 1 - considerando as estimativas da quantidade de mercúrio, seja de origem natural ou antrópica, existente no trecho do rio Madeira e tributários, e as futuras alterações decorrentes da suposta implantação do empreendimento, existem subsídios conclusivos que permitem avaliar o risco de remobilização, metilação, bioacumulação e biomagnificação do mercúrio em função da execução da obra proposta?!

Conforme registrado no Tomo E do EIA (Volume 2/3, item 4 – Mercúrio em Lagos e Reservatórios), para que o mercúrio em sua forma natural, ou decorrente de atividades garimpeiras, se transforme em metil-mercúrio, é necessário que o ambiente apresente um conjunto de características: anoxia, pH reduzido, tempo de residência da água elevado e altas concentrações de matéria orgânica dissolvida: “A construção de grandes lagos para instalação de usinas hidrelétricas, o que não seria o caso para as hidroelétricas do Madeira, pode contribuir para a disponibilização e transformação química do mercúrio para a biota.”.

A pergunta, diferentemente do dito no EIA, parte da premissa de que a implantação do Complexo Madeira propiciará condições de metilação do mercúrio, previstas para situações episódicas, haja vista as características dos empreendimentos. Cabe reproduzir o registro do Prof. Tundisi, que consta do documento protocolado no IBAMA em 25/04/2007: “do ponto de vista ambiental o empreendimento apresenta vantagens que são: baixo tempo de retenção; usinas operando afogadas e a fio d’água; baixo impacto sobre a retenção dos sedimentos. Isto foi demonstrado pelos estudos e pelas demonstrações dos técnicos na discussão ocorrida” (discussão ocorrida no MMA em 28/03/2007).

Existem subsídios decorrentes dos diversos estudos de diagnósticos associados ao tema, integrantes do estudo de viabilidade. São conclusivos, respeitando-se sempre os limites das incertezas inerentes às metodologias consagradas e adotadas e que estão descritas no EIA.

Independente de qualquer empreendimento na região do Rio Madeira, faz 20 anos (1987-2007) as formas de Hg são investigadas, objetivando avaliar o comportamento desse elemento diante da significativa flutuação sazonal natural do rio. Os conhecimentos adquiridos em toda a extensão do Madeira são significativos e subsidiam afirmativas com relação ao empreendimento proposto:

- **Risco de Remobilização:**

Tomando como referência resultados advindos das atividades de retificação do canal de navegação da Hidrovia Porto Velho-Itacoatiara realizadas a jusante de Porto Velho, a remobilização de sólidos no talvegue do rio é um fato de risco, portanto merecedora de atenção, com ações de monitoramento limnológico e hidrobiogeoquímico, assim como acompanhamento e controle no processo das obras, previstos no EIA. Maiores detalhes são discutidos na pergunta 2 abaixo.

- **Risco de Metilação:**

Os padrões atuais de limnologia e qualidade da água do Rio Madeira não apresentam características físico-químicas propícias para esse fenômeno e os prognósticos apresentados pelas modelagens matemáticas indicam que estes padrões não deverão ser mantidos com pequenas flutuações incapazes de descaracterizar aquele ambiente.

Com relação aos novos ambientes dos compartimentos laterais decorrentes da implantação dos empreendimentos, estes serão propícios à metilação, conforme dito no início das resposta a essa pergunta, quando ocorrer anoxia, valores reduzidos de pH, grandes teores de matéria orgânica dissolvida na água e elevado tempo de residência desta. Mais uma vez, os prognósticos apresentados pelas modelagens matemáticas indicam que estes ambientes serão de caráter episódico, com tendências ao desaparecimento no decorrer da estabilização dos novos sistemas formados. Maiores detalhes são discutidos nas perguntas 3 e 4 a seguir.

Conforme descrito no EIA (Programas de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, Limnológico e de Macrófitas Aquáticas, e nas modelagens matemáticas), o monitoramento constante das condições físico-químicas das áreas potenciais (identificadas também nas modelagens), assim como a investigação dos teores e processos relacionados com a questão do mercúrio, serão as ferramentas de análise e tomada de decisão para medidas de controle e/ou intervenção. Conforme verificado nos estudos de modelagens, pequenas operações de variação de nível nos reservatórios são forçantes eficazes na alteração das condições físico-químicas naqueles ambientes caso atinjam níveis críticos, pois atuam sobre os tempos de residência da água. A maior indicação para estes procedimentos, conforme descrito no TOMO E, relaciona-se aos prognósticos do igarapé Jatuarana.

- Risco de Bioacumulação e de Biomagnificação:

A bioacumulação e a biomagnificação são fenômenos naturais que já ocorrem na região objeto dos estudos. As previsões dos estudos ambientais indicam que estes processos continuarão a ocorrer devido à eficiente solubilidade do metil-Hg em gorduras e à baixa taxa de eliminação pelos organismos vivos. A minimização destes processos, portanto, está relacionada com o controle dos processos de metilação e remobilização.

Pergunta 2 - com relação a possível ocorrência de depósitos de mercúrio nos locais que sofrerão intervenções diretas das obras das barragens, como escavação e dragagem, quais medidas de controle viáveis que deverão ser tomadas a fim de evitar o risco de contaminação dos trechos a jusante?

Com relação à possível ocorrência de depósitos de mercúrio nos locais que sofrerão intervenções diretas das obras das barragens, cabe salientar que as escavações ocorrerão principalmente no leito seco do rio, ou seja, sem contato com a água. Essa situação, além de tranquilizar no tocante ao carreamento para jusante de cargas ressuspendidas, facilita o controle do isolamento do mercúrio, caso encontrado, e, nesse caso, também o seu transporte e acondicionamento.

As medidas de controle viáveis que deverão ser tomadas a fim de evitar o risco de contaminação dos trechos a jusante estão apresentadas no TOMO “E” (Volume 2/3, itens 5 e 6, páginas 109 a 112) do EIA, conforme a seguir:

“Considerações Finais

(...) Na fase de movimentação de terras e rochas do leito do rio para construção das duas barragens (Jirau e Santo Antônio), por existir possibilidades de residir Hg na forma metálica concentrado em bolsões nas áreas de cachoeiras do rio, deverá ocorrer monitoramento constante desses bolsões e uma vez encontrado(s) deverão ser recolhidos e armazenados em reservatórios de polietileno (sintonia entre as engenharias civil e ambiental);

(...)

Recomendações

Uma avaliação batimétrica e geofísica prévia poderão contribuir na identificação de áreas dos prováveis bolsões de Hg metálico nas cachoeiras de Jirau e Santo Antônio. Independente dessa avaliação, durante a perfuração e retirada de material rochoso e sedimentar para a construção das barragens deverá ocorrer um monitoramento constante para que os possíveis bolsões de Hg, uma vez encontrados serem recolhidos e armazenados (sintonia entre as engenharias civil e ambiental)”.

Pergunta 3 - os modelos hidrológicos, sedimentológicos e biogeoquímicos em 1D e 2 D utilizados no EIA-RIMA eram suficientemente realísticos para prever a variação espacial nas condições limnológicas críticas para a metilação de mercúrio (e.g., anoxia, material orgânico dissolvido, pH e as distribuição de áreas alagáveis, plantas aquáticas e plantas terrestre mortas)?

No documento elaborado pelo Consórcio FURNAS-ODEBRECHT, por solicitação do IBAMA, protocolado em 16/01/2007, anexo à correspondência GA.E.E.016.2007, que tece comentários sobre o relatório elaborado pela COBRAPE, Empresa Contratada por indicação do Ministério Público para analisar os estudos ambientais, intitulado “Avaliação Técnica do Relatório de Análise do Conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antonio e Jirau, no Rio Madeira, Estado de Rondônia”, é apresentada argumentação técnica sobre os modelos matemáticos empregados e suas capacitações para identificar e caracterizar as condições críticas referidas (páginas 39 e 40).

Nos estudos de qualidade da água dos reservatórios foi empregado o modelo QUAL2E, desenvolvido pela EPA – Environmental Protection Agency (Agência Ambiental dos Estados Unidos). O QUAL2E permite representar de forma adequada os processos associados à decomposição da biomassa afogada, que é o principal impacto esperado da implantação dos reservatórios do rio Madeira sobre a qualidade da água.

De forma a permitir um melhor detalhamento da qualidade da água dos tributários e bolsões marginais ao longo do reservatório, foi também utilizado um modelo hidrodinâmico bi-dimensional, definindo as condições de contorno para aplicação do modelo de qualidade da água. Foi empregado o modelo DINHYD, que é o módulo hidrodinâmico do modelo de qualidade da água WASP - Water Quality Analysis Simulation Program, desenvolvido e distribuído pelo EPA.

Os modelos matemáticos utilizados nesta etapa dos estudos são, portanto, adequados e suficientes para a fase de ANÁLISE DA VIABILIDADE AMBIENTAL dos aproveitamentos, tendo sido empregados modelos uni-dimensionais e bi-dimensionais, quando a maior complexidade dos processos envolvidos assim exigiu. Destaca-se também que os resultados da modelagem mais detalhada, bi-dimensional, onde realizada, confirmaram os obtidos com a modelagem uni-dimensional – as conclusões decorrentes são as mesmas.

Nos estudos sedimentológicos foi utilizado o modelo "HEC-6 - Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs, do U.S. Army Corps of Engineers, que é um modelo de hidráulica fluvial com fundo móvel, uni-dimensional, capaz de quantificar a evolução da calha fluvial através da realização de balanços sedimentológicos por trechos. Outras análises foram também elaboradas com o auxílio do modelo HEC-RAS – River Analysis System, desenvolvido também pelo U.S. Army Corps of Engineers. Esses modelos são mundialmente consagrados em razão de sua grande utilização. Registra-se que este assunto

foi detalhadamente abordado no item 2 deste documento, correspondente à apresentação das respostas à Informação Técnica 17/2007.

Conforme ressaltado no EIA (TOMO E, Volume 2/3 - Item 8 - Nova Simulação do Modelo da Qualidade da Água - páginas 115 a 240), Anexo V deste documento, os prognósticos de qualidade da água para os compartimentos laterais foram feitos considerando as condições mais conservadoras de transferência de biomassa alagada para o meio aquoso, ou seja, ante a suposição da mortalidade integral de toda vegetação terrestre atingida, nos primeiros momentos do enchimento.

Esta premissa, que visava, sobretudo, simular a situação mais crítica para depleção de oxigênio dissolvido, é conservadora pois grande parte da vegetação que será atingida está acostumada a ciclos inundações, devendo, portanto, transferir gradualmente sua matéria orgânica. Mesmo nesses cenários críticos, os prognósticos de anoxia (falta de oxigênio dissolvido na água) gerados pelos modelos adotados foram muito localizados e fugazes.

Vale então concluir que se não fossem adotadas tais premissas críticas de morte e transferência de vegetação terrestre para o os compartimentos laterais, os prognósticos seriam ainda mais brandos que aqueles apresentados no EIA.

Os modelos utilizados foram conclusivos no quesito mais importante para verificação de condições críticas à metilação, qual seja, para a anoxia. Tanto que acusaram com segurança a gravidade do fenômeno apenas para o igarapé Jatuarana. Vale ressaltar que a forçante que mais influenciou na análise das condições de metilação - o balanço hídrico dinâmico em cada compartimento - não está muito relacionada com simplificações dimensionais.

Portanto, os resultados são coerentes, confiáveis e adequados à fase atual dos estudos ambientais. Vale ressaltar os pareceres de dois eminentes consultores que corroboram o acima exposto:

- A apresentação do Prof. Carlos Tucci, consultor do IBAMA, na Audiência Pública realizada na Câmara dos Deputados no dia 03/05/2007, inclui, em sua análise, a seguinte afirmativa: “Qualidade da Água – Metodologias de Análise Adequadas”.
- Nota técnica Prof. Dr. José Galizia Tundisi, Presidente Honorário e Pesquisador do INSTITUTO INTERNACIONAL DE ECOLOGIA e Membro Titular da Academia Brasileira de Ciências: “(...) A modelagem matemática da qualidade da água realizada foi adequada para uma avaliação do impacto do empreendimento e para futuras ações mitigadoras. A configuração e morfometria do sistema são de tal ordem que os impactos serão atenuados ou de pequena monta.”

Pergunta 4 - considerando as mudanças previstas nas condições hidrodinâmicas dos tributários e conseqüentes alterações na qualidade da água, em decorrência do barramento, quais seriam as possíveis medidas de controle caso este novo cenário viesse a favorecer o processo de metilação do mercúrio?

Conforme verificado nos estudos de modelagens, pequenas operações de variação de nível nos reservatórios são forçantes eficazes na alteração das condições físico-químicas naqueles ambientes caso atinjam níveis críticos, pois atuam sobre os tempos de residência da água.

Estes aspectos foram fundamentais na interpretação dos prognósticos, sobretudo para o AHE Jirau, onde o dinamismo dos fluxos hídricos entre o corpo central e os compartimentos laterais, regidos pela regra operativa prevista para aquela usina, foi o principal fator responsável pelos cenários desfavoráveis à metilação.

A ferramenta de análise mais importante para tomada de decisão sobre medidas de controle e/ou intervenção é certamente o monitoramento constante das condições físico-químicas-biológicas das áreas de risco potencial (identificadas também nas modelagens), associada com a investigação intensiva dos teores e processos relacionados com a questão do mercúrio. Estes monitoramentos estão citados na resposta dada acima à pergunta 1 da instrução técnica.

Uma vez detectados num compartimento, aspectos que apontem para risco, pretende-se efetuar manejos hidráulicos com intuito de promover renovação da massa d'água e desfazer as condições propícias à metilação do mercúrio. No caso de processos relacionados com macrófitas, estão previstas ações de controle e/ou remoção dos bancos de vegetação flutuante.

A maior indicação para estes procedimentos, conforme descrito no TOMO E, relaciona-se aos prognósticos do Igarapé Jatuarana.

Uma vez verificadas situações de risco à saúde, diversas ações poderão ser conduzidas com os seguintes teores:

- identificação das limitações aos usos decorrentes do evento.
- comunicação aos órgãos competentes visando à interdição dos usos identificados na região afetada.
- Promoção de comunicação e esclarecimento à população.
- Promoção de apoio e assistência aos atingidos pelo evento, com relação aos impactos identificados sobre os usos.
- Desenvolvimento de ações de manejo visando restabelecer os usos restringidos.

Pergunta 5 - o aumento do desmatamento, em função do crescimento populacional decorrente do empreendimento, tende a aumentar o carreamento de solo para dentro dos corpos d'água. Considerando a ocorrência natural de mercúrio no solo da região, após a implantação do empreendimento, o risco de aporte de mercúrio para dentro dos corpos d'água será intensificado?

Não, o risco não será intensificado, e sim atenuado, tendo em vista as medidas propostas no EIA visando evitar o aumento do desmatamento: a implantação dos Programas Ambientais de Acompanhamento das Atividades de Desmatamento e de Resgate da Fauna em Áreas Diretamente Afetadas; de Compensação Ambiental; de Comunicação Social e Educação Ambiental; e, principalmente, do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial, que ordena o uso do solo no entorno dos reservatórios.

Dessa forma, pode-se inferir que o risco de aporte de mercúrio para dentro dos corpos d'água decorrente de processos erosivos, tenderá a diminuir.

Pergunta 6 - é conhecido que o nível de contaminação mercurial num ser humano é proporcional à carga diária de mercúrio que ele ingere através dos alimentos, normalizada ao seu peso corporal. Para avaliar o risco de contaminação associado à obra, este parâmetro deve ser medido em populações ribeirinhas antes da construção dos empreendimentos. A quantificação de mercúrio na população ribeirinha foi realizada de forma satisfatória para esta fase do processo?

Sim. Para as avaliações da toxicologia humana por Hg os estudos de hidrobiogeoquímica realizados no EIA utilizaram amostras de cabelo, considerado pela comunidade científica como um ótimo indicador de Hg na corrente sanguínea. Esse indicador possibilita, ainda, uma avaliação histórica, como reflexo direto e integrado do consumo de peixes contaminados com Hg.

Os resultados desse estudo, já apresentados no TOMO B – Volume 6/8, páginas IV-1177 a IV-1180, são reproduzidos a seguir:

“A TABELA B.IV. 263 revela a avaliação realizada no mês de novembro/2003, na qual foram priorizadas as localidades e vilarejos próximos a BR-364, entre Porto Velho e Abunã. As amostras das comunidades de Fortaleza do Abunã e, principalmente, Cachoeira Teotônio apresentaram valores médios superiores ao que orienta a Organização Mundial de Saúde – OMS como concentração dentro da normalidade (até 6,00 µg.g⁻¹).

A segunda amostragem, realizada em maio/2004, quando as comunidades e vilarejos mais próximos das margens do rio Madeira em ambas as margens, foram priorizadas, revelou média superior ao da primeira amostragem, novamente tendo como destaque a comunidade de Cachoeira Teotônio (TABELA B.IV. 264).

As comunidades Cachoeira dos Macacos, Cachoeira Teotônio, Conceição, Gleba Jaci-Paraná, Jatuarana, Joana D'Arc, Maloca e Morrinhos apresentaram valores médios superiores à orientação da OMS.

TABELA B.IV.263 - Valores médios de Hg nas amostras de cabelo da população das comunidades entre Porto Velho e Abunã (novembro 2003)

Localidades	[Hg] $\mu\text{g.g}^{-1}$	D.P.	C.V.(%)	n
Abunã	4,08	9,91	243	49
Embaúba	5,67	9,77	172	11
Fortaleza do Abunã	6,59	8,19	124	40
Jaci-Paraná	2,70	2,54	94	75
Mutum-Paraná	5,99	4,95	83	31
Jirau	2,08	1,32	64	09
Porto da Balsa	2,79	2,71	97	06
Cachoeira Teotônio	19,87	24,75	125	35
MÉDIA	6,42	12,25	191	256
Baixo Madeira (Bastos, 2004)	15,22	9,60	63	713
OMS*	6,00			

*Concentração limite de normalidade (Organização Mundial de Saúde)

TABELA B.IV. 264 - Valores médios de Hg nas amostras de cabelo da população das comunidades entre Porto Velho e Abunã (maio 2004)

Localidades	[Hg] $\mu\text{g.g}^{-1}$	D.P.	C.V.(%)	n
Cachoeira dos Macacos	20,34	12,12	60	05
Cachoeira Ribeirão	2,11	1,54	73	05
Cachoeira Teotônio	40,22	41,05	102	07
Conceição (M.D.)	7,94	4,11	52	03
Gleba Jaci-Paraná	7,66	2,80	36	03
Igarapé Ceará	6,00	7,50	125	08
Igarapé Lusitana	5,92	7,34	124	03
Jatuarana	30,71	41,10	134	16
Joana D'Arc	8,59	20,45	238	41
Limoeiro	3,61	2,12	59	05
Maloca	7,20	4,26	59	03
Morrinhos	7,50	11,92	159	17
Rio Jaci-Paraná (M.E.)	2,81	1,56	55	05
Vera Cruz	2,51	1,20	48	08
Vila Murinho	2,35	2,74	117	24
MÉDIA	10,51	21,86	208	153
OMS*	6,00			

*Concentração limite de normalidade (Organização Mundial de Saúde)

Cerca de 54% das pessoas avaliadas foram do sexo feminino (n=221) e 46% do sexo masculino (n=188) e apresentaram valores médios de Hg total de $5,04 \pm 7,44 \mu\text{g.g}^{-1}$ (nov/03) e $8,59 \pm 20,25 \mu\text{g.g}^{-1}$ (mai/04) e; $8,27 \pm 16,48 \mu\text{g.g}^{-1}$ (nov/03) e $12,35 \pm 23,28 \mu\text{g.g}^{-1}$ (mai/04), respectivamente (TABELA B.IV. 265 e TABELA B.IV. 266).

TABELA B.IV. 265 - Valores médios de Hg nas amostras de cabelo, por sexo, na Amostragem de novembro de 2003

Sexo	[Hg] $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	D.P.	C.V. (%)	n	Min.	Max.
Feminino	5,04	7,44	148	146	0,23	49,33
Masculino	8,27	16,48	199	110	0,08	143,27
Média	6,42	12,25	191	256	0,08	143,27
OMS*	6,00					

*Concentração limite de normalidade (Organização Mundial de Saúde)

TABELA B.IV. 266 - Valores médios de Hg nas amostras de cabelo, por sexo, na amostragem de maio de 2004

Sexo	[Hg] $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	D.P.	C.V. (%)	n	Mín	Máx.
Feminino	8,59	20,25	236	75	0,07	142,01
Masculino	12,35	23,28	189	78	0,24	122,47
Média	10,51	21,86	208	153	0,07	142,01
OMS*	6,00					

*Concentração limite de normalidade (Organização Mundial de Saúde)

...”

Portanto, 409 pessoas (221 mulheres e 188 homens) foram avaliadas com relação aos teores de Hg, através da análise do cabelo (procedimento padrão para o diagnóstico) no trecho proposto para o empreendimento (Abunã a Porto Velho). Em estudo recente no Baixo Madeira (Porto Velho a Itacoatiara-AM) realizado em 2004 pela mesma equipe de pesquisadores foram amostrados 713 indivíduos avaliados.

Ainda sobre esse assunto, o TOMO E do EIA, Volume 2/3 – Meio Biótico, página 111, complementa a análise:

Importante enfatizar que os fenômenos de transformação química e a biodisponibilidade do Hg já ocorrem na bacia do Rio Madeira, assim como em outros rios da região, muito embora os compartimentos não biológicos apresentem concentrações normais, conforme demonstrado em recente estudo por Bastos et al (2006, in press). Os dados publicados no referido artigo não sugerem nenhuma redução das concentrações de Hg nas matrizes biológicas ao longo dos últimos 15 anos (tabela 1), entretanto essas flutuações com valores elevados não se registra a toxicologia do Hg na população ribeirinha da região.

Tabela 1. Concentrações médias de Hg em diferentes matrizes abiótica e biótica entre os anos de 1990 e 2000 no Rio Madeira (Bastos *et al*, 2006)

Matriz	(Malm <i>et al</i> , 1990) Hg ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \pm \text{D.P.}$) (Mín. – Máx.)	(Bastos <i>et al</i> , 2006) Hg ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1} \pm \text{D.P.}$) (Mín. – Máx.)
Sedimentos de Fundo	$0,13 \pm 0,11$ (0,03 – 0,35)	$0,06 \pm 0,02$ (0,03 – 0,12)
Sólidos em Suspensão	$0,50 \pm 0,13$ (0,35 – 0,58)	$0,04 \pm 0,02$ (0,02 – 0,05)
Solos	$0,39 \pm 0,10$ (0,27 – 0,54)	$0,11 \pm 0,09$ (0,04 – 0,37)
Peixes	$0,92 \pm 0,75$ (0,10 – 2,10)	$0,34 \pm 0,36$ (0,01 – 2,52)
Cabelos Humano	$9,20 \pm 14,0$ (0,22 – 40,0)	$15,22 \pm 9,60$ (0,36 – 150,0)

Os dados coletados no âmbito dos estudos ambientais foram suficientes para publicação de resultados em revista de ponta, especializada no tema, e também foram de qualidade para comparação com valores de publicação consagrada. Passaram, portanto, pela avaliação criteriosa da comunidade científica, sugerindo que devam ser também suficientes para estudo da fase de licença prévia.

ANEXO I

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
Brasília – DF – Brasil

Projeto Rio Madeira

Estudos Hidráulicos e de Sedimentos

(Tradução)

Sultan Alam
Consultor Independente

Janeiro de 2007

**Ministério de Minas e Energia
Brasília – DF – Brasil**

Projeto Rio Madeira

Estudos Hidráulicos e de Sedimentos

(Tradução)



Sultan Alam
Consultor Independente

Janeiro de 2007

Tabela de Conteúdo

*

Introdução

- Descrição Geral do projeto
- Visita ao sítio do projeto e principais observações
- Objetivo do relatório

Conclusões e Recomendações

1. **Revisão geral da hidrologia do rio e dados sobre transporte de sedimentos.**
 - 1.1. **Hidrógrafas anuais da vazão do rio, curvas de permanência de vazão e dados de vazão de sedimento**
 - 1.2. **Aumentos da profundidade de água ao longo do reservatório a fio d'água para várias vazões e cota de 70,00 m.**
 - 1.3. **Velocidades médias locais de fluxo para várias vazões ao longo do reservatório a fio d'água.**
2. **Análise das características de transporte de sedimento entre Jirau e Santo Antônio**
 - 2.1. **Características de transporte de sedimentos com condições naturais para as seguintes vazões do rio: 5.000; 10.000; 18.000; 39.100; 40.000; 61.200; 72.600 e 84.000 m³/s.**
 - 2.2. **Características de transporte de sedimentos com o reservatório a fio d'água de AHE Santo Antônio para as seguintes vazões do rio: 5.000; 10.000; 18.000; 39.100; 48.600; 61.200; 72.600 e 84.000 m³/s.**
3. **Principais Observações e Conclusões**
 - 3.1. **Condições de fluxo do rio entre Jirau e Santo Antônio**
 - 3.2. **Condições de transporte de sedimento entre Jirau e Santo Antônio**
 - 3.3. **Necessidades de melhorar o processo de evacuação de areias grossas e cascalhos finos através do vertedouro com mudança do arranjo do projeto.**
4. **Anexo – I**
 - **Necessidade de um estudo compreensivo de modelo hidráulico.**
 - **Otimização do arranjo do projeto e desenho hidráulico.**
 - **Evacuação segura de areia.**
 - **Transporte de madeira flutuante e submerso³**
 - **Formação de vórtices de entrada de ar nas tomadas d'água das turbinas bulbo**
 - **Perda na tomada d'água e canal de fuga**
 - **Seqüências de construção**
5. **Figuras**
6. **Fotos**
7. **Apêndices** (Cálculo das características de transporte de areia e cascalho fino ao longo do rio entre o km 0,0 e o km 125,8 para vazões do rio com condições de fluxo naturais e com o reservatório a fio d'água na cota 70,00 m):

I	-	Q = 5,000 m ³ /s Natural river flow conditions
IA	-	Q = 5,000 m ³ /s With storage (ponding)

II	-	Q = 10,000 m ³ /s Natural river flow conditions
IIA	-	Q = 10,000 m ³ /s With storage (ponding)
III	-	Q = 18,000 m ³ /s Natural river flow conditions
IIIA	-	Q = 18,000 m ³ /s With storage (ponding)
IV	-	Q = 39,100 m ³ /s Natural river flow conditions
IVA	-	Q = 39,100 m ³ /s With storage (ponding)
V	-	Q = 48,600 m ³ /s Natural river flow conditions
VA	-	Q = 48,600 m ³ /s With storage (ponding)
VI	-	Q = 61,200 m ³ /s Natural river flow conditions
VIA	-	Q = 61,200 m ³ /s with storage (ponding)
VII	-	Q = 72,600 m ³ /s Natural river flow conditions
VIIA	-	Q = 72,600 m ³ /s with storage (ponding)
VIII	-	Q = 84,000 m ³ /s Natural river flow conditions
VIIIA	-	Q = 84,000 m ³ /s with storage (ponding)

Apresentação em PowerPoint: Rio Madeira – Santo Antônio Hydro Project, January 12, 2007.

Apresentação em PowerPoint: Site Visit at Porto Velho December 15, 16 & 17, 2006.

Tradução: Eng. John Denys Cadman – Consultor MME
 Revisão: Eng. Eduardo de Freitas Madeira – Consultor MME

Introdução

Objetivo do Relatório

O objetivo do relatório é avaliar os aspectos de gerenciamento dos sedimentos da AHE Santo Antônio conforme projetado pela PCE, Furnas e Odebrecht, formar conclusões e fazer recomendações adequadas, atingindo assim os objetivos desejados.

As preocupações principais dos engenheiros do Ministério de Minas e Energia (MME) são de confirmar que o arranjo geral do projeto pode gerenciar adequadamente os sedimentos no reservatório a fio d'água* com respeito aos seguintes aspectos:

- A. O plano de gerenciamento dos sedimentos para o reservatório a fio d'água e o projeto das estruturas hidráulicas devem garantir a operação confiável da usina.
- B. A quantidade e composição mineralógica dos sedimentos transportados pelo rio Madeira devem merecer atenção especial.
- C. O processo de transporte de sedimento através do reservatório a fio d'água, o impacto que os sedimentos retidos podem ter nas áreas inundadas, as possíveis alterações nas curvas de remanso do reservatório a fio d'água durante a vida do projeto na operação, manutenção e vida econômica da usina.

Estes itens de referência implicam que seria necessário analisar o seguinte:

- As condições de operação das estruturas individuais como casa de força e vertedouro e seu impacto no transporte do sedimento de fundo.
- Os detalhes no mecanismo de transporte dos sedimentos ao longo dos 125 km do trecho do rio entre Jirau e Santo Antônio para as várias vazões do rio entre 5.000 m³/s e 84.000 m³/s.
- Além de identificar as áreas de sedimentação e seus efeitos eventuais nos perfis do fluxo de água, este relatório deve verificar o trânsito de areia na casa de força e vertedouro. Assim, o arranjo do projeto e as posições das várias estruturas devem ser revistos na tentativa de reduzir, na medida do possível, a entrada de areias e cascalhos finos nas tomadas d'água das unidades bulbo.

* Foi adotada a expressão mais usada no Brasil, “reservatório a fio d'água”, para traduzir a expressão “pool” que o autor usa para denominar o corpo d'água que se forma com a construção da barragem, sem capacidade de reservar ou armazenar água e que, entretanto, tem diferenças em relação à calha natural do rio.

Descrição Geral do Projeto

O projeto de baixa queda de Santo Antônio está localizado na corredeira do mesmo nome no rio Madeira, imediatamente a montante da cidade de Porto Velho, no estado de Rondônia. A usina tem uma capacidade instalada de 3.150 MW com 44 unidades tipo bulbo e com vazão total de 24.000 m³/s. O projeto tem um vertedouro com 21 comportas de segmento, cada uma com 21,03 m de altura e 20 m de largura e vazão total de 84.000 m³/s. O nível máximo normal é 70,00 m com nível máximo máximo de 72,00 m para a vazão máxima de cheia de 84.000 m³/s. Durante a época de águas baixas, o reservatório a fio d'água tem 125 km de comprimento até o salto de Jirau. Para vazões acima de 39.100 m³/s, os níveis máximos do reservatório a fio d'água são os mesmos níveis das cheias naturais a partir de 60 km a montante da usina de Santo Antônio.

Visita ao Sítio e Principais Observações

Uma visita ao sítio foi organizada entre 15 e 17 de dezembro de 2006 pelos engenheiros do Ministério de Minas e Energia (MME). A equipe incluiu o Dr. John Denys Cadman, Consultor do MME, Dra. Jennifer Sara, Coordenadora Regional do Banco Mundial e S. Alam, Consultor. O tempo na área do projeto estava bom e foi possível visitar o sítio do projeto além dos trechos do rio a jusante do sítio e a montante do sítio até o salto de Teotônio, localizado 17 km rio acima. Agradecemos à Eletronorte, em especial ao Sr. Lima, que forneceu apoio técnico e material, sem o qual teria sido impossível atingir os objetivos.

Observações Principais

- A vazão do rio estava em torno de 10.000 m³/s, baixo para esta época do ano.
- Os níveis d'água a montante e a jusante da corredeira de Santo Antônio estavam em 50,50 m e 49,50 m respectivamente, conforme as curvas-chave (a leitura de régua junto à estação de bombeamento indicou o nível d'água na cota _ _ _).
- Foram feitas tentativas de coletar materiais do fundo do rio em 20 locais diferentes. Devido ao mau funcionamento do amostrador e também devido à presença de afloramentos de rocha, somente 6 amostras foram coletadas. (Ref. Figura ...). Exame visual e tátil indicou que a maioria das amostras foram de areias finas a muito finas (0,0062 mm a 0,50 mm) com um pouco de silte grosseiro. Somente a amostra n°. 19 tinha areia grossa a cascalho fino (1,00 mm a 10,00 mm). A forma dos grãos de areia grossa e dos grãos dos cascalhos finos maiores eram parcialmente redondas. Somente os maiores grãos de cascalho fino eram angulares, sendo de origem provável do salto Teotônio. Uma fração importante da amostra parece ser origem de quartzito (foto 7).
- Vimos deslizamentos menores de material (foto 10) de dois barrancos, indicando assim que uma certa quantidade de material aluvial sedimentar estava sendo acrescida ao fluxo ao longo do rio.
- A amostra 19 coletada na praia submersa confirma que, de acordo com o canal do rio natural com cheia máxima de 45.000 m³/s, o tamanho máximo dos grãos sendo transportados neste trecho do rio é provavelmente entre 4,00 e 5,00 mm (foto 7) e quase todas estas areias grossas e cascalhos finos fazem parte da carga de fundo, isso quer dizer que elas estão em suspensão, movimentando-se perto do fundo do rio, ou estão em saltitação (saltos intermitentes no fundo do rio) ou em arraste (andando ao longo do

fundo do rio sem levantar do fundo). Também estes materiais grosseiros estão movendo-se somente no barranco direito do rio na curva imediatamente a montante do eixo do projeto.

- Este fato confirma que a posição do vertedouro no lado direito do rio é uma escolha boa. Entretanto, o arranjo do projeto e as escavações no fundo e margens do rio podem modificar bastante as velocidades e distribuição do fluxo além das correntes secundárias nesta área. Estes fatos podem eventualmente influenciar a direção do movimento da carga de fundo. Somente um modelo hidráulico corretamente projetado pode nos permitir determinar com certeza o movimento da carga de fundo com a usina e vertedouro em operação e assim confirmar que o grosso da carga de fundo passa de fato pelo vertedouro.

- Durante nossa viagem no rio, tanto a jusante como a montante, ficamos impressionados pela quantidade e tamanho do material flutuante na superfície do rio. As árvores eram de 5 m a 10 m em comprimento com diâmetros de cerca de 0,3 m a 0,5 m e, pode ser assumido, que o material submerso é de tamanho igual (de acordo com informações disponíveis na usina hidrelétrica Sidney A. Murray no rio Mississipi, o material submerso é de cerca de 20 a 30%). De fato, o imprudente piloto do nosso barco quebrou o pino da hélice 4 vezes na tentativa de passar pelo material flutuante. No final ele quebrou o motor de popa de 45 HP. Felizmente, nós encontramos perto da margem do rio e longe da corredeira. Assim podemos chegar à terra firme e voltar ao ponto de saída com outro barco sem prejuízo.

- Considerando que o comprimento da usina é de cerca de 1.050 m, do vertedouro de 500 m e da barragem de enrocamento de 900 m, este material flutuante teria muitas áreas para acumular e limpa-grades convencionais projetados para material muito mais leve não devem limpar este material flutuante do rio Madeira. Não conheço o tipo de equipamento limpa-grades previsto para Santo Antonio, mas baseado na minha experiência na usina Sidney A. Murray no rio Mississipi em Lousiana, posso dizer que o projeto deve ser específico para o sítio.

Conclusões

O arranjo proposto: Casa de força na margem esquerda ou meio do rio e vertedouro na margem direita deve encaixar bem com a configuração existente de transporte de sedimento imediatamente a montante do sítio do projeto. Entretanto, o arranjo proposto junto com as escavações no leito e margens do rio e aumento da profundidade do rio pode modificar as velocidades de fluxo e, em especial, as correntes secundárias, assim influenciando o movimento da carga de fundo. O impacto destas modificações junto com as vazões do rio e modos de operação do projeto devem ser analisados usando um modelo hidráulico.

Baseado nas observações do rio e do sítio do projeto pode-se concluir que, se não forem bem gerenciados os materiais flutuantes e submersos, eles podem ser uma fonte de dificuldades de operação logo depois que o projeto seja comissionado. Além do gerenciamento do sedimento, o controle dos materiais flutuantes e submersos deve merecer atenção igual.

Conclusões e Recomendações

Comparados com a concentração máxima de sedimento medida atualmente de 3.500 ppm, futuras concentrações máximas devem ser muito mais, cerca de 10.000 a 20.000 ppm, devido a acumulação de areia durante as vazões abaixo de 18.000 m³/s e a lavagem anual destes sedimentos durante as altas vazões de 30.000 m³/s ou mais. A forma da hidrógrafa anual indica que cerca de 4 meses de vazões acima de 30.000 m³/s ou mais são garantidas todos os anos.

Segregação e acumulação de areias grossas e cascalhos finos tem sido observados a cerca de 2.000 m a montante do projeto. Cuidados devem ser empregados na seleção da locação das estruturas de concreto de maneira a facilitar a passagem destas areias e cascalhos pelo vertedouro. O conteúdo de quartzo da rocha do embasamento é de cerca de 40 %. No momento não sabemos a composição mineralógica das areias do leito do rio.

As curvas de remanso não devem sofrer impactos importantes uma vez que as velocidades do fluxo são altas e o transporte das areias deve ser em suspensão dentro do total do reservatório. Assim não devem ser formados grandes depósitos de areia nas áreas do remanso nem nas áreas perto da usina. Este projeto, como todos os projetos a fio d'água, deve operar normalmente e ter uma vida longa.

Madeira flutuante e submersa pode criar dificuldades de operação sérias. Equipamentos para remover estas matérias devem ser projetados, construídos e operados especificamente para o local. A concepção e projeto especial devem assegurar o desempenho desejado.

Mudanças importantes no conceito e arranjo do projeto são possíveis e uma reavaliação permitindo o melhoramento do conceito do projeto, redução de custos e tempo de construção é recomendada.

Um modelo físico hidráulico deve ser construído e operada para otimizar:

- O arranjo do projeto com a passagem das areias pelo vertedouro;
- A limpeza das madeiras flutuantes e submersas e prevenção de grandes entulhos;
- A prevenção da formação de vórtices de ar na águas;
- O desempenho e operação de todas as estruturas hidráulicas

1. Revisão geral da hidrologia do rio e dados sobre transporte de sedimentos.

1.1. Hidrógrafas anuais da vazão do rio, curvas de permanência de vazão e dados de vazão de sedimento.

As Figuras 7, 23, 7, 24 e 7.25 mostram as hidrógrafas anuais do rio Madeira em Guajará-Mirim, Abunã menos Guajará – Mirim e Porto Velho para os anos 1982, 1984 e 1986. A vazão do rio aumenta em geral de outubro/novembro a abril/maio e diminui entre abril/maio e outubro/novembro. A Figura 7.35 mostra a curva média mensal de permanência de vazão máxima da casa de força, de 24.000 m³/s, que é superada cerca de 30% do tempo e a máxima

cheia anual, de 45.000 m³/s. A máxima vazão diária anotada foi de 48.570 m³/s no dia 14 abril de 1984.

A vazão de sedimento do rio Madeira na sua confluência no rio Amazonas é estimada em 500 milhões de toneladas por ano conforme Robert Meade do USGS (Figura 7.70).

A concentração máxima do sedimento em suspensão medida em Porto Velho por FURNAS é 3.500 ppm ou 3.500 mg/l quando a vazão do rio foi de 30.000 m³/s. Esta é provavelmente a vazão representativa na qual a taxa de subida do nível d'água é mais rápida, produzindo a maior inclinação da linha d'água e causando fluxo repentino na concentração do sedimento. A carga máxima diária do sedimento neste tempo em 16/02/2004 foi de 9.210.039 toneladas e a correspondente carga sedimentar diária em suspensão foi de 8.889.566 toneladas (ref. Tabela 7.69). Na média a carga de fundo é cerca de 6% da carga sedimentar total (ref. Tabela 7.74).

A composição média da carga em suspensão no rio Madeira em Santo Antônio é indicada na tabela seguinte (ref. Tabela 7.75):

Argila	Silte	Areia
26,5	63,7	9,8

A composição média do material no fundo do rio é indicada na tabela seguinte (ref. Tabela 7.76):

Argila	Silte	Areia
1,2	7,8	91,0

O relatório conclui que a composição sedimentar total representativa em Proto Velho deve ser a seguinte (ref. Tabela 7.77):

Material	% Argila	% Silte	% Areia
Suspensão	25,0	60,1	9,3
Carga de Fundo	0,1	0,4	5,2
Total	25,0	60,6	14,4*

* Arredondada em 15% para o propósito de análise deste relatório

O material de fundo amostrado durante a visita aos sítios confirma qualitativamente algumas das curvas de distribuição dos grãos indicados na Figura 4.17 do relatório PCE, Furnas e Odebrecht, onde a distribuição característica dos grãos de três locais diferentes está indicada nas tabelas seguintes:

TARUMÃ

% <	10	30	50	60	90	100
d (mm)	0.15 - 0.20	0.20 - 0.31	0.22 - 0.39	0.25 - 0.40	0.35 - 0.82	0.50 - 2.00
Av. d (mm)	0.17	0.25	0.30	0.32	0.58	1.25

CAMALEÃO

% <	10	30	50	60	90	100
d (mm)	0.18 - 0.22	0.25 - 0.35	0.38 - 0.46	0.38 - 0.52	0.70 - 1.20	3.00 - 5.00
Av. d (mm)	0.20	0.30	0.42	0.45	0.95	4.00

PAULINO

% <	10	30	50	60	90	100
d (mm)	0.38 – 0.42	0.52 – 0.62	0.77 -1.30	0.92 -1.50	2.20 – 2.70	4.00 – 5.00
Av. d (mm)	0.40	0.57	1.03	1.21	2.45	4.50

Grãos de sedimento mais grossa achada na ilha de Camaleão são de material mais leve (provavelmente não granito) como pode ser visto na foto nº -----. Amostras de sedimento coletadas na praia do Paulino, localizada no interior de uma volta semicircular, cerca de 2.000 m a montante do eixo do projeto, tem areia grossa e cascalhos finos bem segregados. Este material, em nossa opinião, é uma acumulação segregada de areias mais grossas e cascalhos finos e não é representativa da carga arenosa do rio Madeira. O conhecimento do processo de segregação dos grãos e a migração de areias grossas nesta área são de interesse principalmente na locação das estruturas, casa de força e vertedouro, dentro do arranjo geral do projeto.

O grosso da carga de areia é menor de 1,00 mm de diâmetro e, dependendo dos trechos dos rios, os grãos de areia de 2 a 3 mm podem ser transportados em suspensão ou em saltação durante o pico da cheia anual de vazões de 40.000 m³/s com as condições do canal do rio existentes.

Considerando que cerca de 15% da carga total em suspensão é de areia (ref. Tabela 7.77), a carga anual de areia deve ser de: 0,15 x 500.000.000 toneladas = 75.000.000 toneladas. Disso 95% ou 71.250.000 toneladas deve estar entre 0,10 a 1,00 mm e 5% ou 3.750.000 toneladas deve estar entre 1 a 3 mm (ref. Figura 7.17).

Depois da construção da barragem, as condições de transporte dos sedimentos devem ser modificados significativamente ao longo de toda a reservatório a fio d'água para vazões menores (5.000 a 10.000 m³/s). Entretanto para vazões maiores (> 10.000 m³/s) as modificações serão sobre cerca de 48% da calha. Esse relatório deverá permitir que possamos determinar como os grãos de areia até 1,00 mm e aqueles entre 1,00 e 3,00 mm vão se deslocar ao longo do rio entre Jirau e Santo Antônio com o reservatório a fio d'água na cota 70,00m e para as várias condições de vazão anuais.

1.2 Aumentos da profundidade de água ao longo do reservatório a fio d'água para várias vazões e cota de 70,00 m.

O fundo do rio entre Santo Antonio e Jirau não é um fundo aluvial uniforme de areia. Ele tem vários afloramentos de rocha na forma de ilhas, soleiras e corredeiras (nós não visitamos todo o comprimento da calha). A inclinação longitudinal da superfície da água não é contínua. Como consequência disso o aumento da profundidade de água devido à construção do projeto de Santo Antônio deve ser limitada ao trecho a jusante do reservatório a fio d'água ao longo de 48% de seu comprimento, diminuindo gradativamente com vazões maiores do que 39.000 m³/s.

A figura 1.2.1 e a figura 1.2.2 mostram as variações de profundidade para as vazões de 5.000; 10.000; 18.400; 39.100; 48.600; 61.200; 72.600; e 84.000 m³/s.

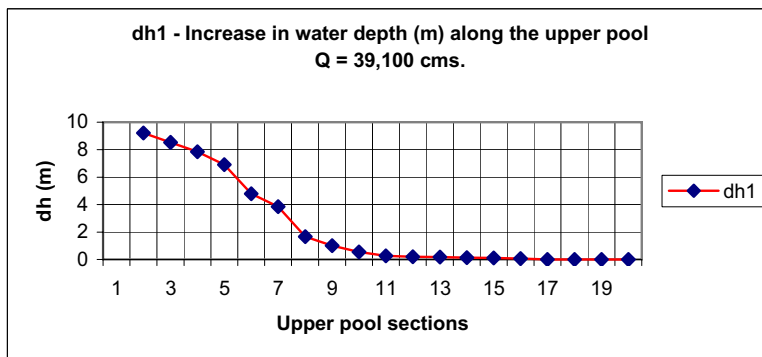
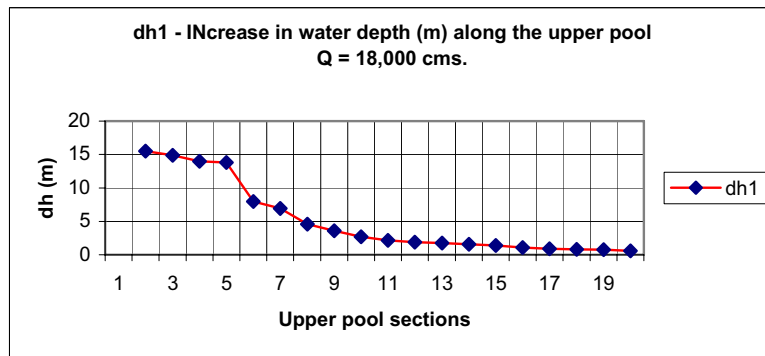
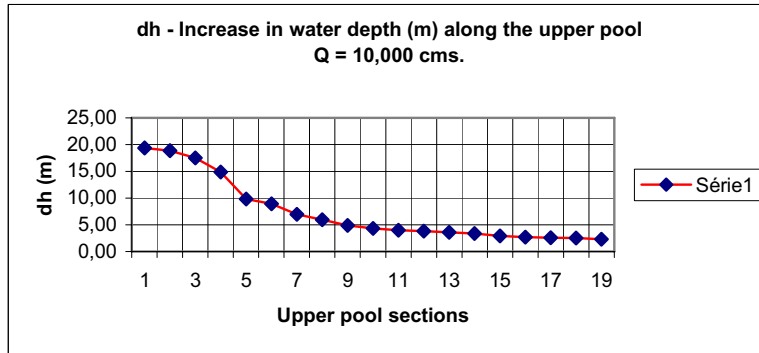
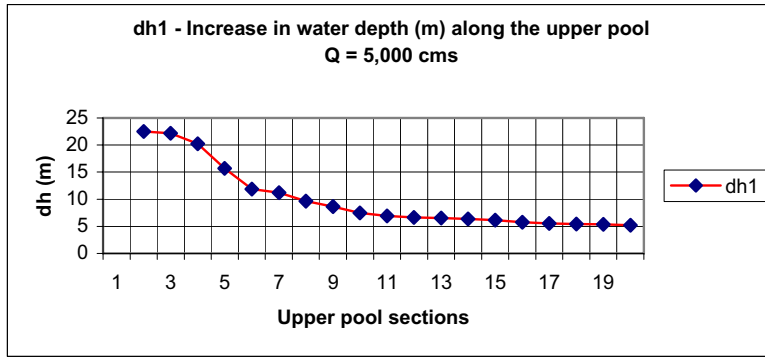


Figura – 1.2.1

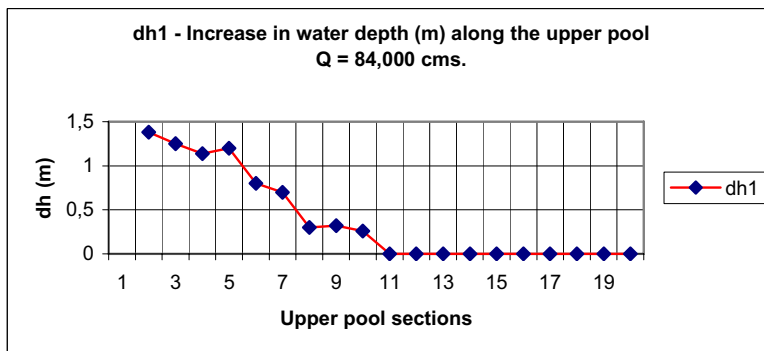
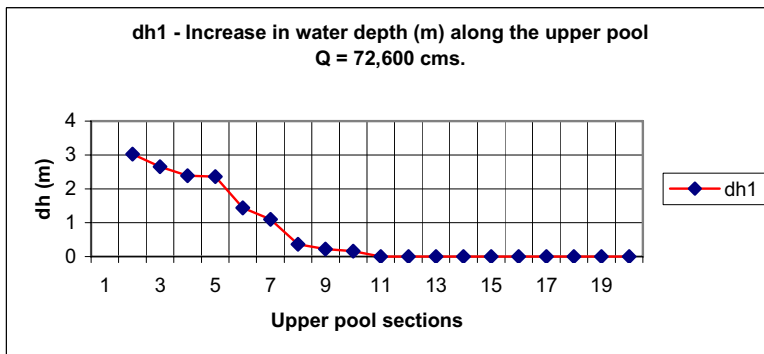
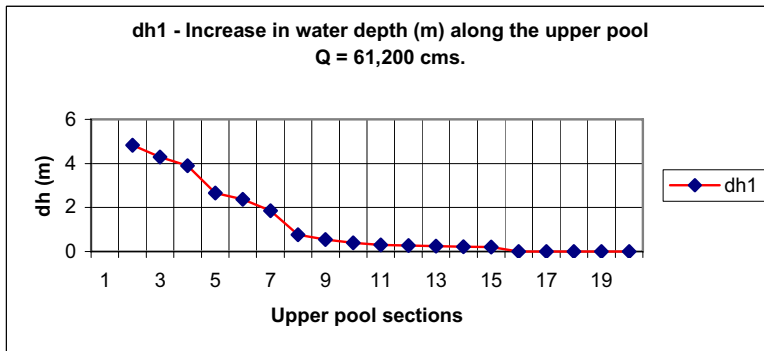
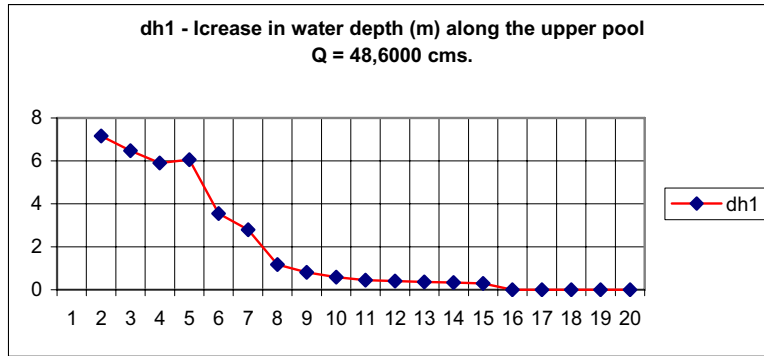


Figura – 1.2.2

Pode ser observado que o maior incremento de profundidade no sítio do projeto é de 22,49 m para uma vazão de 5.000 m³/s e o mínimo é de 1,38 m para a vazão máxima do projeto de 84.000m³/s. As tabelas mostrando os detalhes destas figuras estão no APENDICE A1.

É evidente que, com o aumento da vazão, os níveis de água a montante da seção 10 aproximam-se dos níveis de água naturais. Para as cheias anuais com vazões de 39.100 m³/s e 46.100 m³/s o incremento em profundidade é de apenas 1,66 m e 1,18 m respectivamente. Assim anualmente parte dos sedimentos que devem ser depositados no reservatório a fio d'água durante as vazões baixas deve iniciar seu movimento para jusante durante as vazões altas, em especial em vazões acima de 39.100 m³/s. A concentração média do sedimento nestes períodos pode ser muito maior do que a máxima medida (3.500 ppm) e podem ser de 10.000 a 20.000 ppm ou 10.000 a 20.000 mg/l ou 10 a 20 kg/m³ (valores esses frequentemente observado em reservatórios cheios de sedimento). O impacto de tão pesada concentração de sedimento, da qual uma fração importante, mais do que 15 % do observado atualmente será areia, pode passar pelas turbinas durante um certo período de tempo a menos que o vertedouro, que deve estar operando nestas vazões, seja capaz de atrair o grosso das concentrações do sedimento mais pesado através das aberturas das comportas. O procedimento de operação para atingir este objetivo deve ser eventualmente desenvolvido com a ajuda dos estudos em modelo hidráulico reduzido.

1.3 Velocidades médias locais de fluxo para várias vazões ao longo do reservatório a fio d'água.

A velocidade local de fluxo medida é um bom indicador da capacidade de transporte dos sedimentos naquele local. Nós então comparamos as velocidades de fluxo com a reservatório a fio d'água na cota 70.000 m com aquelas para as condições naturais e suas diferenças. As Tabelas e figuras (1 a 8) sumarizam os vários casos.

Average local flow velocities			
Q = 5,000 m ³ /s			
Sections	With Pool	Nat. Cdn.	Dimunition
	V (m/s)	V (m/s)	(m/s)
S-5	0,15	0,30	0,15
S-6	0,19	0,73	0,54
S-7	0,11	0,45	0,34
S-8	0,25	1,18	0,93
S-9	0,19	0,44	0,25
S-10	0,27	0,58	0,31
S-11	0,24	0,44	0,20
S-12	0,14	0,25	0,11
S-13	0,25	0,40	0,15
S-14	0,20	0,30	0,10
S-15	0,17	0,25	0,08
S-16	0,17	0,21	0,04
S-17	0,20	0,29	0,09
S-18	0,26	0,35	0,09
S-19	0,17	0,25	0,08
S-20	0,22	0,31	0,10
S-21	0,16	0,19	0,03
S-22	0,23	0,28	0,05
S-23	0,17	0,20	0,03

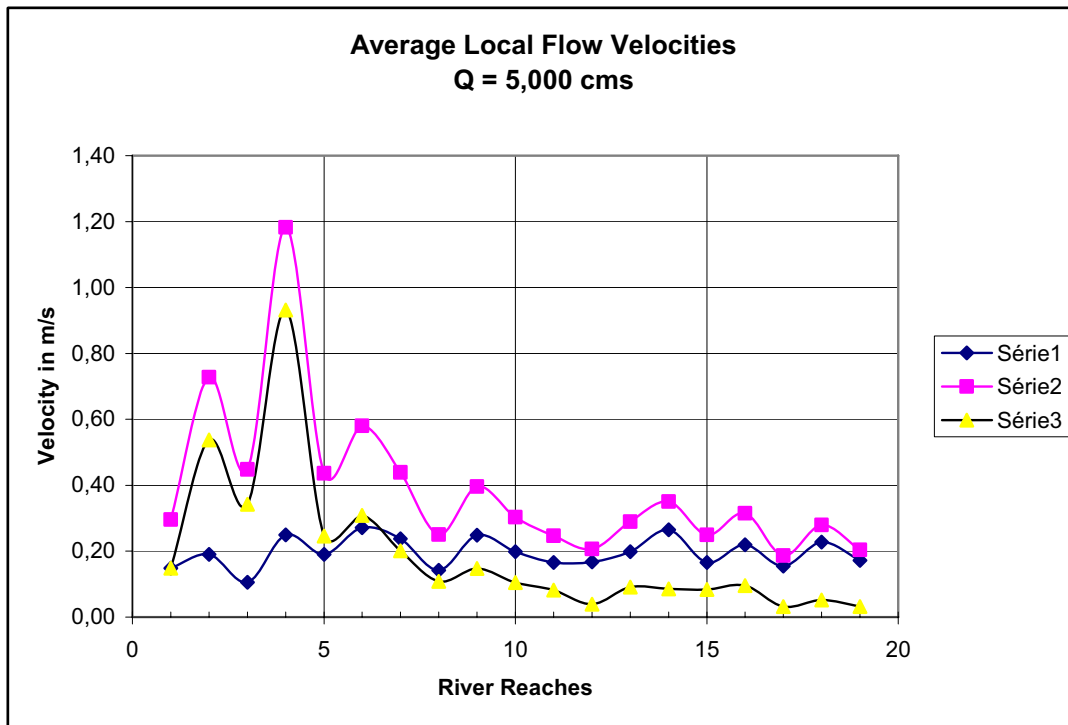


Tabela & Figura - 1

Average local flow velocities			
Q =10,000 m3/s			
Sections	With Pool	Nat. Cdn.	Dimunition
	V (m/s)	V (m/s)	(m/s)
S-5	0,30	0,52	0,22
S-6	0,38	1,02	0,64
S-7	0,21	0,60	0,39
S-8	0,50	1,94	1,44
S-9	0,38	0,71	0,33
S-10	0,54	0,94	0,40
S-11	0,47	0,70	0,23
S-12	0,28	0,40	0,12
S-13	0,49	0,65	0,16
S-14	0,39	0,50	0,10
S-15	0,32	0,40	0,08
S-16	0,33	0,37	0,04
S-17	0,39	0,47	0,08
S-18	0,52	0,60	0,08
S-19	0,32	0,38	0,06
S-20	0,42	0,49	0,07
S-21	0,30	0,33	0,03
S-22	0,45	0,49	0,04
S-23	0,34	0,36	0,02

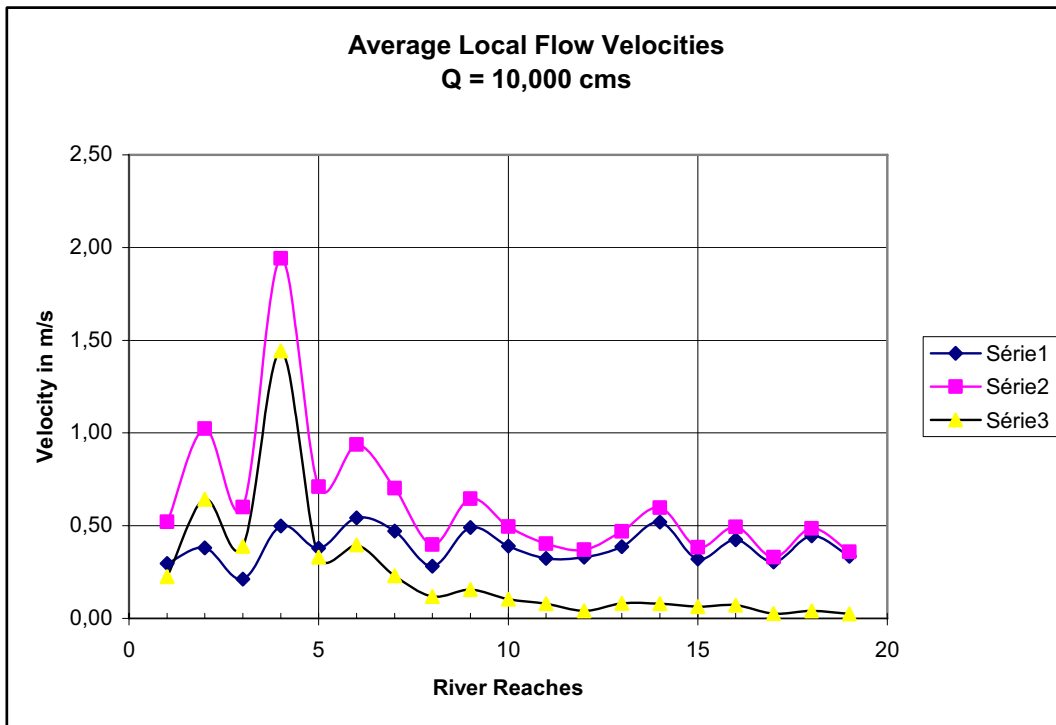


Tabela & Figura -2

Average local flow velocities			
Q =18,000 m ³ /s			
Sections	With Pool V (m/s)	Nat. Cdn. V (m/s)	Dimunition (m/s)
S-5	0,53	0,81	0,28
S-6	0,68	1,36	0,67
S-7	0,38	0,78	0,40
S-8	0,90	2,86	1,96
S-9	0,68	1,09	0,41
S-10	0,97	1,43	0,47
S-11	0,83	1,06	0,22
S-12	0,49	0,59	0,10
S-13	0,85	0,97	0,12
S-14	0,67	0,75	0,08
S-15	0,56	0,61	0,05
S-16	0,58	0,61	0,03
S-17	0,66	0,71	0,05
S-18	0,89	0,94	0,05
S-19	0,54	0,57	0,03
S-20	0,71	0,74	0,03
S-21	0,52	0,54	0,01
S-22	0,76	0,78	0,02
S-23	0,58	0,59	0,01

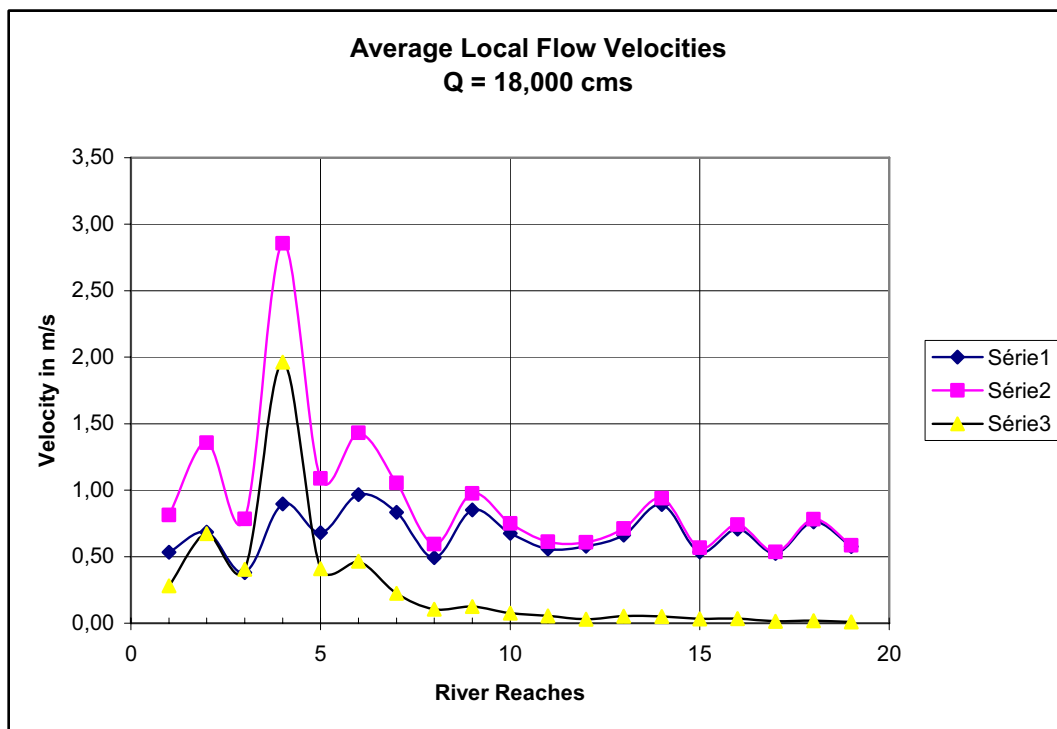


Tabela & Figura - 3

Average local flow velocities			
Q =39,100 m3/s			
Sections	With Pool	Nat. Cdn.	Dimunition
	V (m/s)	V (m/s)	(m/s)
S-5	1,16	1,46	0,30
S-6	1,48	2,06	0,58
S-7	0,82	1,15	0,33
S-8	1,91	2,90	0,99
S-9	1,43	1,82	0,40
S-10	2,01	2,44	0,42
S-11	1,66	1,79	0,13
S-12	0,96	1,00	0,04
S-13	1,63	1,67	0,04
S-14	1,29	1,30	0,01
S-15	1,05	1,06	0,01
S-16	1,15	1,15	0,01
S-17	1,23	1,24	0,01
S-18	1,70	1,71	0,01
S-19	0,96	0,96	0,00
S-20	1,27	1,27	0,00
S-21	1,01	1,01	0,00
S-22	1,45	1,45	0,00
S-23	1,10	1,10	0,00

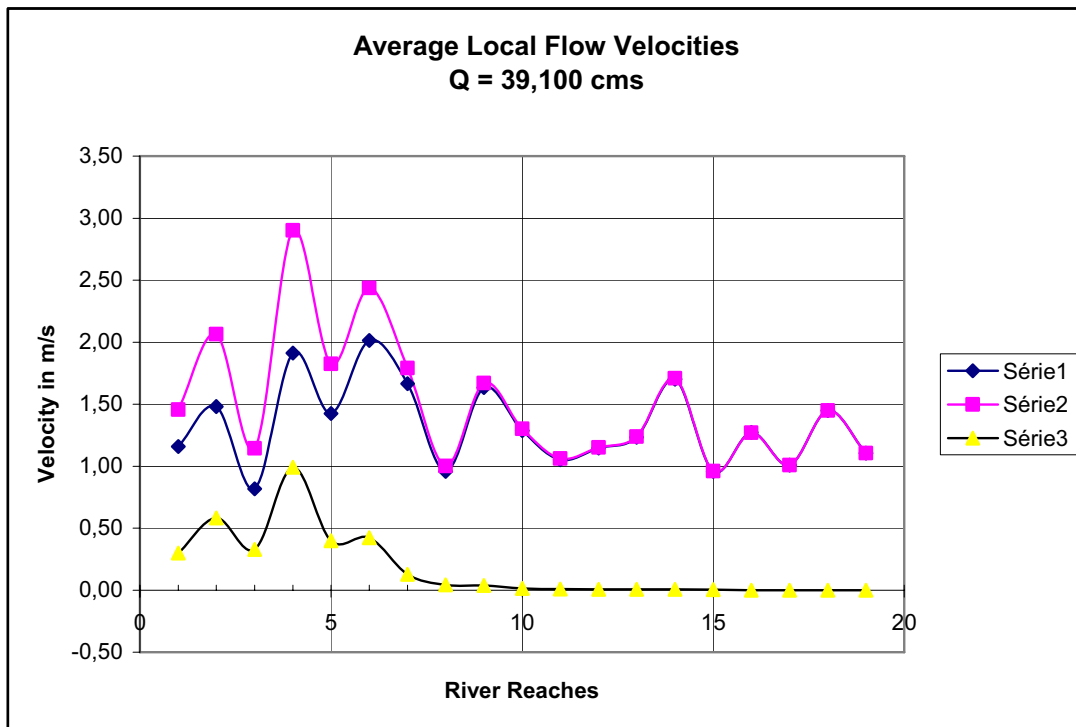


Tabela & Figura - 4

Average local flow velocities			
Q =48,600 m ³ /s			
Sections	With Pool V (m/s)	Nat. Cdn. V (m/s)	Dimunition (m/s)
S-5	1,44	1,71	0,27
S-6	1,84	2,34	0,50
S-7	1,01	1,29	0,28
S-8	2,35	3,32	0,97
S-9	1,75	2,08	0,33
S-10	2,45	2,80	0,35
S-11	1,98	2,08	0,10
S-12	1,12	1,16	0,04
S-13	1,90	1,95	0,04
S-14	1,49	1,52	0,03
S-15	1,22	1,24	0,02
S-16	1,36	1,38	0,01
S-17	1,43	1,45	0,02
S-18	2,00	2,02	0,02
S-19	1,11	1,11	0,00
S-20	1,48	1,48	0,00
S-21	1,20	1,20	0,00
S-22	1,72	1,72	0,00
S-23	1,32	1,32	0,00

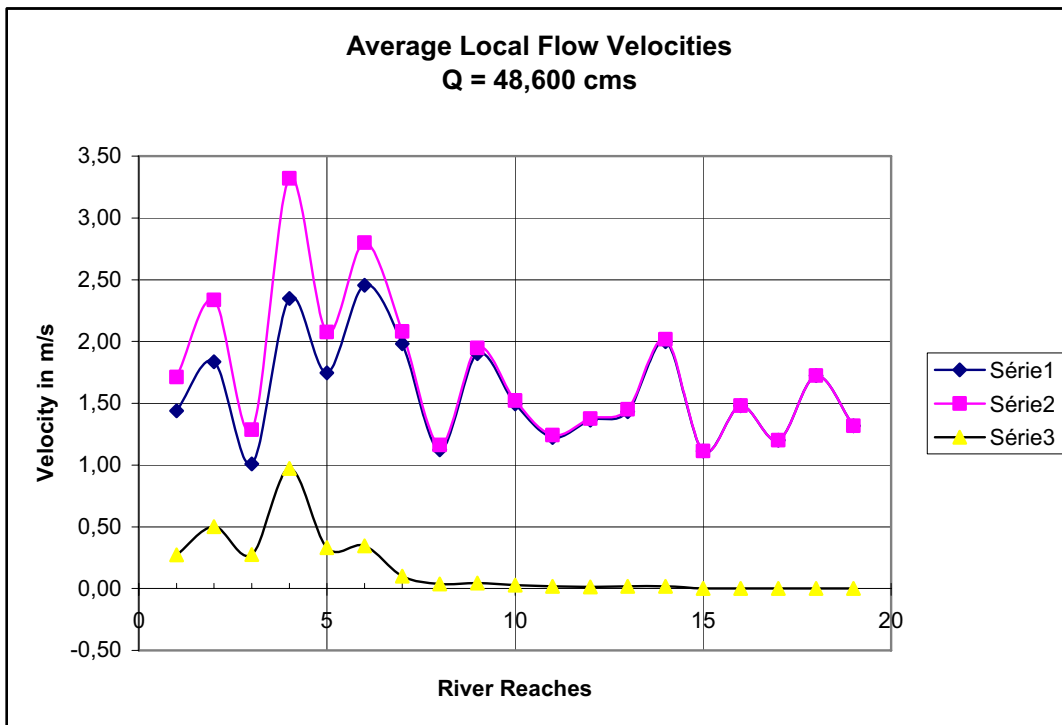


Tabela & Figura - 5

Average local flow velocities			
Q =61,200 m3/s			
Sections	With Pool	Nat. Cdn.	Dimunition
	V (m/s)	V (m/s)	(m/s)
S-5	1,81	2,03	0,22
S-6	2,30	2,68	0,38
S-7	1,26	1,46	0,21
S-8	2,84	3,24	0,40
S-9	2,14	2,39	0,25
S-10	3,00	3,26	0,26
S-11	2,39	2,46	0,07
S-12	1,34	1,37	0,03
S-13	2,27	2,30	0,03
S-14	1,79	1,81	0,02
S-15	1,46	1,47	0,01
S-16	1,66	1,67	0,01
S-17	1,71	1,72	0,01
S-18	2,40	2,42	0,01
S-19	1,32	1,32	0,00
S-20	1,75	1,75	0,00
S-21	1,45	1,45	0,00
S-22	2,08	2,08	0,00
S-23	1,59	1,59	0,00

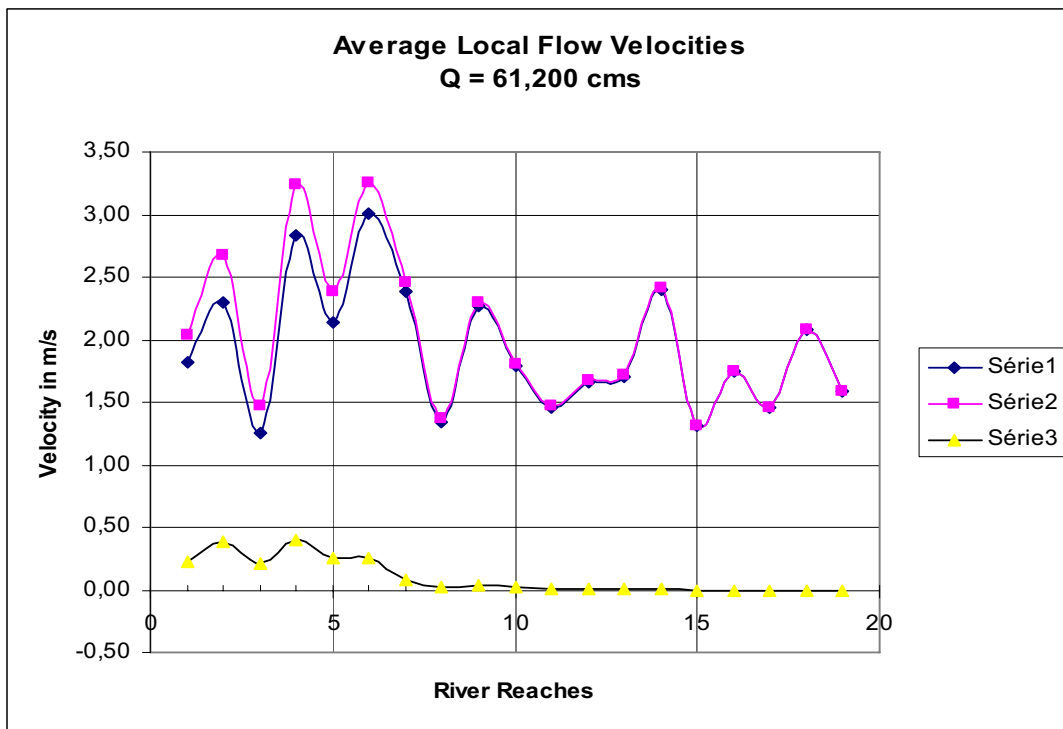


Tabela & Figura - 6

Average local flow velocities			
Q =72,600 m ³ /s			
Sections	With Pool	Nat. Cdn.	Dimunition
	V (m/s)	V (m/s)	(m/s)
S-5	2,15	2,31	0,15
S-6	2,71	2,97	0,26
S-7	1,48	1,61	0,14
S-8	3,33	3,75	0,42
S-9	2,47	2,63	0,16
S-10	3,46	3,63	0,17
S-11	2,70	2,77	0,07
S-12	1,53	1,54	0,01
S-13	2,58	2,60	0,01
S-14	2,04	2,04	0,00
S-15	1,67	1,67	0,00
S-16	1,92	1,92	0,00
S-17	1,95	1,95	0,00
S-18	2,76	2,76	0,00
S-19	1,48	1,48	0,00
S-20	1,98	1,98	0,00
S-21	1,67	1,67	0,00
S-22	2,38	2,38	0,00
S-23	1,83	1,83	0,00

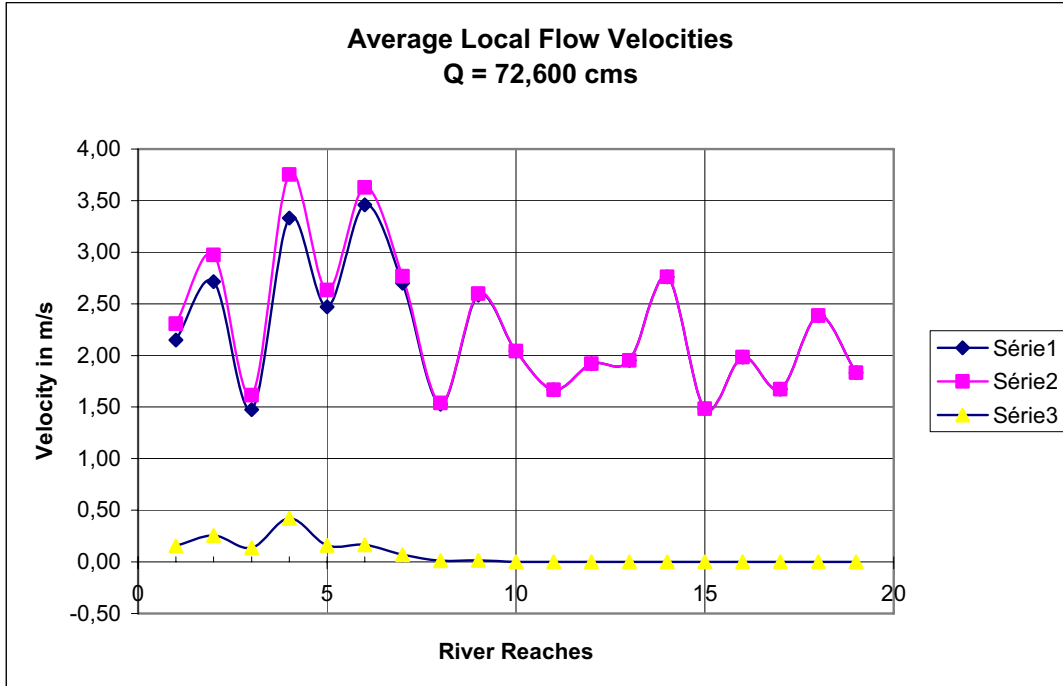


Tabela & Figura - 7

Average local flow velocities			
Q =84,000 m ³ /s			
Sections	With Pool V (m/s)	Nat. Cdn. V (m/s)	Dimunition (m/s)
S-5	2,49	2,57	0,08
S-6	3,12	3,25	0,13
S-7	1,69	1,76	0,07
S-8	3,81	4,03	0,22
S-9	2,78	2,87	0,09
S-10	3,88	3,99	0,11
S-11	3,04	3,07	0,03
S-12	1,69	1,71	0,02
S-13	2,87	2,90	0,03
S-14	2,28	2,28	0,00
S-15	1,86	1,86	0,00
S-16	2,17	2,17	0,00
S-17	2,18	2,18	0,00
S-18	3,10	3,10	0,00
S-19	1,65	1,65	0,00
S-20	2,21	2,21	0,00
S-21	1,88	1,88	0,00
S-22	2,68	2,68	0,00
S-23	2,06	2,06	0,00

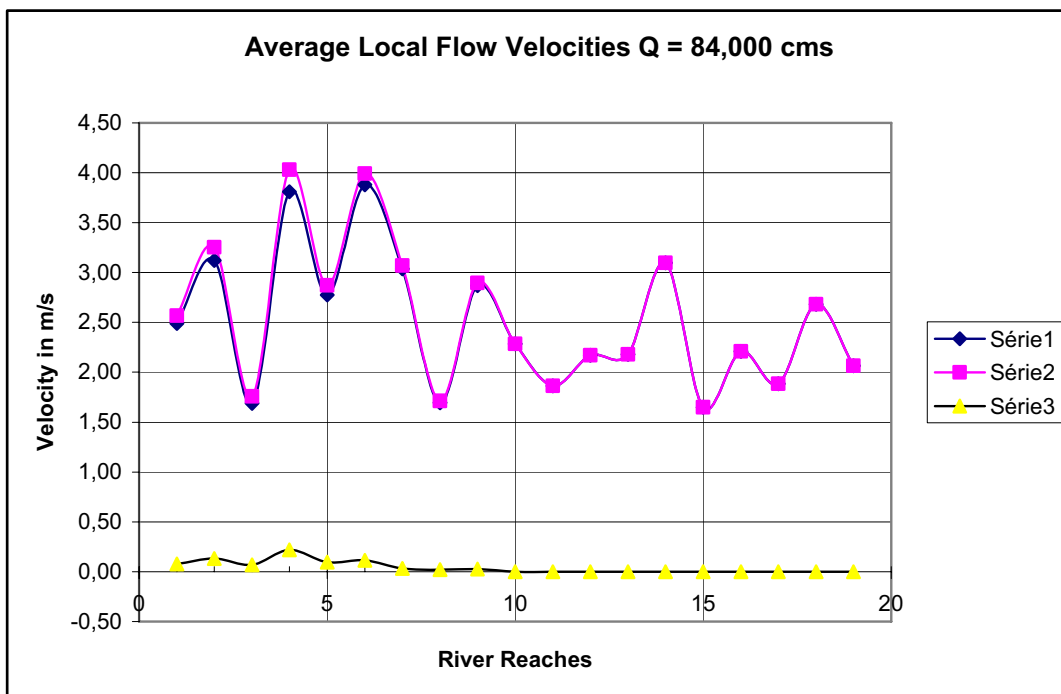


Tabela & Figura - 8

2. Análise das características de transporte de sedimento entre Jirau e Santo Antônio

A revisão de mudanças nas profundidades d'água e velocidades de fluxo no rio Madeira entre Jirau e Santo Antônio indicaram que somente cerca de 48% do comprimento da reservatório a fio d'água no trecho mais a jusante deve ser sujeito a modificações significantes na sua capacidade de transportar areia em suspensão para vazões menores que 18.000 m³/s.

O total de sedimentos transportados pelo rio Madeira é de cerca de 500 milhões de toneladas por ano (Figura 7.70), dos quais cerca de 15% são compostos de areias e cascalhos finos (ref. Tabela 7.77).

O Relatório da PCE, Furnas e Odebrecht estimou a sedimentação do reservatório a fio d'água ao longo dos anos usando o método empírico desenvolvido por Brune em 1953. Suas curvas, relacionando a eficiência de retenção e a vazão média anual entrando no reservatório (ambos em acre-pé) são mostradas na Figura 7.84. O relatório estima que no início a eficiência de retenção do reservatório a fio d'água de Santo Antônio deve ser de 19,50 % e depois de 10 anos o fundo do rio perto da barragem deve ser assoreada até a cota 59,32 m. Depois de 50 anos o nível deve ser 61,63 m e depois de 100 anos deve estabilizar na cota 61,63 m. Nós achamos que esta conclusão é muito conservadora uma vez que as velocidades de fluxo nas áreas de aproximação da casa de força e vertedouro durante a cheia anual de 40.000 m³/s, por um período de um mês e meio ou dois meses, devem ser altas suficientemente para remover as areias acumuladas durante os períodos de baixa vazão. Estes aspectos estão avaliados na parte 3 deste relatório. Também durante a verificação final do arranjo do projeto e dimensionamento das estruturas será possível avaliar os assoreamentos no fundo do reservatório a fio d'água imediatamente a montante das tomadas d'água e vertedouro. Se necessário, mudanças no arranjo das estruturas para produzir o mínimo de deposição de sedimento nesta área podem ser desenvolvidas no modelo hidráulico reduzido.

Em grandes reservatórios pode ser assumido que a eficiência de retenção de sedimentos seria 100%, que significa que todos os sedimentos entrando no reservatório ficam retidos.

Em reservatórios pequenos, às vezes a maior parte dos sedimentos pode ser transportada ao longo do mesmo. Isto pode também acontecer durante períodos de altas vazões quando a água do reservatório está sendo descarregada pelo vertedouro e existe alta velocidade de fluxo no reservatório. A proporção de sedimento passando pelo reservatório depende basicamente de dois fatores: a velocidade média do fluxo pelo reservatório e as características do sedimento. Com respeito a este último, sedimentos finos (os tamanhos de silte e argila) podem ficar em suspensão por tempo suficiente para passar pelo reservatório. Os tamanhos de areia não devem passar pelo reservatório.

Verificações preliminares (ref. Tabelas e Figuras 1 a 8) indicam que, para o projeto Santo Antônio, em quase todo o tempo as velocidades de fluxo do rio e a turbulência do reservatório a

fio d'água devem ser suficientemente altas para manter as frações de silte e argila dos sedimentos em suspensão. Assim, não haverá deposição a não ser em áreas com águas totalmente paradas.

Durante nossa visita ao sítio, vimos (fotos 1, 2 e 3) que todo tipo de vegetação, lianas, matos e pequenos arbustos estavam crescendo nos bancos de areia, como na ilha de Tarumã. Nós não temos idéia sobre quanto tempo passou para estas plantas atingirem alturas de 2 a 3 m. Com o reservatório a fio d'água é possível que, em certas áreas (mais nas áreas de água rasa e ao longo das margens do rio), a deposição das areias intermitentes possa facilitar o crescimento destes tipos de vegetação. O impacto, ao longo do tempo, desta vegetação, deve causar alguma redução na seção de escoamento e aumento do coeficiente de rugosidade ao longo da margem. Em longos períodos este fenômeno pode ser compensado pela erosão das margens. Durante nossa visita ao sítio vimos escorregamentos em ambas as margens (Foto 8), além de erosão nas ilhas de areia (Foto 10).

Como a morfologia do reservatório a fio d'água de Santo Antônio é quase toda contida dentro do leito do rio original (1), ele não é um reservatório grande e as velocidades de fluxo após o fechamento são relativamente altas durante todas as condições de vazão.

- (1) Para estudar com mais precisão as velocidades de fluxo e características do transporte dos sedimentos nas áreas submersas do reservatório a fio d'água, seria necessário levantar as reais seções de fluxo no reservatório a fio d'água antes do enchimento.

Como Santo Antonio é um projeto de baixa queda, a perda do volume do armazenagem não é um parâmetro significativo, particularmente devido à presença de afloramentos de rocha, a deposição de areia deve aumentar em certas áreas onde hoje vemos bancos de areia e ilhas. Assim nos parece que no lugar de tentar determinar a eficiência de retenção de sedimentos usando a relação desenvolvida por Brune, seria mais representativo analisar as características de transporte de sedimentos ao longo do reservatório a fio d'água.

Para estudar as importantes mudanças nos parâmetros hidráulicos nas características de transporte de areia ao longo do comprimento do rio, 18 trechos (RR) foram considerados entre seções 5 a 23 (ref: Figura 7.51) conforme o seguinte:

RR 1 – Seções 6 a 5. RR 2 – Seções 7 a 6. RR 3 – Seções 8 a 7. RR 4 – Seções 9 a 8.
RR 5 – Seções 10 a 9. RR 6 – Seções 11 a 10. RR 7 – Seções 12 a 11. RR 8 – Seções 13 a 12. RR 9 – Seções 14 a 13. RR 10 – Seções 15 a 14. RR 11 – Seções 16 a 15. RR 12 – Seções 17 a 16. RR 13 – Seções 18 a 17. RR 14 – Seções 19 a 18. RR 15 – Seções 20 a 19.
RR 16 – Seções 21 a 20. RR 17 – Seções 22 a 21. RR 18 – Seções 23 a 22.

O gráfico da distribuição da carga de sedimento suspenso desenvolvido por Hunter Rouse (ref: Sedimentation Engineering-ASCE -Manuals and reports on engineering practice) foi usado para estudar o transporte de areia ao longo do reservatório a fio d'água.

Conhecendo a velocidade de cisalhamento local u^* que é função de $(gdi)^{0,5}$

Onde: g = aceleração de gravidade

d = profundidade do fluxo

i = inclinação da superfície d'água ou gradiente de energia do fluxo do rio.

E a velocidade de queda w de um determinado tamanho do grão de areia, é possível determinar a razão w/u^* que define a distribuição vertical do grão de areia em movimento no fluxo turbulento.

Os seguintes procedimentos foram usados para determinar a profundidade de fluxo e a inclinação da superfície d'água: Para um determinado trecho, a profundidade de fluxo d foi aquela localizada no extremo de montante e a inclinação da superfície d'água foi obtida dividindo a diferença das profundidades d'água nos extremos de montante e de jusante pelo comprimento do trecho (2).

- (2) Parece que os níveis d'água indicados para seção 8 para as condições naturais e com o reservatório a fio d'água estão influenciados pelas velocidades de fluxo sobre o salto de Teotônio (ref: Tabela 7.54 e Tabela 7.60) assim criando uma subestimação das inclinações da superfície d'água (algumas vezes negativas) entre seções 8 e 7, que impacta a capacidade de transporte de areia localmente como freqüentemente é aparente nos valores de w/u^* .

A figura 2.1 mostra a distribuição relativa da carga em suspensão como desenvolvida por Rouse. Para $w/u^*=0,06$ a distribuição é quase vertical sobre toda a profundidade de fluxo. Para $w/u^*=2$ o grão está ainda em suspensão, mas somente sobre 30% da profundidade de fluxo. Para $w/u^*=4$ nós assumimos que o grão é quase inerte.

Os cálculos apresentados neste relatório são aproximados porque os dados das larguras efetivas do rio e do reservatório a fio d'água, profundidades hidráulicas e inclinações das superfícies d'água, derivadas de informações do relatório e usadas nos cálculos para as condições existentes e com o reservatório a fio d'água, são aproximados (ref: tabelas 7.54, 7.60 e Figuras 7.55). Entretanto, os resultados podem ainda ser considerados válidos para a presente revisão. **Eventualmente estes cálculos podem ser revistos com dados mais precisos sobre larguras do canal, profundidades de fluxo, seções de fluxo a cada seção de referência e inclinações de superfície d'água entre seções.**

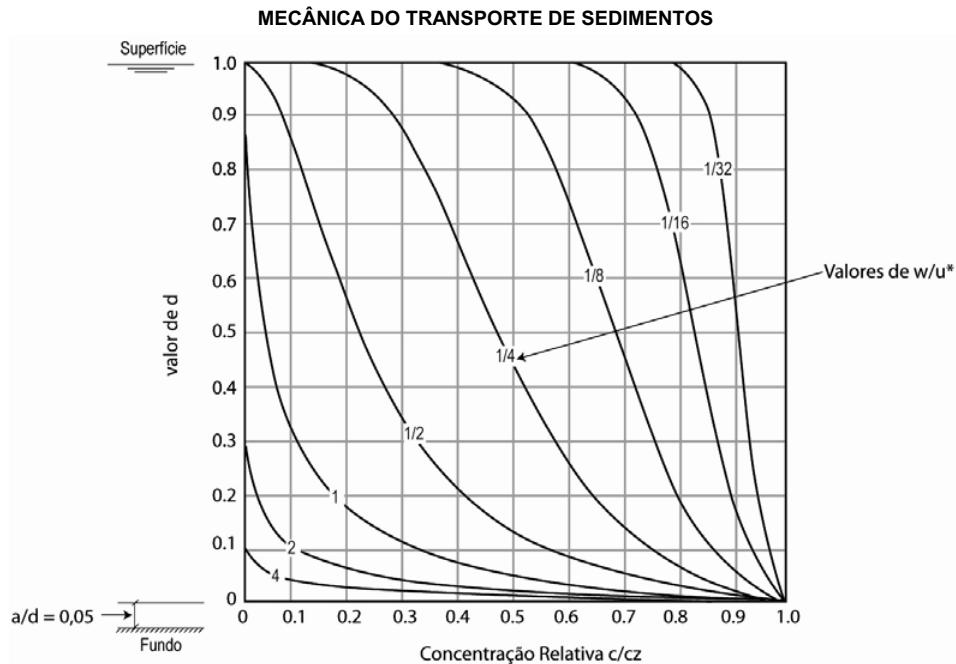


Figura 21- Gráfico de Rouse com Equação da Distribuição da Carga Suspensa sedimentar para a/d 0,05 e vários valores de z .

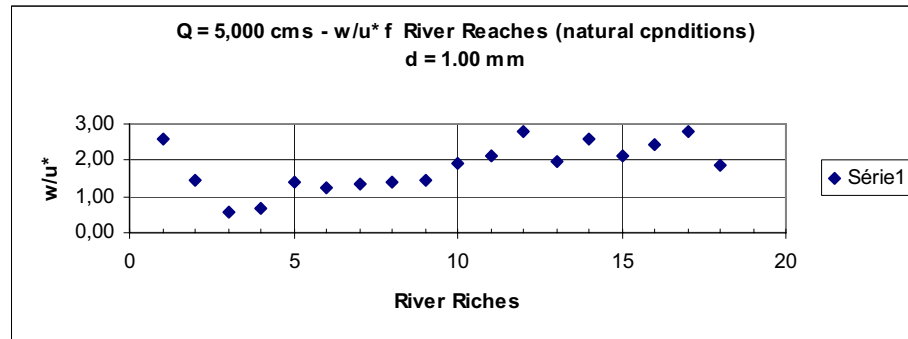
2.1 Características de transporte de sedimentos com condições naturais para as seguintes vazões do rio: 5.000; 10.000; 18.000; 39.000; 40.000; 61.200; 72.600 e 84.000 m^3/s .

As tabelas mostram os valores de w/u^* para cada trecho do rio e para vários tamanhos de grãos de areia e vazões com as condições naturais do rio como mostrados em Apêndices I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII.

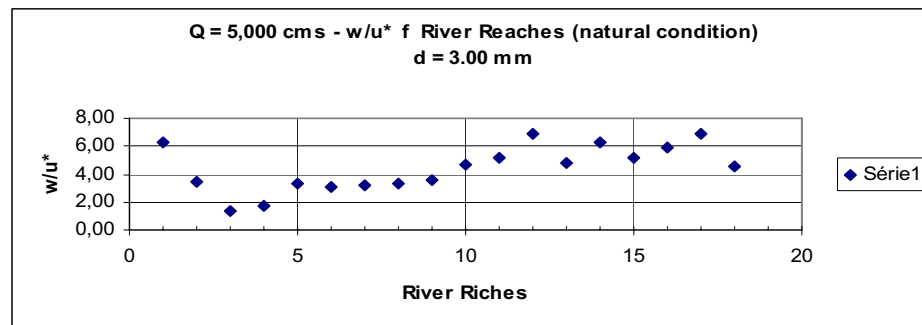
Análises das características de transporte para dois tamanhos de grãos críticos 1,00 mm e 3,00 mm e para cada vazão de referência são dados abaixo. As tabelas anexadas dão as características de transporte de areia para outros tamanhos de grão.

I – Q = 5.000 m³/s

Grãos de 1,00 mm são transportados principalmente em suspensão a jusante de RR 10 e em saltitação entre RR 11 e RR 18.

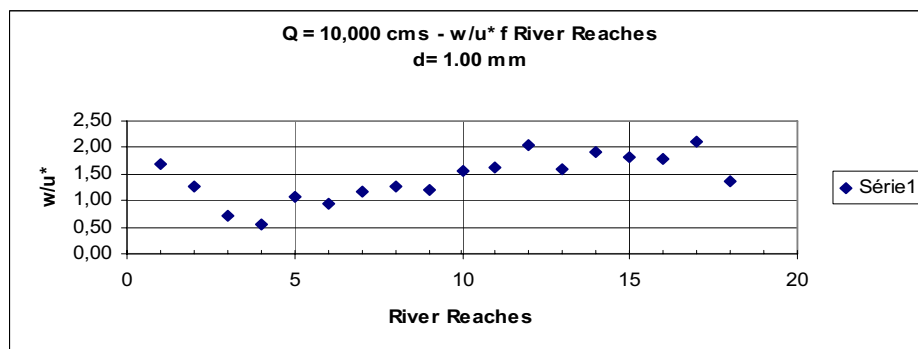


Grãos de 3,00 mm de diâmetro são transportados em saltitação a jusante de RR 10 (com a exceção de RR 1). Para os trechos a montante de RR 10, todos os grãos de 3,00mm de diâmetro estão completamente inertes.

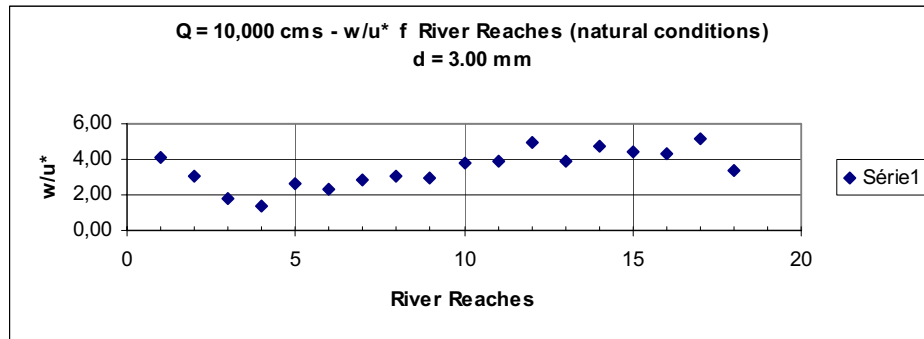


II – Q = 10.000 m³/s

Grãos de 1,00 mm são transportados em suspensão sobre todo o comprimento rio entre RR 1 e 18.

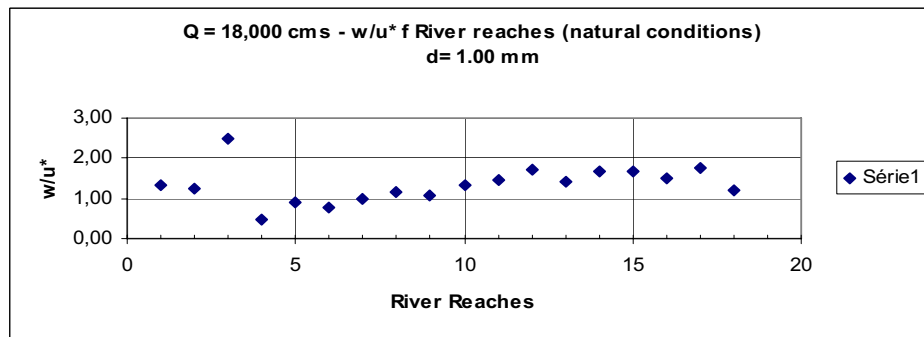


Grãos de 3,00 mm entre RR 1 and 10 estão se movimentando em saltitação e suspensão, e acima de RR 10 estão inertes. Na última secção RR 18 há algum movimento em saltitação.



III – Q = 18.000m³/s

Grãos de 1,0 mm são transportados em suspensão ao longo de todo o comprimento do rio entre RR 1 and RR 18.



Grãos de 3,00 mm estão movendo-se em suspensão e saltitação ao longo de todo o comprimento de rio entre as secções RR 1 to RR 18, com exceção em RR 3 onde eles estão inertes.

Entretanto, nós achamos que a régua 8 localizada imediatamente a jusante do Salto Teotônio (foto [__](#)) é afetada fortemente pelo rebaixamento devido à queda da velocidade local, pelo menos na ordem de 1,0 m e é causada por esta anomalia. Este fato é evidente pelas leituras de régua que são constantemente baixas ou, às vezes, inferiores às leituras da próxima régua 7 a jusante (ref: Tabela 7.54). Se nós acrescentarmos 1,0 m ao nível d'água, o valor de w/u* seria 2,18 no lugar de 6,03. Assim, os valores de w/u* em todas as tabelas para RR 3 podem ser menores, em especial para vazões baixas.

Figura correspondente ao nível d'água da Tabela 7.54

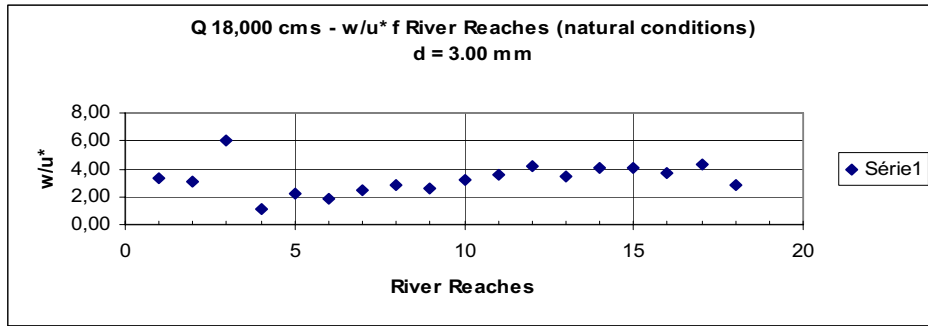
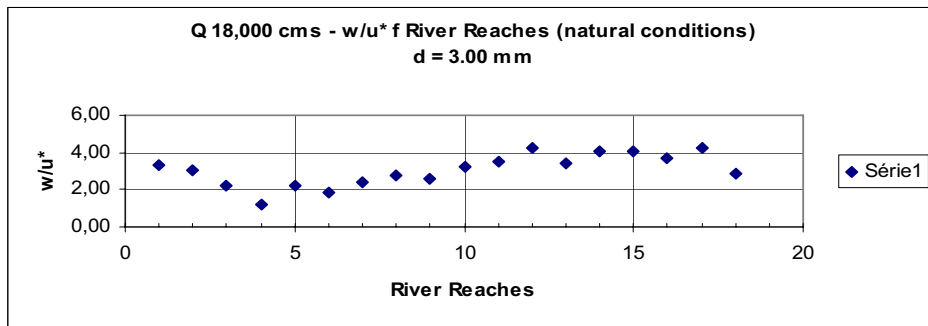
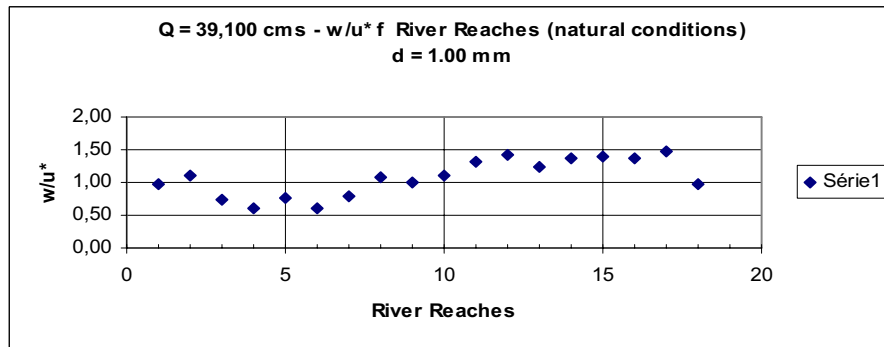


Figura correspondente ao nível d'água da Tabela 7.54 + 1,0m

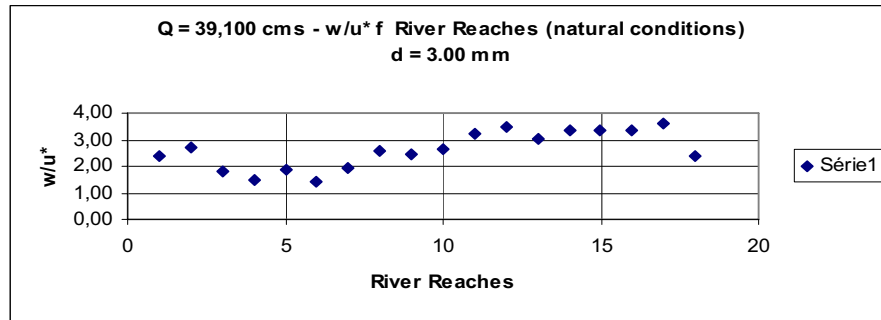


IV – Q = 39.100m³/s

Grãos de 1,00 mm são transportados em suspensão ao longo de todo o comprimento do rio entre RR 1 e RR 18.

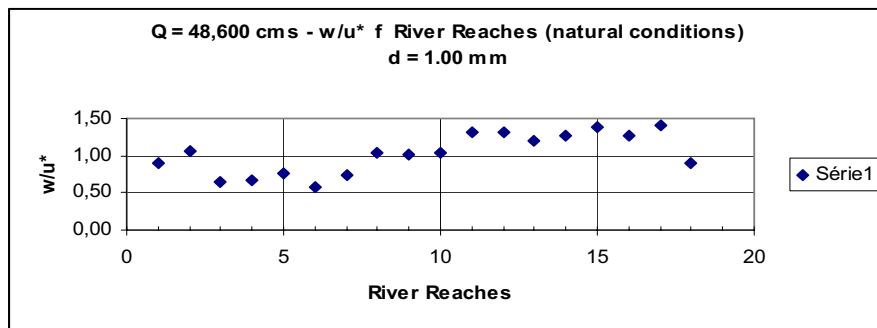


Grãos de 3,00 mm são transportados em saltitação em todos os trechos do rio com exceção entre RR 3 e RR 7 onde eles estão se movendo em suspensão.

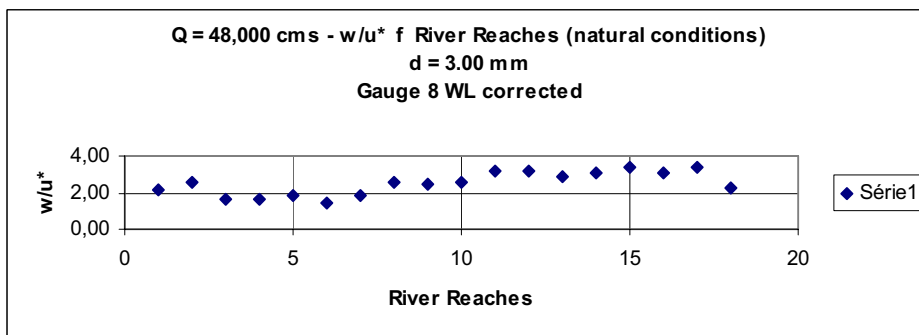


V – Q = 48.600m³/s

Grãos de 1.00mm são transportados em suspensão ao longo de todo o comprimento do rio entre RR 1 e RR 18.

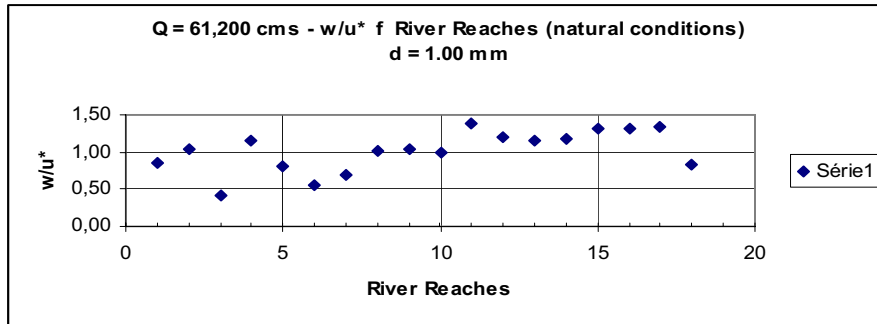


Grãos de 3,00 mm são transportados em suspensão até RR 7 e em saltitação até RR 18.

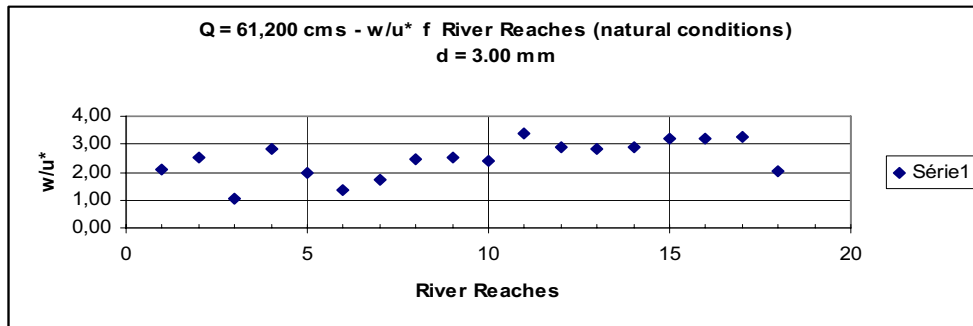


VI – Q = 61.200m³/s

Grãos de 1,00mm são transportados em suspensão ao longo de todo o comprimento do rio entre RR 1 e RR 18.

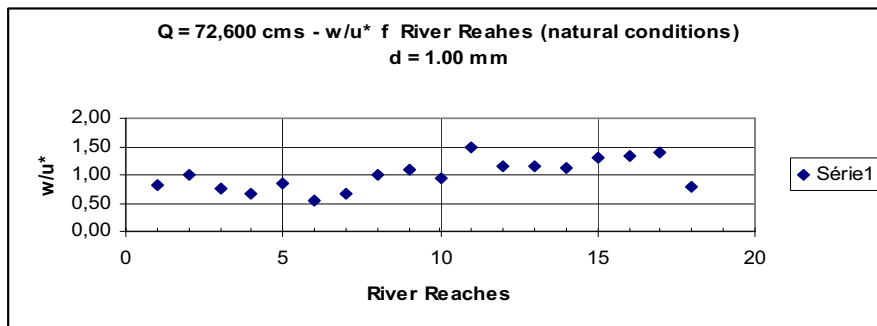


Grãos de 3,00 mm são transportados em saltitação em todos os trechos do rio exceto entre RR 3 e RR 7 e em RR 18 onde eles estão se movendo em suspensão.

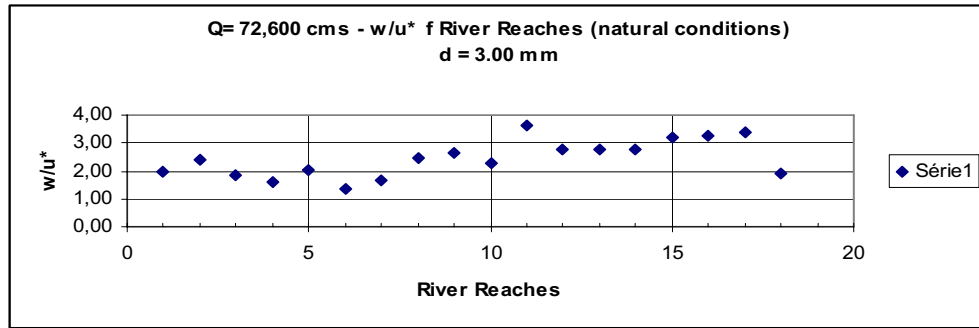


VII – Q = 72.600m³/s

Grãos de 1,00mm são transportados em suspensão ao longo de todo o comprimento do rio entre RR 1 e RR 18.

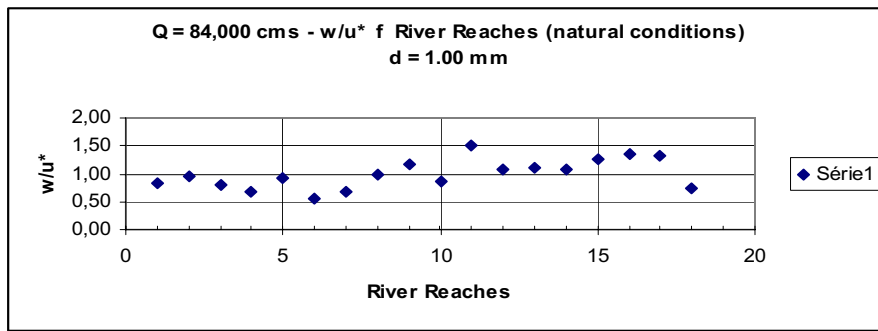


Grãos de 3,00 mm são transportados em saltitação em todos os trechos do rio exceto entre RR 1 e RR 7 e em RR 18 onde eles estão se movendo em suspensão.

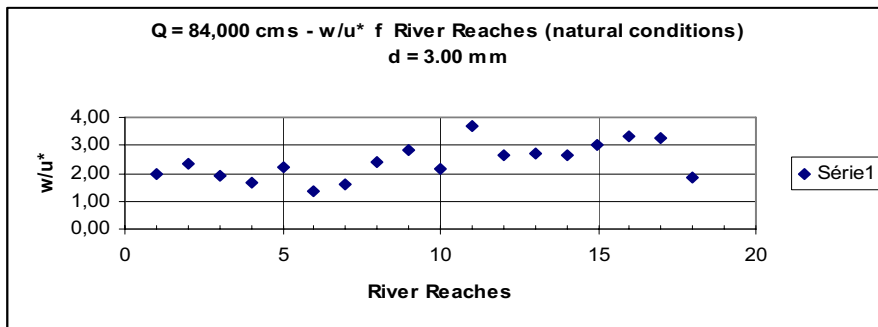


VIII – Q = 84.000m³/s

Grãos de 1,00 mm são transportados em suspensão ao longo de todo o comprimento do rio entre RR 1 e RR 18.



Grãos de 3,00 mm são transportados em saltitação em todos os trechos do rio exceto entre RR 3 e RR 7 e em RR 18 onde eles estão se movendo em suspensão.



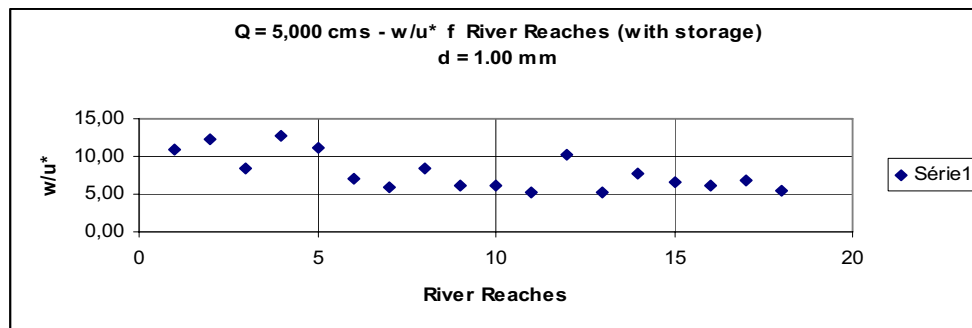
2.2 Características de transporte de sedimentos com o reservatório a fio d’água de AHE Santo Antônio para as seguintes vazões do rio: 5.000; 10.000; 18.000; 39.100; 48.600; 61.200; 72.600 e 84.000 m³/s.

Como explicado anteriormente, com o reservatório a fio d'água, o efeito do remanso vai até Jirau com vazões do rio de 5.000 e 10.000 m³/s. Com maiores vazões do rio, o reservatório a fio d'água deve recuar por apenas 60 km do total de 125 km ou cerca de 48% do comprimento do reservatório a fio d'água. O incremento na profundidade e velocidade de fluxos reduzidos neste trecho do reservatório a fio d'água deve afetar a capacidade de transporte de sedimentos. Em certas áreas, as ilhas existentes e os canais do rio devem sofrer assoreamento para vazões até 18.000 m³/s. Para vazões de 39.100 m³/s ou mais, o transporte de areia deve ser generalizado e todos os tamanhos dos grãos deve iniciar e uma parte de depósitos anteriores deve ser erodida. As Tabelas mostrando os valores de w/u^* para cada trecho do rio e vários tamanhos dos grãos e vazões com o reservatório a fio d'água estão mostradas nos Apêndices IA, IIA, IIIA, IVA, VA, VIA, VII, VIIIA.

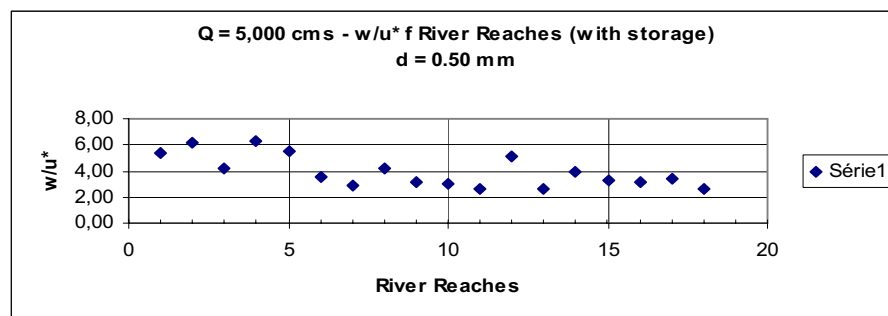
Análises das características de transporte para tamanhos de grãos críticos para cada vazão de referência estão indicadas abaixo.

IA – Q = 5.000m³/s

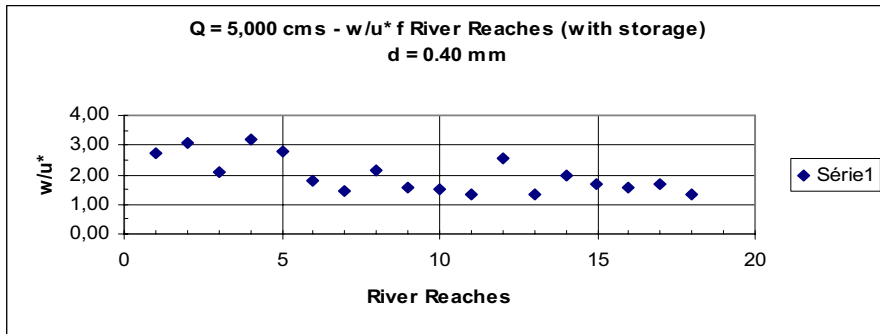
Grãos de 1,00 mm estão completamente inertes ao longo de todo o comprimento do reservatório a fio d'água entre RR1 to RR 18.



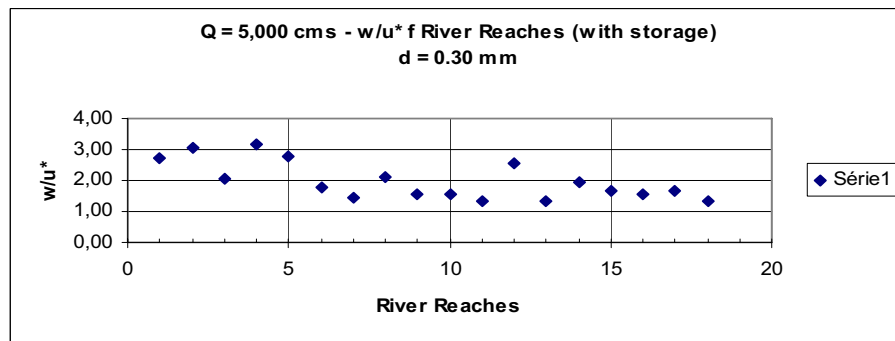
Grãos de 0.50 mm estão completamente inertes entre RR 1 e RR 5 e se movendo principalmente em saltitação a montante de RR 6.



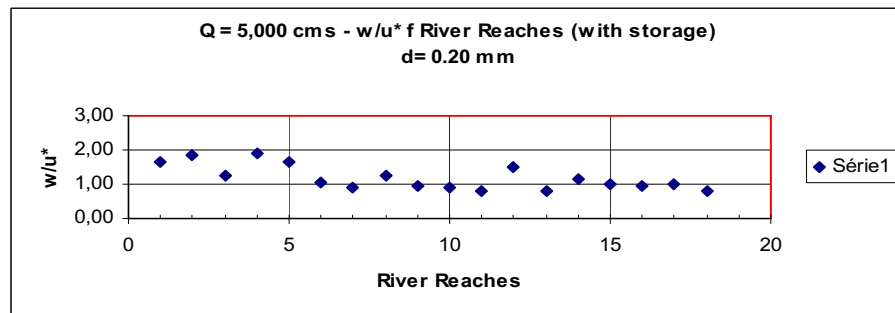
Grãos de 0,40 mm estão se movendo in saltitação entre RR 1 e RR 5 e mais a montante eles estão sendo transportados em suspensão.



Grãos de 0,30 mm estão se movendo em saltitação até RR 5, mais a montante eles estão se movendo em suspensão ao longo do comprimento restante do reservatório a fio d'água.

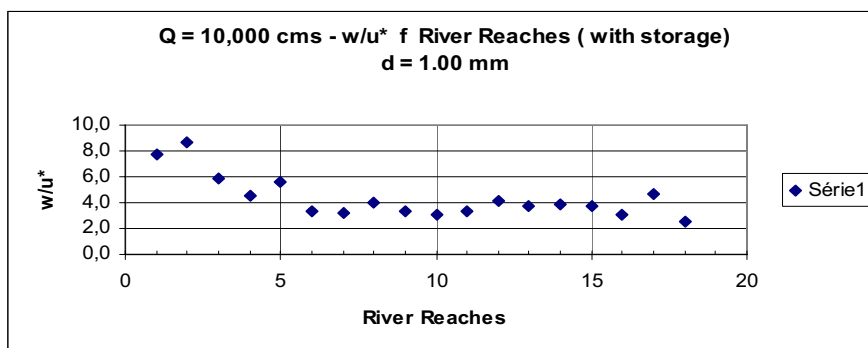


Grãos de 0,20 mm estão se movendo em suspensão ao longo de todo o comprimento do reservatório a fio d'água.

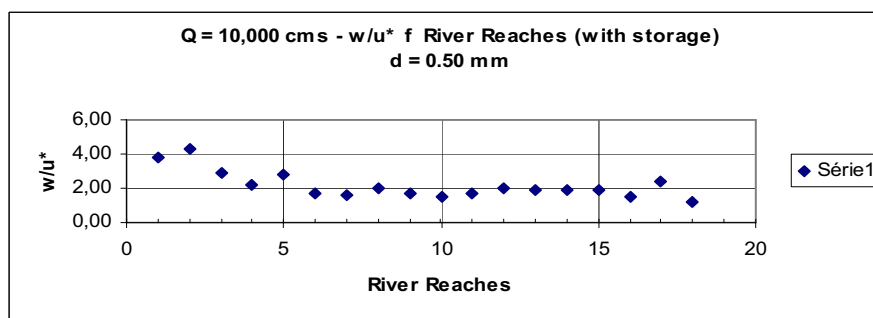


IIA - $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$

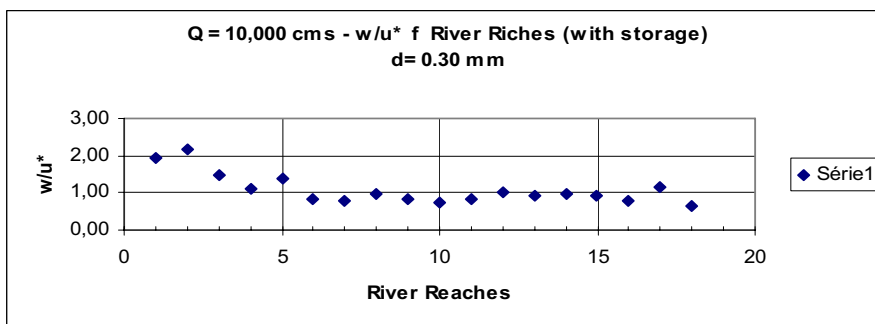
Grãos de 1,00 mm estão completamente inertes entre RR 1 e RR 5, mais a montante eles estão se movendo em saltitação.



Grãos de 0,50 mm estão se movendo em saltitação até a secção 10, mais a montante eles estão sendo transportados em suspensão.

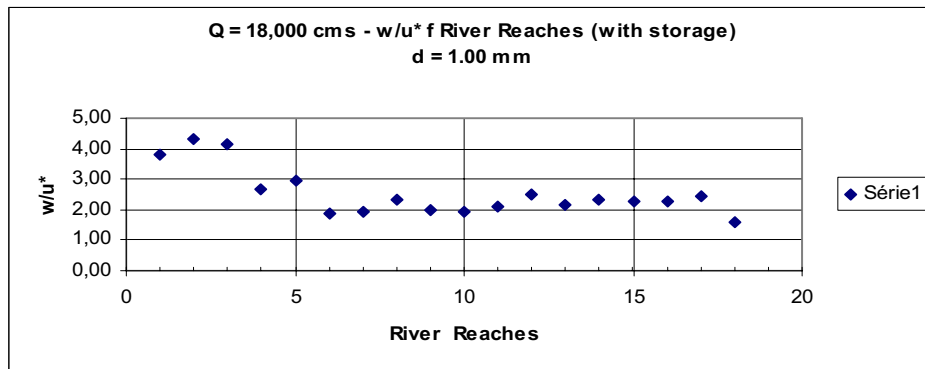


Grãos de 0,03 mm são transportados em suspensão ao longo de todo o comprimento do reservatório a fio d'água.

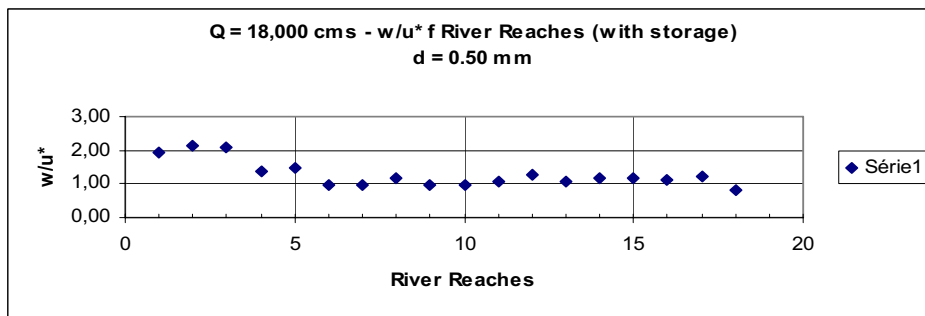


IIIA - $Q = 18.000 \text{ m}^3/\text{s}$

Grãos de 1,00 mm estão se movendo em saltitação entre as secções 6 e 10, mais a montante eles estão sendo transportados em suspensão.

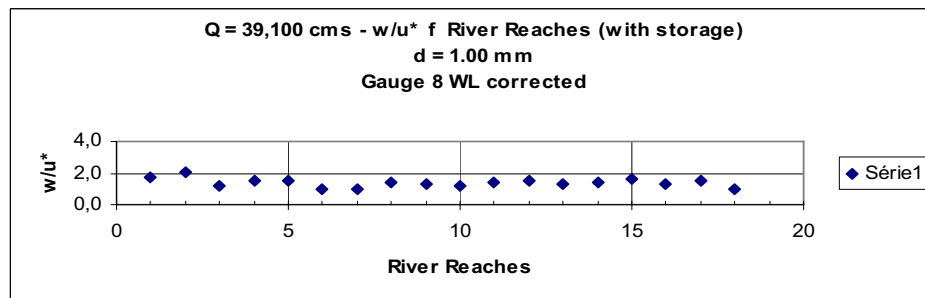


Grãos de 0,50 mm são transportados em suspensão ao longo de todo o comprimento do reservatório a fio d'água.

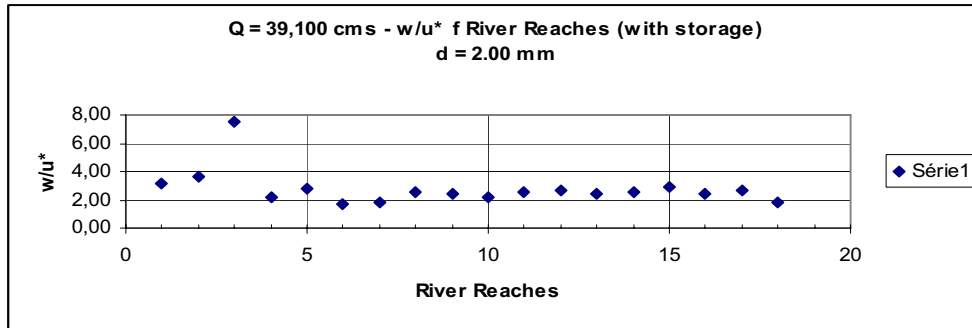


IVA - $Q = 39.100 \text{ m}^3/\text{s}$

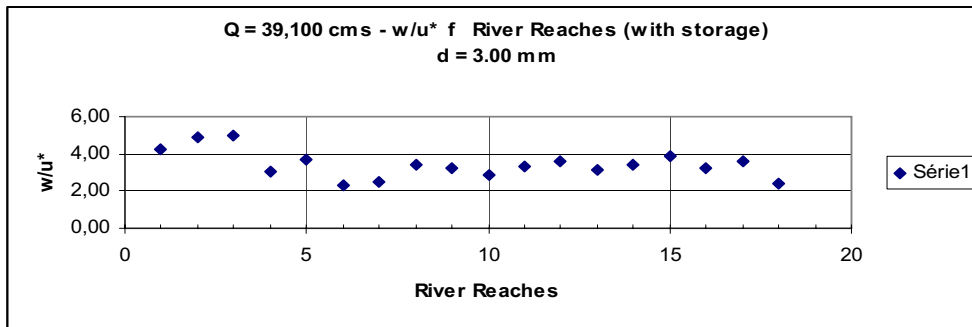
Grãos de 1,00 mm são transportados em suspensão ao longo de todo o reservatório a fio d'água.



Grãos de 2,00 mm estão se movendo quase em suspensão ao longo de todo o reservatório a fio d'água.

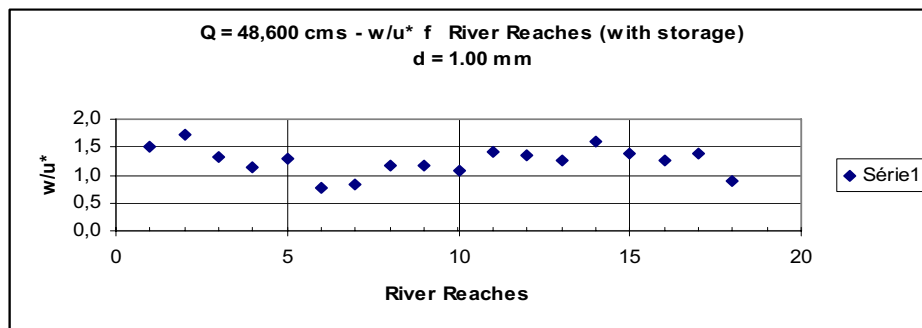


Grãos de 3,00 estão inertes até RR 3, mais a montante eles estão se movendo em saltitação.

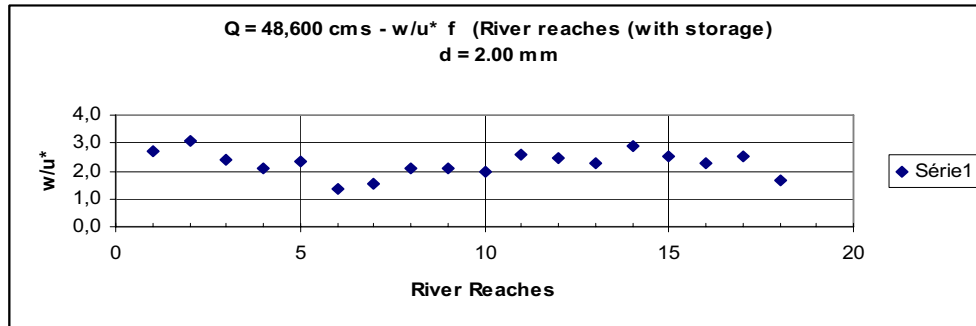


VA - Q = 48.600 m³/s

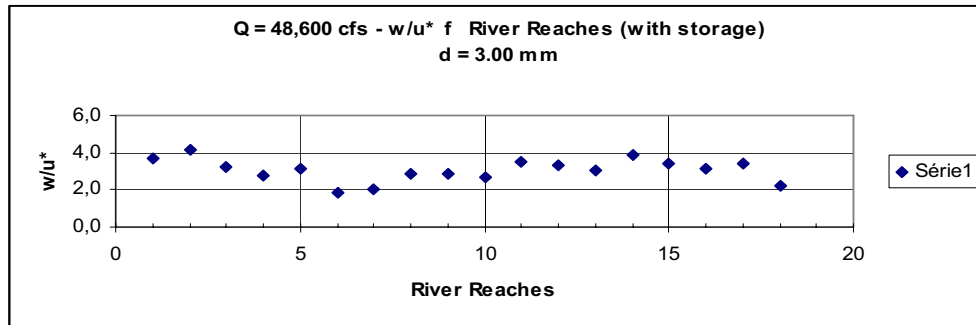
Grãos de 1,00 mm são transportados em suspensão ao longo de todo o reservatório a fio d'água.



Grãos de 2,00 mm estão se movendo principalmente em saltitação entre RR 1e RR 5 e em suspensão entre RR 6 e RR 10, seguindo em saltitação entre RR 11 e RR 17 e em suspensão em RR 18. Estes fatos são indicativos da natureza muito complexa e intermitente do movimento da areia.

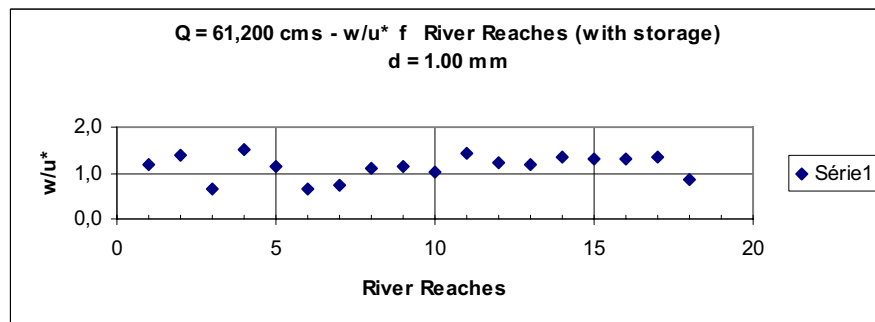


Grãos de 3,00 mm estão se movendo de forma geral em saltitação ao longo de todo o reservatório a fio d'água.

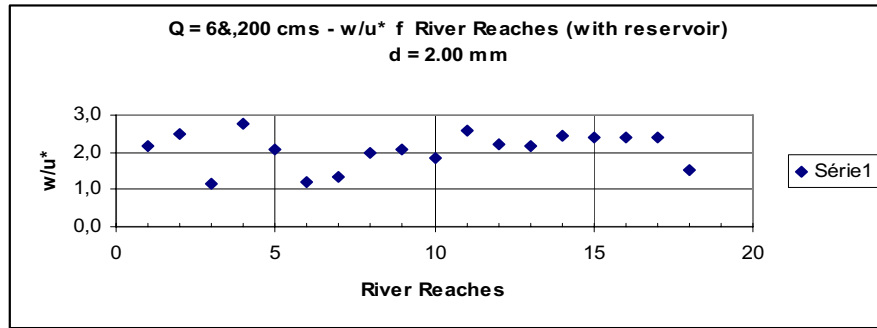


VIA – Q = 61.200 m/s

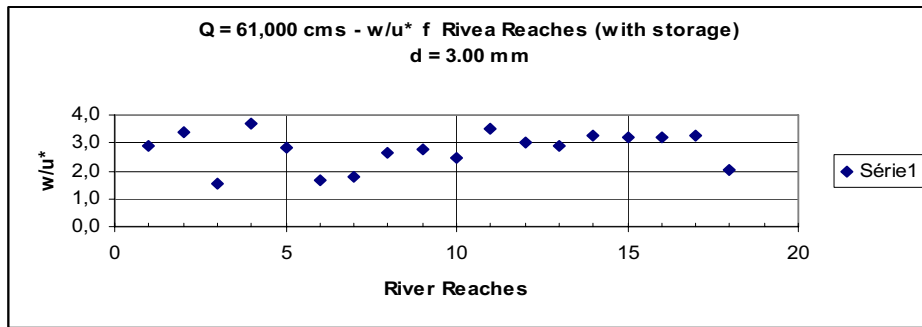
Grãos de 1,00 mm estão sendo transportados em suspensão ao longo de todo o reservatório a fio d'água.



Grãos de 2,00 mm estão se movendo de forma geral em saltitação e, em certas áreas, estão sendo transportados em suspensão.

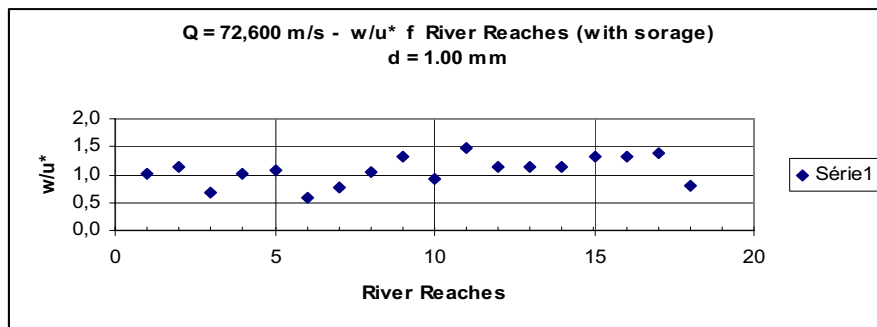


Grãos de 3,00 mm estão se movendo em saltitação e, em certas áreas, estão sendo transportados em suspensão.

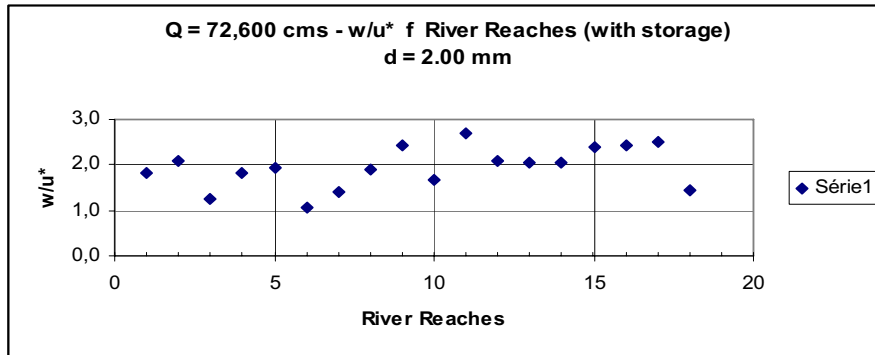


VIIA – Q = 72.600 m/s

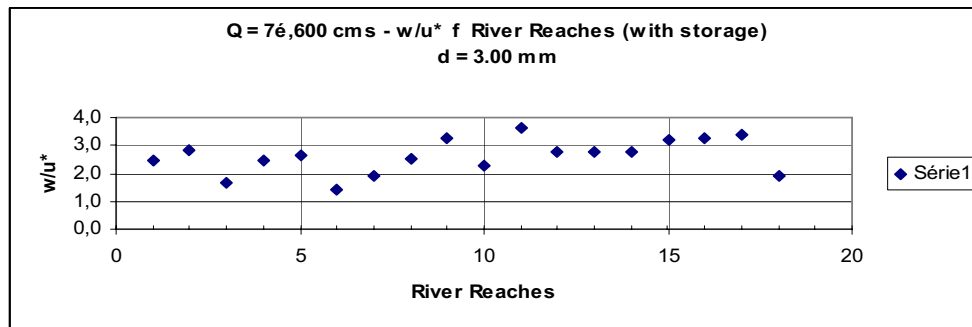
Grãos de 1,0 mm estão sendo transportados em suspensão ao longo de todo o comprimento do reservatório a fio d'água.



Grãos de 2,00 mm estão sendo transportados principalmente em suspensão e, em certos trechos, em saltitação.

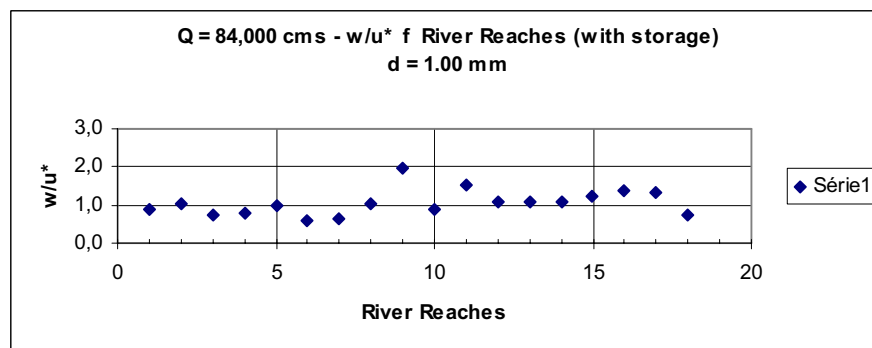


Grãos de 3,00 mm estão se movendo principalmente em saltitação e, em certas áreas, em suspensão.

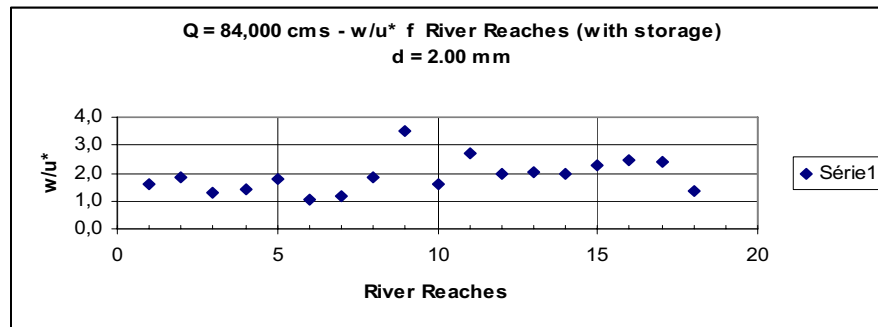


VIIIA – 84.000 m³/s

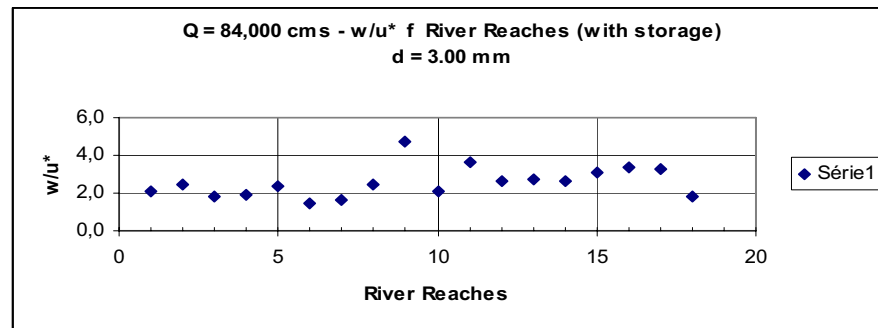
Grãos de 1,00 mm estão sendo transportados em suspensão ao longo de todo o comprimento de reservatório a fio d'água.



Grãos de 2,00 mm estão sendo transportados principalmente em suspensão e, em certas áreas, eles estão se movendo em saltitação.



Grãos de 3,00 mm estão se movendo principalmente em saltitação e, em certas áreas, sendo transportados em suspensão.



3. Principais Observações e Conclusões

Principais observações baseados em:

- revisão de vários relatórios
- visita ao rio e sítio do projeto
- análises das características de transporte de sedimentos com condições naturais e com o reservatório a fio d'água

São os seguintes:

3.1 Condições de fluxo do rio entre Jirau e Santo Antônio

Nas condições atuais, o rio Madeira entre Jirau e Santo Antônio tem vários afloramentos de rocha na forma de corredeiras e ilhas isoladas. Estes afloramentos de rocha tem estabilizado o perfil do leito do rio e controlam a inclinação da superfície d'água entre os trechos. Eles também criam localmente velocidades muito altas (fotos 4 e 5) e criam imediatamente a jusante praias de areia ou ilhas (fotos 8 e 9). Algumas das ilhas tem grandes árvores e outros tipos de cobertura vegetal. As ilhas principais são:

a) Ilha do Padre, b) Ilha Santana, c) Ilha Niterói, d) Ilha Liverpool, e) Ilha São Patrício, f) Ilha Tarumã, g) Ilha Camaleão e uma praia submersa de cascalho fino no Zé Paulino. Estes são bons exemplos e podem se vistos no Google Earth.

Comparadas com as condições existentes, todas as ilhas a jusante das corredeiras na seção 12 e no rio na seção 23 serão submersas anualmente. O aumento nas profundidades de submergências vão ser os seguintes (ref. Figuras 1.2.1 e 1.2.2):

- 22,00 m a 5,00 m para $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 19,00 m a 2,50 m para $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 15,00 m a 0,50 m para $Q = 18.000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 7,00 m a 0,00 m para $Q = 48.600 \text{ m}^3/\text{s}$.

As reduções de velocidade do fluxo máximas e mínimas correspondentes são:

- 0,03 m/s a 0,93 m/s para $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 0,02 m/s a 1,44 m/s para $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 0,01 m/s a 1,96 m/s para $Q = 18.000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 0,00 m/s a 0,99 m/s para $Q = 39.100 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 0,00 m/s a 0,97 m/s para $Q = 48.600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Embora as reduções das velocidades de fluxo sejam significativas dentro do reservatório a fio d'água, as velocidades resultantes são ainda relativamente altas não permitindo a deposição de silte e argila, que compõem 85% do conteúdo total de sedimento. As velocidades de fluxo remanescentes no reservatório a fio d'água são os seguintes (ref. Tabela e Figura 1 a 8).

- 0,10 m/s a 0,25 m/s para $Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 0,20 m/s a 0,55 m/s para $Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 0,38 m/s a 0,95 m/s para $Q = 18.000 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 0,80 m/s a 2,00 m/s para $Q = 39.100 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 1,10 m/s a 2,45 m/s para $Q = 48.600 \text{ m}^3/\text{s}$.

Em especial durante as cheias anuais com vazões de $39.100 \text{ m}^3/\text{s}$ a $45.000 \text{ m}^3/\text{s}$, as velocidades são suficientemente altas para assegurar o transporte de grãos de areia. Considerando a cobertura vegetal de algumas das ilhas, pode ser assumido que estas ilhas devem crescer em tamanho e os leitos dos canais devem encher com areias. Entretanto, com o tempo as velocidades de fluxo vão aumentar gradualmente. Ao longo do tempo uma nova seção de equilíbrio do canal deve se fixar, como também o padrão sazonal de transporte de areia através do reservatório a fio d'água.

3.2 Condições de transporte de sedimento entre Jirau e Santo Antônio

Nas condições naturais o rio Madeira pode transportar areias e cascalhos finos de grãos com tamanhos mostrados na Figura 4,17. Com o reservatório as velocidades de fluxo ao longo de todo o reservatório a fio d'água vão ser reduzidos e para vazões menores do que $18.000 \text{ m}^3/\text{s}$ a capacidade de transportar areias deve ser reduzido consideravelmente. A capacidade de transportar areia no rio Madeira sob condições naturais e com o reservatório a fio d'água é indicada abaixo:

$$Q = 5.000 \text{ m}^3/\text{s}$$

	d^{\max} transportado em suspensão	d^{\max} transportado em saltitação	d^{\max} transportado por arraste	d inerte
Condições Naturais	1,00 mm	1,00 a 3,00 mm em certas áreas	3,00 mm em certas áreas	3,00 mm em certas áreas
Com o reservatório a fio d'água	0,40 mm em certas áreas 0,30 mm em certas áreas 0,20 mm ao longo de todo comprimento	0,50 mm em certas áreas 0,40 mm em certas áreas 0,30 mm em certas áreas	0,50 mm em certas áreas	1,00 mm ao longo de todo comprimento

$$Q = 10.000 \text{ m}^3/\text{s}$$

	d^{\max} transportado em suspensão	d^{\max} transportado em saltitação	d^{\max} transportado por arraste	d inerte
Condições Naturais	1,00 mm ao longo de todo comprimento 3,00 mm em certas áreas	3,00 mm em certas áreas	3,00 mm em certas áreas	3,00 mm em certas áreas
Com o reservatório a fio d'água	0,30 mm ao longo de todo comprimento	0,50 ao longo de todo comprimento	1,00 mm em certas áreas	1,00 mm em certas áreas

$$Q = 18.000 \text{ m}^3/\text{s}$$

	d^{\max} transportado em suspensão	d^{\max} transportado em saltitação	d^{\max} transportado por arraste	d inerte
Condições Naturais	1,00 mm ao longo de todo comprimento 3,00 mm em certas áreas	3,00 mm em certas áreas	3,00 mm em certas áreas	3,00 em certas áreas
Com o reservatório a fio d'água	1,00 mm em certas áreas 0,50 mm ao longo de todo comprimento	1,00 mm em certas áreas	1,00 mm em certas áreas	

$$Q = 39.000 \text{ m}^3/\text{s}$$

	d^{\max} transportado em suspensão	d^{\max} transportado em saltitação	d^{\max} transportado por arraste	d inerte
Condições Naturais	1,00 mm over the entire length	3,00 mm ao longo de todo comprimento	3,00 mm em certas áreas	3,00 mm em nenhum lugar
Com o reservatório a fio d'água	1,0 mm ao longo de todo comprimento	2,00 mm ao longo de todo comprimento 3,00 ao longo de todo comprimento	3,00 mm ao longo de todo comprimento	3,00 mm em nenhum lugar

$$Q = 48.000 \text{ m}^3/\text{s}$$

	d^{\max} transportado em suspensão	d^{\max} transportado em saltitação	d^{\max} transportado por arraste	d inerte
Condições Naturais	1,00 mm ao longo de todo comprimento 3,00 mm em certas áreas	3,00 mm ao longo de todo comprimento	3,00 mm em nenhum lugar	3,00 mm em nenhum lugar
Com o reservatório a fio d'água	1,00 mm ao longo de todo comprimento 2,00 mm em certas áreas	3,00 mm ao longo de todo comprimento	3,00 mm em nenhum lugar	3,00 mm em nenhum lugar

Pode ser concluído que, embora com baixas vazões (menos que 18.000 m³/s), o movimento de areias grossas não é generalizado, a partir de 39.100 m³/s, entretanto, todas as areias são transportadas em suspensão e cascalhos finos são movidos em saltitação ao longo de todo o comprimento do reservatório a fio d'água.

Assim, o acúmulo de areias grossas e cascalhos finos deve ser um processo muito lento e intermitente e limitado a áreas específicas. Após muitos anos de operação com depósitos de saturação generalizados, o transporte de toda carga de material do fundo será restaurado.

3.3 Necessidades de melhorar o processo de evacuação de areias grossas e cascalhos finos através do vertedouro com mudança do arranjo do projeto.

O atual transporte de carga de fundo na área do projeto é claramente ao longo da margem direita. O atual arranjo e posição do vertedouro conforme indicado na Figura 3.3.1 não é completamente satisfatória.

- Reduzir o número de comportas de segmento de 21 para 15 e deslocar o vertedouro para montante, perto da área com depósitos de areia grossa e cascalhos finos. A nova capacidade do vertedouro seria 60.000 m³/s.

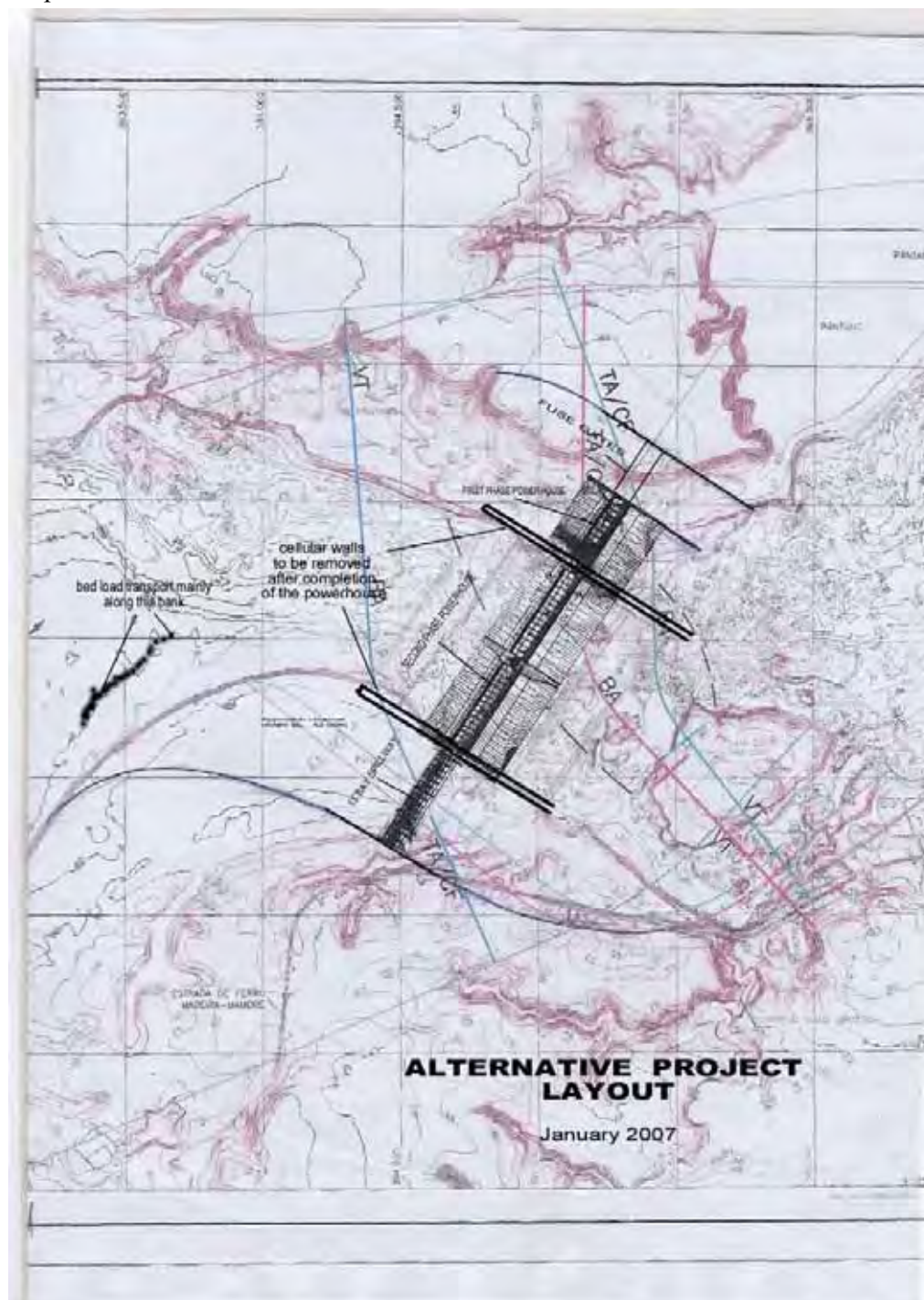


Figura 3.2.2 – Arranjo alternativo do projeto

- Trocar as 6 comportas de segmento por comportas fusíveis com uma capacidade de cerca de 15.000 m³/s na margem esquerda do rio junto a casa de força.
- Usar uma casa de força pré-fabricada que pode ser transportada flutuando até ser colocado no meio do rio. Esta mudança deve alterar o procedimento, tempo e custo de

construção. Isso pode eliminar a barragem de enrocamento e reduzir significativamente o volume total de escavação. A largura total da superfície d'água no reservatório a fio d'água seria de 1.700 m no lugar de 2.700 m, com redução de 1.000 m.

- A possibilidade de passar parte das cheias pela tomada d'água/casa de força deve também somar a capacidade de evacuar as cheias durante uma emergência. Também deve reduzir variações dos níveis a jusante e a montante no caso da parada total da usina.

ANEXO – I

- **Necessidade de um estudo compreensivo de modelo hidráulico.**

A necessidade de um estudo de modelo hidráulico é evidente e nós recomendamos que o modelo hidráulico do estado de arte seja construído e um estudo compreensivo seja efetuado o mais breve possível.

- **Otimização do arranjo do projeto e desenho hidráulico.**

O modelo hidráulico deve permitir que os projetistas possam verificar os desempenhos dos projetos propostos e se necessário otimizar os vários arranjos estruturais. Tal modelo deve permitir também que se possa otimizar o total de escavação de rocha e seqüência da construção. O modelo pode ser usado particularmente para estudar os seguintes aspectos:

- **Evacuação segura de areia.**

As características do transporte de areia da AHE Santo Antônio não deve ser um problema real com relação ao assoreamento do leito na face montante da usina ou vertedouro, conforme temido pelos projetistas. Entretanto, por causa das quantidades anuais de sedimento extremamente altas, as concentrações de areia são às vezes muito altas. O desenho estrutural deve tentar reduzir ao máximo a quantidade de areia passando pelas turbinas. Assim o modelo hidráulico pode fazer um papel importante como:

- Verificação do transporte de areia existente pelo sítio do projeto incluindo a segregação dos tamanhos dos grãos de areia observado ao longo do leito do rio imediatamente a montante e a jusante das estruturas propostas.
- Definir o arranjo estrutural ótimo que permita a passagem segura do transporte de areia pelo projeto, ou seja, que a grande parte da areia passe pelas comportas do vertedouro quando estas comportas estiverem abertas para passar as vazões em excesso afluentes à usina.
- Melhor procedimento de operação das comportas do vertedouro para atingir a rota de evacuação requerida da areia do reservatório para o rio a jusante.

- **Transporte de madeira flutuante e submersa** ³

Nós achamos que, em Santo Antônio, o problema de gerenciar a madeira flutuante pode ser um problema maior e deve requerer um desenho inovador de equipamento de limpar grades e do arranjo do projeto e conceito de evitar a formação de grandes massas de entulho junto as grades.

O modelo hidráulico pelo ser usado para melhor entender o processo das condições de aproximação e acumulação da madeira flutuante no sentido de desenvolver soluções práticas como:

- Simular, o melhor possível, no modelo físico as formas observadas de transporte de madeira flutuante e submersa, características da madeira, taxas e quantidades máximas diárias.
- Tentativas de desenvolver arranjos estruturais e distribuições dos fluxos de aproximação de maneira que a madeira não crie grandes entulhos junto às grades das tomadas d'água ou às comportas do vertedouro na subida das hidrógrafas das cheias.
- Prevenção para que o grosso da madeira flutuante não se junte nas grades de proteção. Se possível manter as grandes árvores em circulação no reservatório, longe das grades ou comportas do vertedouro. Assim pode ser removido gradualmente o entulho com a ajuda de guindastes especiais colocados em locais convenientes. O modelo hidráulico pode indicar o melhor arranjo estrutural para atingir isso.

³ Seria útil observar e documentar as condições de aproximação á área do projeto da madeira flutuante e submersa sobre várias condições da vazão do rio além de informações sobre a composição e volume anual aproximado.

Na usina de baixa queda, Sidney A. Murray, localizada no rio Mississipi em Lousiana, somente 15% da vazão do rio Mississipi passa pela usina. Esta usina, como uma vazão de 4.500 m³/s e vazão unitária de 562 m³/s, tem oito unidades de 8,2 m de diâmetro. O volume anual de entulho flutuante é cerca de 115.000 m³ dos quais 20 a 30% é material submerso.

• **Formação de vórtices de entrada de ar nas tomadas d'água das turbinas bulbo**

Para projetos de baixa queda, frequentemente tais vórtices são induzidos pelo fluxo, quer dizer, formados pela separação do fluxo causada por uma combinação de direções do fluxo de aproximação e o arranjo estrutural perto da tomada d'água. As velocidades circulantes de superfície gradualmente se organizam e se transforma em vórtices de entrada de ar estável.

Para um projeto de baixa queda, o ar incluso vai diretamente à câmara do rotor causando flutuações de pressão violentas resultando em vibrações severas das turbinas e estruturas da usina. Para estas vazões é recomendado que modificações estruturais adequadas sejam feitas assim eliminando ou atenuando as formações de tais vórtices pelo uso de um modelo físico tridimensional.

• **Perda na tomada d'água e canal de fuga**

Por definição, em projetos de baixa queda, cada centímetro é importante. Assim o modelo hidráulico pode ajudar a melhorar o desempenho por:

- Melhorar o fluxo de aproximação da tomada d'água e condições do tubo de sucção para reduzir perdas de queda e recuperar queda de velocidade na área do canal de fuga.

Propagação de surgências (montante e jusante) devido ao total ou parcial fechamento e/ou início de operação.

O modelo hidráulico pode facilmente simular e avaliar os impactos das surgências transientes no sítio do projeto por:

- Simular a propagação de surgências a montante e jusante devido a rejeição de carga e / ou tomada de carga de todas as unidades ou certo número de unidades.
- Simular os efeitos mitigantes de “sluicing” em tais eventos por fechamento parcial das comportas dos tubos de sucção.

• **Seqüências de construção**

O arranjo geral estrutural do projeto vai impactar o sequenciamento das obras de construção que devem impactar fatos como:

- Acesso aos vários canteiros de obra.
- Necessidade de construção de pontes.
- Volume de escavação em rocha.
- Tempo total de construção civil, etc.

O modelo físico hidráulico compreensivo pode ser de grande ajuda para otimizar o arranjo do projeto e conceitos estruturais assim garantindo melhor desempenho geral. Redução de custos e redução de alguns dos riscos que vem da hidrologia da bacia, em particular durante o sequenciamento de construção.

ANEXO II

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E
DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO
Departamento de Planejamento Energético

NOTA TÉCNICA

26 de março de 2007

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO
Departamento de Planejamento Energético

NOTA TÉCNICA

Em 26 de março de 2007

Assunto: Parecer Técnico nº 014/2007 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, de 21 de março de 2007

4.1 ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E LOCACIONAIS

O planejamento do setor elétrico, atribuição do Ministério de Minas e Energia para atendimento ao crescimento sustentável das necessidades de energia elétrica do país, é realizado levando em conta todas as opções tecnológicas e locacionais de geração disponíveis, os condicionantes sócio-ambientais e de usos múltiplos da água, os respectivos custos, tanto de investimento como de geração, além de aspectos estratégicos ligados a dependência externa dos insumos para geração. Mercê do elevado potencial hídrico brasileiro, que se constitui em importante vantagem competitiva frente às demais fontes de geração em termos de custos e externalidades ambientais, esta fonte é a referência para a expansão do parque gerador nacional.

Neste sentido, deve-se mencionar a preocupação com o rigorismo técnico com que este Ministério trata a questão do planejamento energético, por meio de sua Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético – SPE e da Empresa de Pesquisas Energéticas – EPE, criada recentemente para realizar os estudos que subsidiam os seus principais documentos, tais como: Plano Decenal de Energia, Matriz Energética, Plano Nacional de Energia de Longo Prazo e Balanço Energético.

Assim, não parece legítimo colocar em discussão as questões relativas ao planejamento energético fora do âmbito institucional adequado.

4.2 ANÁLISE E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL: MEIO FÍSICO

Esse item do Parecer se detém quase que exclusivamente nas questões relacionadas com o impacto dos aproveitamentos sobre o transporte de sedimentos no rio Madeira.

O Parecer destaca divergências e preocupações constantes de pareceres dos consultores Prof. Dr. José Galizia Tundisi e da Dra. Takado Matsumura Tundisi em estudo elaborado para COBRAPE - Ministério Público de Rondônia e Dr. Sultan Alam, em estudo elaborado para o MME.

Embora considerando que essas divergências são próprias da natureza da disciplina Sedimentologia e do processo de obtenção de conhecimento, elas foram analisadas e respondidas pelos projetistas, mesmo tendo em conta não haver nenhuma citação expressa quanto à inviabilidade dos empreendimentos por aspectos relacionados a este tema. O Parecer, entretanto, enfatiza apenas citações isoladas, nem sempre referentes ao mesmo contexto, não dando destaque a conclusões importantes constantes nas análises dos especialistas, induzindo a conclusões equivocadas, o que certamente é prejudicial para a construção de um parecer que norteará a tomada de decisão sobre a implantação dos empreendimentos. Como exemplos citam-se:

- Do trabalho dos Consultores Tundisi e Matsumura, o Parecer cita questões relativas a medições de descarga de fundo (página 25), a metodologia utilizada para cálculo da vida útil (página 27) entre outras, mas não aponta a conclusão dos consultores, que é reproduzida a seguir:

“embora o estudo apresente a necessidade de aperfeiçoamentos nos pontos aqui levantados, o estudo é passível de aprovação de licença prévia ambiental, com os condicionantes aqui apresentados”.

- Da análise do Consultor Sultan Alam, o Parecer limitou-se a destacar citações relativas às concentrações de sedimentos que serão descarregados quando da operação do vertedouro (página 44). Não foi destacada a conclusão do Consultor, que é reproduzida a seguir:

“No appreciable impact on the backwater curves are anticipated because the flow through velocities and resulting sand transport capacity in suspension within the pool are sufficient to ensure against massive deposits of sand in the pool impacting backwater or plant operation. This project like all well designed run-of-river projects should perform normally and have a long life.”

Traduzindo:

“Não são esperados impactos importantes nas curvas de remanso, uma vez que as velocidades do fluxo são suficientes para transportar toda a areia em suspensão dentro da calha do rio. Assim, não haverá grandes depósitos de areia na calha que possam impactar nem o remanso do rio, nem a operação da usina. Este empreendimento, como todas as usinas à fio d’água bem projetadas, deve operar normalmente e ter uma vida útil longa.”

Cumpra também destacar que o Consultor Newton de Oliveira Carvalho, especialista brasileiro com enorme produção científica na área de sedimentologia, participou efetivamente da elaboração dos Estudos e Projetos, em todas as atividades relacionadas a levantamentos de campo, análises laboratoriais e estudos. Este consultor é citado várias vezes ao longo do Parecer do IBAMA.

Os Estudos Sedimentológicos elaborados para os Estudos de Engenharia e para o EIA/RIMA têm um grau de detalhamento e adequação consistentes com a etapa do projeto, o que é corroborado pelas análises de consultores independentes. Todavia, como é recomendado nos estudos, deverá haver um contínuo aperfeiçoamento dos mesmos nas etapas seguintes do projeto.

De forma a racionalizar a abordagem das questões levantadas no Parecer do IBAMA, os assuntos foram organizados de forma a esclarecer cinco questões básicas que parecem sintetizar o item 4.2:

- a. A origem dos sedimentos do rio Madeira;
- b. Vida útil dos reservatórios e aumento das áreas de inundação;
- c. Influência de alterações do transporte sólido na curva de remanso do reservatório de Jirau;
- d. Alteração das condições do transporte sólido à jusante da AHE Santo Antônio;
- e. Aumento da carga de sedimentos ao longo do tempo.

a. A origem dos sedimentos do rio Madeira;

Os efeitos de processos climatológicos e hidrológicos da totalidade da bacia do rio Madeira, notadamente quanto à produção e disponibilidade hídricas e produção de sedimentos, estão retratados nas séries hidrológicas, uma vez que as estações fluviométricas de Abunã-Vila (com 34 anos de operação) e Porto Velho (com 40 anos de operação), ambas no rio Madeira, controlam efetivamente toda a bacia à montante. Já a estação de Guajará-Mirim, no rio Mamoré, exerce um controle apenas parcial. Portanto, os efeitos de processos climatológicos e hidrossedimentológicos que ocorrem em toda a bacia estão refletidos nas séries hidrológicas de Abunã e de Porto Velho e, desta forma, estão considerados no projeto.

As informações relativas a uma determinada seção fluvial, devidamente interpretadas, constituem uma síntese dos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos de toda a bacia contribuinte. Permitem a obtenção de conclusões mais representativas sobre o assoreamento de reservatórios, uma vez que a modelagem espacial desses processos tende a multiplicar as incertezas a seu respeito.

O conhecimento dos processos hidrológicos e sedimentológicos por sub-bacias, ou por qualquer outra unidade a montante de Abunã, seria importante como conhecimento, todavia, de pouca utilidade em termos práticos uma vez que não cabe, neste momento do projeto, propor medidas de conservação do solo e de manejo de bacias hidrográficas. A análise dessas medidas extrapola o âmbito dos empreendimentos, já que a maior parte da área em questão não faz parte do território nacional.

Assim, não é imprescindível o conhecimento detalhado da origem ou causas da produção de sedimentos em toda a bacia, para a tomada de decisão quanto à viabilidade ambiental dos Aproveitamentos.

Da mesma forma, a questão dos processos hidrológicos produzidos pelo fenômeno ENSO – El Niño/Southern Oscillation, assinalada ao longo do texto, que tem sido objeto de pesquisas meteorológicas relativamente recentes, têm uma ocorrência cíclica na escala temporal e suas conseqüências em termos de produção hídrica e de sedimentos da bacia estão também refletidas nas séries hidrológicas históricas, e desta forma, consideradas nos projetos.

b. Vida útil dos reservatórios e aumento das áreas de inundação;

A metodologia empregada nos estudos de vida útil tem sido utilizada nos principais reservatórios do Brasil e do exterior. Quanto à crítica sobre a inexistência de estudos que comprovem a validade da Curva de Brune em reservatórios brasileiros é, de fato, uma preocupação que compartilhamos. Contudo, esta preocupação não pode significar impedimento para a realização de estudos dessa natureza. Na prática o que se procura fazer é estabelecer ações de gerenciamento do sedimento no reservatório com certo grau de conservadorismo.

A majoração das descargas sólidas tem sido empregada para situações em que se quer compensar um possível crescimento da produção de sedimentos na bacia ao longo do tempo. Nos estudos do rio Madeira foi considerada a hipótese de crescimento da produção de sedimentos a uma taxa de 2% ao ano para representar este efeito.

A “altura de assoreamento ao pé da barragem”, calculada pelo método de Borland e Miller, considera que inexistente um descarregador de fundo. A aplicação deste método tem o objetivo de estimar as cotas máximas alcançadas pelo assoreamento, de forma a definir a vida útil dos reservatórios e soluções de engenharia para gerenciamento dos sedimentos no reservatório.

No caso das usinas do rio Madeira, com o vertedouro de superfície operando como descarregador de fundo devido às suas peculiares características, os valores estimados para esta variável - que são superestimados e portanto conservadores – foram empregados para estabelecimento das cotas do remanescente da enseadeira à montante do canal de adução das tomadas d’água no AHE Santo Antônio e da cota de fundo do canal de adução das tomadas d’água no AHE Jirau.

As afirmações do Parecer do IBAMA quanto aos resultados obtidos são improcedentes porque fundamentadas em dois conceitos equivocados: – vertedouro não funciona como descarregador de fundo; - a descarga sólida de arraste fica retida no reservatório, levando à conclusão da impossibilidade de retenção nula.

Ao contrário do que afirma o Parecer, o Vertedouro, com a cota de soleira próxima ao fundo do rio, tem a possibilidade de funcionar como descarregador de fundo e garantir a passagem para jusante de todo o sedimento depositado a montante deste, inclusive o material de arraste.

Atendendo a uma solicitação do IBAMA, de complementação dos estudos, foram elaboradas análises do campo de velocidades, para diferentes vazões características, na região do aproveitamento, que demonstraram a capacidade de transporte de sedimentos nos canais de aproximação do vertedouro e de adução das Tomadas d’Água.

O sedimento transportado por arraste pode passar para jusante pelo vertedouro. O Parecer cita, para sustentar tese contrária, uma afirmação de caráter geral apresentada pelo Engenheiro Newton Carvalho em seu livro “Hidrossedimentologia Prática”, 1994. Como já mencionado o engenheiro Carvalho participou efetivamente na equipe do projeto.

As características do sedimento, dos reservatórios e de arranjo das usinas têm características peculiares que não podem ser ignoradas, notadamente quanto a:

- granulometria do sedimento muito fina (97% de todo o sedimento tem granulometria inferior a 0,2 mm; o diâmetro máximo do sedimento amostrado foi de 2,0 mm);
- reservatório tem capacidade de transportar sedimentos com dimensões superiores ao máximo amostrado durante a época das cheias, ocasião em que ocorre um aumento significativo da carga sólida. Desta forma mesmo o sedimento transportado por arraste pode alcançar o canal de adução do vertedouro;
- o canal de aproximação do vertedouro e o próprio vertedouro têm também capacidade de transportar as cargas sólidas para jusante.

A não compreensão destes fatores leva a uma conclusão equivocada quanto à retenção do material de arraste, com conseqüências sobre toda a análise de vida útil do reservatório.

Com base nas medições de descarga sólida em suspensão e nas amostragens de material de arraste realizadas, a descarga total e a descarga de fundo foi calculada pelo “método de Einstein modificado”, segundo as teorias de transporte de sedimento. A média da relação entre a descarga sólida total calculada e a sólida em suspensão medida, de todas as medições realizadas na estação de Porto Velho, foi igual a 1,06. Isso significa que a parte da descarga sólida total não amostrada, ou seja, a soma da descarga de fundo ou de arraste e da descarga em suspensão não medida no intervalo entre o bico do amostrador e o leito do rio, correspondeu a algo em torno de 6% do total. Desse montante calculado, apenas 0,4% da descarga sólida total correspondeu à descarga de arraste média.

Não é pratica corrente na engenharia nacional, ou mesmo internacional, a medição direta da descarga sólida de fundo em grandes rios. Ao contrário a prática corrente é a obtenção dessas parcelas por métodos ou fórmulas apropriadas tal como empregado nos estudos elaborados. Os equipamentos utilizados para a medição de descarga de fundo, em geral de grande porte, ao serem posicionados no leito do rio provocam modificações significativas na hidrodinâmica do escoamento e acabam comprometendo os resultados. As dificuldades operacionais para realização das medições no rio Madeira, determinadas pelas grandes profundidades (superiores a 30 m) e altas velocidades de escoamento (de até 3,0 m/s, durante as cheias), provocam o arrasto do cabo de sustentação e do próprio equipamento, impedindo a fixação adequada do mesmo.

Carecem de comprovação as afirmativas dos Consultores Tundisi e Matsumura, incorporadas ao Parecer da Equipe do IBAMA, no que se refere a:

- *“O resultado observado no estudo é que os valores de descarga sólida do leito, por não terem sido adequadamente amostrados, estão subestimados”.*
- *“Os dados obtidos pelas campanhas sedimentométricas não puderam determinar com a precisão necessária a granulometria e a carga do leito, tornando as modelagens subseqüentes vulneráveis em sua confiabilidade”.*

- *“A modelagem adotada por consequência, pode estar correta em sua aplicação, mas como baseia-se na curva chave de sedimentos também não deve ser considerada validada”.*

Como não foram executadas medições diretas da descarga sólida de fundo no rio Madeira, as afirmações anteriores parecem apenas especulativas.

Finalmente destaca-se que foram realizados estudos da vida útil dos reservatórios para uma descarga de fundo superior a considerada no projeto (relação entre a descarga sólida total e a sólida em suspensão medida igual a 1,10) e os resultados obtidos não invalidaram as conclusões dos estudos.

Foram realizados, também, estudos de modelagem de hidráulica fluvial no âmbito dos Estudos de Impacto Ambiental para responder a três questões básicas: a espacialização dos sedimentos no reservatório, os tipos de sedimentos predominantes nos pontos notáveis de deposição e a identificação da temporalidade, ou seja, se sazonais e permanentes. Neste estudo foram empregados o modelo HEC-6 e HEC-RAS.

Os resultados deste estudo foram consolidados em relatório específico no qual foram destacadas as principais simplificações metodológicas utilizadas na modelagem de hidráulica fluvial, de modo a situar claramente a precisão envolvida e orientar uma busca por dados complementares que permitam o emprego futuro de metodologias mais aprofundadas. Merecem destaques as seguintes simplificações:

- A quantidade de seções transversais empregadas na modelagem, apesar de superior ao normalmente disponível em estudos similares no Brasil, não é suficiente. Particularmente nos trechos à montante de Abunã e no trecho à jusante de Santo Antônio tiveram caracterização geométrica precária, em virtude do pequeno número de seções disponível.
- Nos trechos correspondentes aos futuros reservatórios, seria necessário levantar novas seções topobatimétricas de forma a caracterizar melhor todos os controles hidráulicos existentes, tornando as simulações mais verossímeis.
- O material do leito do rio foi descrito com base em amostras coletadas em Abunã e em Porto Velho. Seria importante que se coletassem novas amostras do material do leito, distribuídas ao longo do estirão em estudo, de forma a incorporá-las na modelagem.
- O controle hidráulico exercido pelo trecho de jusante foi modelado de forma precária, não só pela falta de seções transversais topobatimétricas, como também pela ausência de observações sistemáticas de nível d'água.

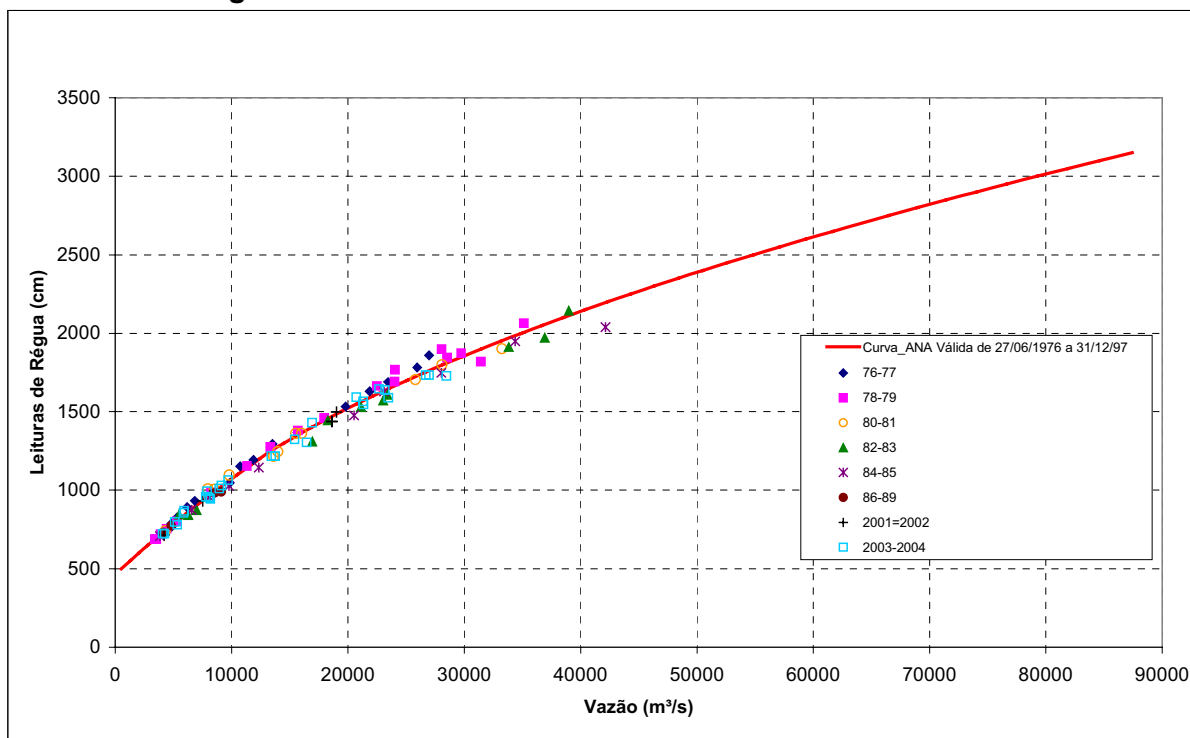
Estas simplificações metodológicas determinam uma utilização qualitativa dos resultados da modelagem, valorizando mais as tendências observadas e menos as avaliações quantitativas geradas pelo modelo.

As incertezas decorrentes da modelagem, ou melhor, suas imprecisões, ficam bastante claras quando se comparam os resultados das simulações do modelo

ajustado para o rio Madeira em condições naturais com certas características observadas e informações disponíveis.

Como exemplo, destaca-se que a evolução do leito para as várias situações analisadas no trecho entre Jirau e Abunã parece ter sido exagerada pelo modelo HEC-6, uma vez que não se observa uma tendência de alteração da curva-chave do posto fluviométrico de Abunã, situado à montante e que vem sendo operado ao longo dos últimos 30 anos, conforme apresentado na Figura 1. Neste trecho, o rio Madeira apresenta grandes velocidades de escoamento que impedem a ocorrência dos assoreamentos prognosticados.

Figura 1 - Curva-Chave do Rio madeira em Abunã Vila



Este fato indica que, pelo menos nesse período, o processo de assoreamento do estirão do rio Madeira entre Jirau e Abunã ainda não foi capaz de afetar de forma significativa a referida curva-chave, ao contrário do que indicam os resultados da modelagem.

Outro fato que corrobora esta conclusão são as pequenas alterações das conformações de ilhas e depósitos sedimentares no trecho, identificados em imagens de satélite em diferentes datas, contrastando com os elevados volumes de depósito sugeridos pelo modelo.

Em razão desses aspectos a projetista ressaltou de forma sistemática, tanto nos documentos produzidos quanto nas reuniões realizadas com o IBAMA, a utilização cautelosa dos resultados da modelagem, como também não recomendou a utilização desses resultados em dimensionamentos.

Entretanto, estas recomendações parecem ter sido ignoradas, havendo insistência no uso dos resultados das simulações fluviais e exigindo a apresentação de produtos elaborados com base nessas informações, sabidamente inconsistentes.

Como exemplo cita-se a solicitação da planta do reservatório com assoreamento, para as cheias de 10, 25 e 50 anos de recorrência, que leva a conclusões claramente exageradas.

No Parecer do IBAMA são agregadas algumas observações e conclusões da análise do EIA realizada pelo Consultor TUCCI para o IBAMA, que ressalta observações também incluídas no relatório elaborado pela projetista. Entretanto a íntegra do relatório do Consultor não foi disponibilizado pelo IBAMA.

Com relação a questão da área dos reservatórios e da mancha de inundação, o Parecer omite algumas informações importantes, o que pode induzir à conclusão incorreta de que haveria erro no valor da área dos reservatórios.

No caso do AHE Santo Antônio, a área apresentada para o reservatório no NA normal (70,00 m), correspondente a 271 km² está correta, como também a área da mancha de inundação prognosticada para a cheia de 50 anos de recorrência com o reservatório assoreado, correspondente a 583 km².

O que não pareceu correto foi não citar o valor da área da mancha de inundação prognosticada para cheia de 50 anos de recorrência para o rio Madeira nas condições naturais, que corresponde a 560 km², obtido sobre o mesmo desenho usado pelo IBAMA, mostrando claramente que as inundações com ou sem o reservatório são da mesma ordem de grandeza.

Para o AHE Jirau essas cifras são: área do reservatório no NA normal (90,00 m) 258 km², área da mancha de inundação prognosticada para a cheia de 50 anos de recorrência com o reservatório assoreado, 535 km² e área da mancha de inundação prognosticada para cheia de 50 anos de recorrência para o rio Madeira nas condições naturais, 517 km².

A tabela a seguir reúne os valores dessas áreas.

AHE	Área do Reservatório NA normal (km ²)	Área da Mancha de Inundação da Cheia de 50 anos de recorrência (km ²)		
		Condições Naturais	c/ reservatório s/ assoreamento	c/ reservatório c/ assoreamento
Santo Antônio	271	560	580	583
Jirau	258	517	525	535

Desta tabela depreende-se que a área da mancha de inundação para a cheia de 50 anos com o reservatório, assoreado ou não, é ligeiramente superior (cerca de 4%) a que ocorreria em condições naturais. Em sua maior parte estes acréscimos de área localizam-se próximos as barragens e englobam regiões já inundadas pelo reservatório em seu NA normal.

Para as características dos reservatórios do rio Madeira, é um erro fazer comparações entre a área da mancha de inundação provocada por cheias com a área do reservatório em seu NA normal.

É de ressaltar que os reservatórios a serem formados com os AHE de Santo Antônio e Jirau são muito pequenos em relação às vazões afluentes do rio Madeira, o que determina: tempos de residências muito pequenos, em média 1,34 e 1,32 dias

respectivamente para AHE Santo Antônio e Jirau e velocidades próprias de um rio em situação natural, mesmo no período de estiagem.

c. Influência de alterações do transporte sólido na curva de remanso do reservatório de Jirau

Os estudos de remanso devido aos reservatórios foram inicialmente elaborados sem considerar eventuais efeitos de assoreamento, em razão das deficiências da modelagem de hidráulica fluvial, que apontavam para prognósticos de assoreamento pouco prováveis, seja em relação a magnitude, seja em relação a sua localização, quando comparadas com as características sedimentológicas do rio Madeira e hidráulicas dos futuros reservatórios.

A consideração do assoreamento dos reservatórios nos estudos de remanso foi realizada a partir da solicitação de complementação dos estudos pelo IBAMA, que exigiu a consideração de seções transversais assoreadas ao longo do reservatório, estimadas pelo modelo de hidráulica fluvial, apesar da demonstração da inadequação do mesmo. Como esperado, esta abordagem promove um acréscimo do NA à montante dos reservatórios, especialmente no de Jirau.

Conforme referido anteriormente, foi recomendada, de forma enfática, a não utilização desses resultados devido às imprecisões do modelo.

Outro aspecto também destacado nos estudos é a conformação do rio Madeira na extremidade de montante do reservatório, que tem seu leito bastante encaixado, desfavorecendo a formação de deltas com deposição de sedimentos que promovam a sobrelevação dos níveis a montante.

Estudos posteriores elaborados pelo Consultor Sultan Alam demonstraram que os reservatórios têm condição de transportar partículas de sedimento, em suspensão e de fundo, com dimensões superiores às amostradas ao longo da campanha de medições, o que confirma a tese definida pela projetista, de que o modelo fluvial produziu estimativas exageradas de assoreamento do rio Madeira em condições naturais e, conseqüentemente, com o reservatório.

Portanto, a estimativa mais precisa do remanso do reservatório hoje disponível baseia-se na informação produzida sem a consideração de efeitos de assoreamento do reservatório. Estes estudos demonstram que o remanso do reservatório de Jirau estará todo contido em território nacional.

Com relação à Curva Guia do reservatório de Jirau, que estabelece níveis d'água a serem mantidos junto ao barramento de forma a não alterar as condições de escoamento no rio Madeira no trecho internacional, refere-se a uma indicação para planejamento.

Em tempo real o reservatório deverá ser operado a partir das curvas de remanso e de um sistema de quantificação e previsão de aflúncias em Abunã, apoiado em uma rede telemétrica de aquisição de dados em tempo real na bacia do rio Madeira. Com isto sempre existirá a possibilidade de ajustar a curva guia para correção de eventuais distorções entre a expectativa e a realidade de modo a assegurar a não alteração das condições de escoamento do rio Madeira no trecho internacional.

O atual conhecimento sobre essa questão permite afirmar que os riscos de uma eventual sobrelevação do nível d'água à montante dos reservatórios em relação a situação prevista sem assoreamento, mesmo no reservatório de Jirau, têm pequena probabilidade de ocorrência, seriam de pequena magnitude, passíveis de manifestação em prazo muito longo e que poderão, caso venham a ocorrer, ser previstos e mitigados com antecedência por meio de programas de monitoramento permanente.

d. Alteração das condições do transporte sólido à jusante da AHE Santo Antônio;

A suposição, pela Equipe do IBAMA, de que a implantação do AHE Santo Antônio provocará modificações não aceitáveis da calha à jusante, baseia-se na tese de que o reservatório reterá todo o sedimento, ou sua maior parte, provocando um enorme desequilíbrio. Esta tese como demonstrado anteriormente é incorreta.

A concepção do AHE Santo Antônio inclui um barramento de pequena altura e reservatório de volume reduzido, comparativamente com as vazões afluentes. Sua operação será, portanto, à fio d'água, com a vazão defluente sempre equivalente à vazão afluente. Não haverá, conseqüentemente, qualquer regularização de vazões, nem mesmo em nível diário para atendimento a demandas de geração de energia de ponta. Tampouco existe previsão, nem mesmo possibilidade de deplecionamentos do reservatório para controle de cheias.

Conforme apresentado nos estudos, estima-se que o reservatório de Santo Antônio reterá cerca de 19% dos sedimentos a ele afluentes no início de sua operação. Isso significa que mais de 80% do sedimento afluente é descarregado para jusante inicialmente. Essa retenção decresce para menos de 5 % em 15 anos e de 1 % em torno do final dos 30 anos seguintes. Portanto, a quantidade de sedimento a ser descarregado inicialmente para jusante, seja entre 81 % e 90 % do total da carga sólida do rio, é suficiente, em princípio, para manutenção das características da calha fluvial em questão.

Apesar das informações atualmente disponíveis não indicarem riscos à jusante, é recomendável o aprimoramento da modelagem fluvial em todo o trecho de interesse para comprovar os diagnósticos obtidos por outras metodologias. Este aprimoramento poderá ser realizado na etapa posterior de projeto.

e. Aumento da carga de sedimentos ao longo do tempo.

De acordo com a Nota Técnica do consultor Sultan Alam, em anexo, a carga sedimentar de um rio é função de:

- Características da bacia de captação e das fontes de fornecimento de sedimento impactadas por intervenções humanas;
- Intensidade e duração da precipitação levando sedimentos para o rio;
- Forma dos hidrogramas (taxa de crescimento da vazão e duração total das vazões altas);
- Épocas de amostragem e procedimentos de amostragem.

Cada um dos parâmetros acima pode indevidamente ter influência na carga sedimentar de um ano para outro. Mesmo para rios muito grandes, como o Mississippi, em 1994 e 1995, devido às vazões altas e contínuas, o total da carga sedimentar transportada nestes dois anos passou de todos os anos recentes, mas atualmente, tem diminuído significativamente.

Assim a influência episódica de eventos hidrológicos pode produzir aumentos isolados da carga sedimentar do Rio Madeira. Mas não podemos concluir, no momento, que existe uma tendência definitiva para o aumento da carga sedimentar do Rio Madeira.

Dados disponíveis sobre a carga sedimentar média diária em t/dia entre os anos 1931 e 2001 não permitem concluir que a carga total dos sedimentos no Rio Madeira esta aumentando. Por exemplo:

Ano	1949	1973	1982	1985	1986	1993	1997	2001
Mil t/dia	3.147	2.045	4.011	3.943	3.396	3.596	3.276	2.097

NEWTON DE OLIVEIRA CARVALHO

Consultor - PCE

JOÃO CARLOS MATTOSO SALGADO

Coordenador de Projeto – PCE

JOHN DENYS CADMAN

Consultor MME

EDUARDO DE FREITAS MADEIRA

Consultor MME

De acordo:

MARCIO PEREIRA ZIMMERMANN

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético - SPE

ANEXO III

NOTA TÉCNICA

Sedimentos, Modelos e Níveis D'água

Prof. Dr. José Galizia Tundisi
Newton de Oliveira Carvalho
Sultan Alam

10 de abril de 2007

NOTA TÉCNICA – Sedimentos, Modelos e Níveis d'Água

Esta Nota Técnica contém o resumo dos argumentos técnicos, pontos de consenso e de entendimento relativos às questões de sedimentos, de modelos hidráulicos simuladores do transporte e deposição de sedimentos, dos níveis d'água nos reservatórios relativos aos projetos das usinas do Rio Madeira, nesta fase de licenciamento prévio. Os pontos desta nota técnica foram objetos de apresentação, discussão e esclarecimento em reunião realizada no Ministério do Meio Ambiente, promovida pelo Secretário Executivo deste Ministério, na data de 28/03/2007. Os consultores abaixo assinados participaram das mencionadas discussões como apresentadores dos argumentos técnicos, ou responsáveis por estudos, ou ainda como membros de grupos de consultoria contratados para avaliar os estudos apresentados para os projetos do Rio Madeira.

1. A Origem de Sedimentos do Rio Madeira e Abrangência dos Estudos

A existência da estação fluviométrica Abunã – Vila , logo a montante da confluência com o rio Abunã, permite avaliar a carga de sedimentos oriunda de toda a bacia do Madeira, inclusive a sub-bacia fora do território brasileiro. Assim, não é necessário, para efeito de avaliação de cargas de sedimentos, realizar levantamento de dados ou estudos de diagnóstico fora do território nacional. Não é imprescindível um conhecimento detalhado da origem dos sedimentos do rio Madeira nesta fase de licenciamento prévio.

A estação fluviométrica em Porto Velho a jusante permite avaliar o comportamento quanto à capacidade de transporte e sedimentação no trecho compreendido pelos reservatórios de Jirau e de Santo Antonio – trecho Abunã – Porto Velho.

Os sedimentos transportados pelo rio têm origem, em sua maior parte, nos trechos andinos formadores do Rio Madeira e portanto fora do território brasileiro. Em Abunã

os sedimentos são predominantemente finos, em média 99,2% tem granulometria inferior a 0,25 mm, sendo 24,7% de argilas, 57,2% de siltes e 17,3% de areias finas (<0,25 mm) – 12,5%). O restante 0,8% tem granulometria inferior a 2mm. As argilas e siltes e grande parte das areias finas são mantidas em suspensão no trecho do Rio Madeira compreendido entre Abunã e Porto Velho. Uma parcela das areias finas pode depositar-se em períodos de vazões baixas do Rio Madeira, sendo mobilizados para jusante nos períodos de cheia.

Os tributários do Rio Madeira entre Abunã e Porto Velho têm contribuição praticamente nula em termos de cargas de sedimentos aportados ao Rio Madeira.

Os sedimentos medidos em Porto Velho têm granulometria bastante semelhante aos medidos na Vila de Abunã, caracterizados também como sedimentos finos, porém com traços de areias grossas e cascalho (diâmetro acima de 1 mm) que compõem uma pequena fração de sedimentos (abaixo de 1% em massa).

Destaca-se que durante a visita ao rio Madeira do Dr Sultan Alan e equipe do MME, foram coletadas amostras em 20 praias na região de Santo Antônio, sendo que apenas na praia Zé Paulino foram coletados materiais com granulometria superior às amostradas em Porto Velho. Todas as demais as amostras coletadas têm a composição de sedimentos que comprovam a granulometria similar média amostrada em Porto Velho.

A praia de Zé Paulino localiza-se a montante de Santo Antonio, na parte interna de curva do rio, e é formada por material transportado por correntes hidráulicas secundárias. Esses grãos mais grosseiros, alguns com formato angular e não observados em Abunã, demonstram ter uma origem próxima, provavelmente no trecho do Rio Madeira entre Abunã e Porto Velho.

2. A Capacidade de Transporte de Sedimentos do Rio Madeira

A análise realizada pelo consultor Dr. Sultan Alan permitiu concluir que o trecho do Rio Madeira entre Abunã e Porto Velho tem capacidade de transportar praticamente todo o sedimento do rio Madeira, mesmo com a construção dos projetos de Jirau e de Santo Antonio. Os sedimentos finos (argilas, siltes e parte das areias com diâmetro < 0,25 mm), mesmo com reservatórios, serão transportados em suspensão ou saltitação, de forma contínua pela elevada capacidade de transporte em todos os meses do ano. Os sedimentos de maiores dimensões serão igualmente transportados durante os meses de cheias (pelo menos 4 meses do ano) quando são mobilizados, como ocorre atualmente.

Pelas características dos reservatórios, classificados como “reservatórios – calhas”, não serão formados “deltas” por sedimentação a montante dos reservatórios. Tal condição ocorre nos reservatórios de acumulação e não nos típicos “a fio d’água” com elevados gradientes de energia.

Assim, a previsão correta é de que todos os sedimentos do rio Madeira continuarão a ser transportados para jusante, mesmo após a construção dos barramentos de Jirau e de Santo Antonio.

3. A Passagem de Sedimentos pelas Turbinas e Vertedouros

Reservatórios a fio d’água e de baixa queda com turbinas bulbo e com vertedouro com cota de soleira muito próxima à do fundo do rio, constituem projetos que permitem passar para jusante toda a carga de sedimentos, seja pelas turbinas ou pelo vertedouro. Outros projetos semelhantes fora do Brasil, em cursos d’água também com sedimentos finos e grandes concentrações, comprovam que a passagem de sedimentos pelas turbinas não causa problemas de abrasão. Tanto os equipamentos (turbinas) situados no fundo do rio quanto os vertedouros de soleira baixa permitem essa passagem sem problemas, incluindo os sedimentos mais grosseiros.

Foram destacados também os resultados de análises recentes de especialistas em turbinas Bulbo, posteriormente à conclusão dos Estudos de Viabilidade, que indicam o

reduzido risco de abrasão a essas turbinas, mesmo para alta carga de sedimentos do rio Madeira. Desta forma, pode-se afirmar que o barramento submerso previsto a montante do canal de adução na AHE Santo Antônio, para evitar que os sedimentos mais grossos alcançassem as turbinas, pode ser dispensável em projetos como os do Rio Madeira.

Destaca-se neste ponto a sugestão do IBAMA pela conveniência da remoção da ensecadeira submersa de montante em Santo Antonio para não interferir com a passagem de ovos e larvas de peixes em movimentação rio abaixo.

Ressalta-se também que estudos em modelo físico previstos para a fase de Projeto Básico permitirão otimizar as estruturas hidráulicas inclusive quanto à passagem de sedimentos para jusante.

4. A Vida Útil dos Reservatórios dos Projetos do Rio Madeira e as Estimativas de Quantidades de Sedimentos Depositadas nos Reservatórios – O Uso da Curva de Brune

A previsão de que todo o sedimento transportado pelo Rio Madeira continuará a passar pelos reservatórios de Jirau e de Santo Antonio, dadas as condições do gradiente de energia disponível e a granulometria do sedimento, permite afirmar que a vida útil dos reservatórios de Jirau e de Santo Antonio não estará limitada por motivo de assoreamento a montante dos barramentos.

Os estudos sedimentológicos para a definição do projeto de engenharia das usinas na etapa de viabilidade utilizaram a curva média de Brune para estimar a quantidade de sedimentos que poderia ser retida nos reservatórios. A opção por este método, que se constitui numa estimativa conservadora, visou definir condições de segurança das estruturas e de equipamentos nas situações mais adversas de retenção de parte dos sedimentos. As estimativas obtidas através da curva de Brune fornecem quantidades retidas mas não informam sobre a distribuição espacial dessas quantidades.

A retenção prevista de cerca de 20% dos sedimentos para os primeiros anos de operação está super-estimada, pelas características predominantemente finas dos sedimentos do Rio Madeira e pela dinâmica do escoamento ao longo dos reservatórios já comentada anteriormente. Essa super-estimativa que se justifica sob o ponto de vista de segurança da engenharia de estruturas e de equipamentos, não é contudo adequada na ótica da análise ambiental, por levar à implantação de uma estrutura que poderá ampliar a magnitude dos impactos previstos.

O uso da envoltória inferior da curva de Brune, aplicável ao caso de sedimentos finos predominantes no Rio Madeira, indica ser praticamente nula a retenção de sedimentos já no início da operação. Esta previsão de retenção nula coincide com a análise independente realizada pelo consultor Dr. Sultan Alan. Assim, os impactos previstos devidos à retenção de sedimentos estão super-estimados e deverão ocorrer em menor escala a partir da implantação dos empreendimentos.

5. O Uso de Modelo para Previsão de Sedimentação nos Reservatórios – HEC6 e HEC-RAS

Para avaliação da distribuição espacial e temporal dos sedimentos no rio Madeira em condições naturais e com os reservatórios estudados foi utilizado o modelo HEC6 do “*US Corps of Engineers*”, enquanto que, para a previsão dos perfis de linha d’água associados às diferentes vazões e cenários de assoreamento, foi utilizado o HEC-RAS. Esses modelos são ferramentas atualizadas de análise e mundialmente utilizadas.

As previsões de deposição de sedimentos produzidas pelo modelo HEC6 não têm precisão adequada neste momento dos estudos. Os resultados desta modelagem têm levado a resultados incorretos, como aquele que prevê estar ocorrendo sedimentação na região de Abunã em condições atuais. Sabe-se que esta previsão não é observada, pois a curva – chave da estação fluviométrica nesta região está estável por mais de 30 anos, demonstrando não haver deposição nem erosão neste ponto. Por este motivo, a previsão

fornecida pelo modelo de que poderá haver sedimentação a montante de Jirau, na região de Abunã, não pode ser considerada válida.

A incorreção da previsão do modelo HEC6 pode ser explicada. A precisão do resultado depende de dados geométricos e da granulometria do leito em cada seção transversal e da caracterização de todos os controles hidráulicos existentes entre Abunã e Santo Antonio. A aferição do modelo depende desses dados, alguns com variação temporal, que não existem no momento, pois sua obtenção exige uma série de observações e medições.

O modelo atual não tem validação para chegar a este resultado de forma confiável. Contudo, é importante esclarecer que uma vez disponíveis estes dados, o modelo poderá ser calibrado para dar uma resposta mais precisa e válida. Assim, o modelo continua válido, porém seus resultados ainda não estão adequados pelas razões expostas.

A análise independente realizada pelo Dr. Sultan Alan corrobora a observação de que o uso da envoltória inferior da curva de Brune aplicada ao caso de sedimentos finos do Rio Madeira prevê uma retenção zero de sedimentos, ou seja, inexistência de assoreamentos permanentes que provoquem a sobre-elevação futura de níveis d'água por motivo de deposição de sedimentos.

No tema de sobre-elevação dos níveis d'água a montante do reservatório de Jirau, a Resolução no. 555 de 19/12/2006 da Agência Nacional de Águas – ANA definiu em seu artigo 4º. o seguinte:

Art. 4o As condições de operação do reservatório do aproveitamento hidrelétrico serão definidas e fiscalizadas pela ANA, em articulação com o Operador Nacional do Sistema - ONS, conforme disposição do art. 4o, inciso XII e §3o, da Lei no 9.984, de 2000, devendo respeitar as seguintes condições gerais:

I - vazão mínima remanescente a jusante de 3.240,0 m³/s;

II - a tomada d'água e o vertedor deverão ser operados de modo a buscar reduzir o acúmulo de sedimentos no reservatório e a promover a descarga controlada de sedimentos acumulados no reservatório;

III - o reservatório poderá ser operado de modo a garantir condições adequadas de qualidade da água e níveis d'água necessários aos usos múltiplos da água no reservatório e no trecho do rio Madeira a jusante da barragem; e

IV - o nível d'água normal do reservatório deverá variar acompanhando as condições naturais do rio Madeira, observando a curva-guia abaixo, avaliada anualmente, e respeitando os níveis d'água necessários à garantia do transporte de balsas em Abunã e à manutenção dos usos múltiplos da água. (grifo nosso)

No caso específico da região de Abunã, a Resolução da ANA exige a manutenção de condições de fluxo idênticas às atualmente observadas, em que não há evidência de deposição ou de erosão. Assim, os níveis d'água junto ao barramento em Jirau deverão ser estabelecidos de forma a assegurar o cumprimento desta Resolução.

Para as previsões dos perfis de linha d'água dos reservatórios em estudo sem assoreamento, há precisão adequada nos resultados obtidos. Esses resultados mostram que as áreas de inundação para vazões de cheias, com 25, 50 ou 100 anos de recorrência são muito próximas das áreas de inundação em condições naturais. Isto demonstra que os reservatórios em condições de cheias se comportarão muito próximos da situação que seria observada em condições naturais.

6. Impactos a jusante devidos a picos de descargas de sedimentos e de vazões causados pela criação do reservatório em Santo Antonio

O reservatório de Santo Antonio com capacidade de acumulação da ordem de 2.075 hm³ caracteriza-se como um pequeno reservatório quando comparado com o regime de vazões do rio Madeira, que têm uma vazão média anual da ordem de 18.000 m³/s. O

tempo de residência deste reservatório para a vazão média anual é da ordem de 1,3 dia. Será operado a fio d'água, isto é, com vazões defluentes sempre iguais às vazões afluentes ao reservatório.

O regime fluvial do rio Madeira caracteriza-se por apresentar períodos de cheia e de recessão bem definidos. De maneira geral, o início da subida do hidrograma ocorre durante os meses de outubro / novembro, atingindo seu pico durante os meses de março / abril, quando tem início a recessão que se estende até setembro / outubro.

As variações de vazões em Porto Velho são, de forma geral, graduais devido às dimensões da bacia e pelo fato de que não há, a montante, nenhum reservatório de acumulação construído. As vazões aumentam a partir de valores mínimos anuais de até 2.500 m³/s, em setembro, até 48.750 m³/s ao final de março, início de abril. Embora estas variações (aumentos/decréscimos) não sejam uniformes, pode-se afirmar que em 80 % do tempo a variação é inferior a 500 m³/s/dia. Como o reservatório será operado a fio d'água, as variações de vazão a jusante de Porto Velho ocorrerão de forma muito próxima da atual, sob condições naturais.

Para vazões afluentes iguais ou inferiores à capacidade de engolimento das turbinas, 24.684 m³/s (44 x 561 m³/s), toda a vazão defluente passa pelas turbinas. O que exceder passará pelo vertedouros, sempre mantendo a mesma variabilidade que ocorre nas condições atuais.

De igual forma, não deverão ocorrer picos de concentrações significativos de sedimentos a jusante, pois o transporte de sedimentos ocorrerá de forma contínua, ao longo de todo o ano pelas turbinas, e no período de cheias pelo vertedouro.

A parcela do sedimento com granulometria mais grossa, entre 1 e 2 mm, será mobilizada com o aumento de vazões, devido à maior turbulência do escoamento no período de subida do hidrograma, passando inclusive pelas turbinas (com a remoção do remanscente da enseadeira submersa). Por esta razão, as concentrações de sedimentos

a jusante da usina serão muito semelhantes às atuais. Os sedimentos transportados por arraste, em sua maior parte durante o período de cheias, também passarão pelo vertedouro.

7. Problemas de Sedimentos em Reservatórios – afirmativas específicas do Dr. Sultan Alan

Questões de sedimentos em reservatórios foram resumidas pelo consultor Dr. Sultan Alan em diversas ocasiões durante a reunião. Os pontos abaixo sintetizam algumas afirmações:

- Sedimentos não são problemas em barramentos de baixa queda com reservatórios a fio d'água. Minha experiência permite afirmar que em tais condições, com barramentos inferiores a 20 metros de queda d'água, não há problemas de sedimentos. O histórico de 22 barragens no rio Rhone na França e no Mississippi confirma esta afirmativa. Sedimentos em barragens a fio d'água podem ser problemas quando as alturas são bem superiores a 20 metros;
- O Rio Madeira no trecho entre Abunã e Santo Antonio tem capacidade para transportar toda a carga de sedimentos anual que recebe de montante. Esta capacidade será pouco afetada com a construção dos reservatórios e deverá manter o transporte total dos sedimentos após a construção dos dois barramentos;
- Sob o ponto de vista de concepção de engenharia hidráulica e adequação à situação do rio com alta carga de sedimentos, posso afirmar que os projetos do Rio Madeira estão entre os melhores que conheci. São excelentes projetos.

São Carlos, Rio de Janeiro, Porto Alegre, Brasília, 10 de abril de 2007.



Prof. Dr. José Galizia Tundisi

Presidente Honorário e Pesquisador - Instituto Internacional de Ecologia

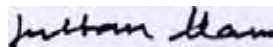
Membro Titular – Academia Brasileira de Ciências



Newton de Oliveira Carvalho

Doutor Honoris Causa pela UFMS – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul

Engenheiro Civil / Consultor em Recursos Hídricos e Sedimentologia



Sultan Alam

Consultant

P. Eng., Corporation Quebec Engineers, Canada

International Hydropower Association – Leader working group on sedimentation –

Permanent Committee on Environment

ANEXO IV

OFÍCIO Nº 042/2007/SPE/MME

Brasília, 10 de maio de 2007

*Cópia
Dr. Marcelo*

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ENERGÉTICO
Esplanada dos Ministérios - Bloco "U" - 5º andar
CEP: 70.065-900 - Brasília - DF
Telefones: (61)3319-5019 / 5802 - Fax-(61)3319-5185 / 5067

Ofício nº 042/2007/SPE/MME

Brasília, 10 de maio de 2007.

Ao Senhor,
VALTER MUCHAGATA
Diretor de Licenciamento Ambiental em Exercício
Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA
Ministério do Meio Ambiente – MMA
SCEN Trecho 02 – Edifício Sede do IBAMA, s/n Bloco C
70068-900 – Brasília DF

Assunto: Licenciamento ambiental das usinas hidrelétricas do rio Madeira

Senhor Diretor

1- Em atenção às solicitações contidas no Ofício n 270/2007 – DILI/IBAMA de 03 de maio de 2007 prestamos os seguintes esclarecimentos:

- Com relação aos questionamentos do IBAMA, referentes às sugestões de alterações propostas pelo consultor Sultan Alam que dizem respeito às melhorias do projeto do AHE Santo Antonio no rio Madeira, podendo acarretar uma economia de custo e redução do tempo de construção da usina, julgamos que atenderam plenamente ao propósito de sua contratação, pelo MME. O arranjo adicional sugerido pelo especialista Sultan Alam tem importância por aumentar a possibilidade de alternativas aos eventuais interessados em participar do leilão, e deverá ser testado em ensaios em modelo hidráulico reduzido. Situações dessa natureza, que incluem detalhamento e otimizações do projeto, são efetuadas somente na fase de projeto básico, após o leilão;
- Tais recomendações acima pontuadas permitirão ao MME o estabelecimento da tarifa de equilíbrio do empreendimento, compatível com a redução dos custos, com benefícios latentes para a sociedade como um todo, em sintonia com um dos pilares do atual modelo setorial, a modicidade tarifária;
- Informamos também que não vemos divergência entre a metodologia e prognóstico constante do Estudo de Impacto Ambiental e a apresentada pelo especialista Sultan Alam, conforme atestam a Nota Técnica – Sedimentos, Modelos e Níveis d'Água, encaminhada ao IBAMA em 25 de abril de 2007 e os documentos de autoria do referido consultor, anexos ao presente ofício, enviados em atenção à solicitação constante do ofício em referência.

RECEBI	ORIGINAL
Em: 14 05 07	
Às 10 47 horas	
<i>Maria For</i>	
<i>Secretaria</i>	

2- Com relação às respostas elaboradas pelo consultor Sultan Alam referentes aos questionamentos desse Instituto contidos na INFORMAÇÃO TÉCNICA N^o 17/2007 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, de 12 de abril de 2007, disponibilizada na página do IBAMA na internet em 3 de maio de 2007 e encaminhada a este Ministério em 10 de maio de 2007, informamos que estão sendo apensadas a esse ofício os seguintes documentos:

- Declaração do consultor Sultan Alam;
- Texto contendo as perguntas e respostas relativas à INFORMAÇÃO TÉCNICA N^o 17/2007 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, de 12 de abril de 2007, a que se refere a declaração acima;
- Texto complementar de autoria do consultor Sultan Alam sobre o tema em inglês e sua versão em português preparada pelo MME;
- Cópia das mensagens trocadas com o consultor Sultan Alam.

Atenciosamente,



MÁRCIO PEREIRA ZIMMERMANN
Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético

Cc: Gabinete MME/Furnas/Odebrecht



Sultan Alam, Consultant
hydraulic structures, hydropower, river engineering
reservoir sedimentation and coastal restoration

e-mail: sultanalam@compuserve.com

TO WHOM IT MAY CONCERN.

I Sultan Alam , Independent consultant hereby certify that I fully agree with the text in Portuguese answering various questions asked by IBAMA.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sultan Alam', is placed over a light blue rectangular background.

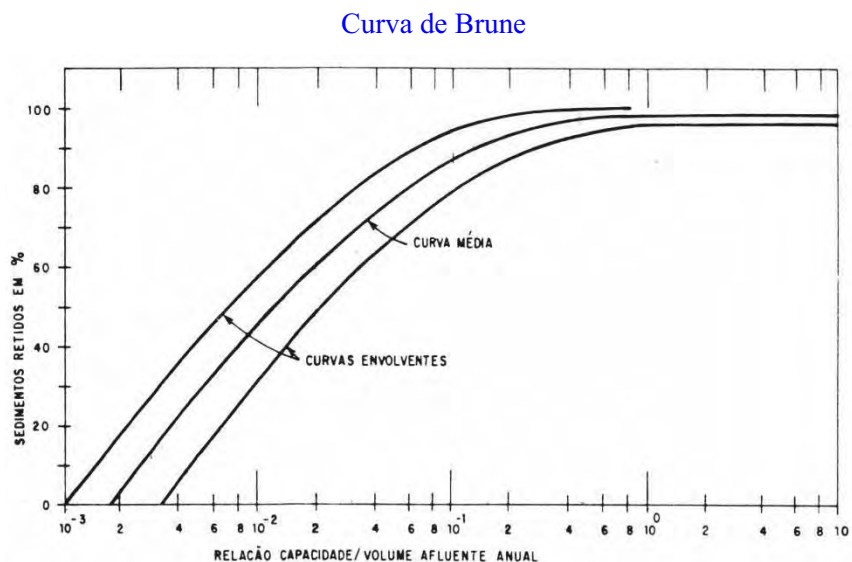
Sultan Alam
May 10, 2007

I – TEMA SEDIMENTOS

I.1. Considerações Iniciais

Os estudos sedimentológicos para a etapa de viabilidade e para o EIA/RIMA dos AHEs Santo Antonio e Jirau utilizaram o método da curva de Brune para estimar a quantidade de sedimentos que poderia ser retida nos reservatórios. (Hidrossedimentologia Prática – Newton Oliveira Carvalho – Rio de Janeiro – CPRM – 1994).

Como pode ser observado na figura abaixo, além da curva média, há outras duas curvas envolventes, superior e inferior, que representam reservatórios com sedimentos com granulometria grossa e fina respectivamente. Como opção conservadora para estimar as quantidades a serem retidas nos reservatórios, os estudos para os AHEs Jirau e Santo Antonio utilizaram a curva média de Brune, como tradicionalmente empregado na maioria dos estudos similares de outros projetos no Brasil.



As estimativas obtidas através da curva de Brune fornecem quantidades retidas, mas não informam sobre a distribuição espacial dessas quantidades.

A Tabela a seguir reúne a Eficiência de Retenção dos reservatórios estimada com base nas curvas de Brune média e inferior, onde pode ser observada a significativa redução da eficiência de retenção quando se adota uma curva adequada a sedimentos finos, ou curva inferior.

Eficiência de Retenção dos Reservatórios (%)

AHEs	Curva Média	Curva Inferior
Santo Antônio (NA =70,00)	19,15	0
Jirau (NA = 87,00)	8,48	0
Jirau (NA = 90,00)	19,15	0

A retenção prevista de cerca de 20% dos sedimentos para os primeiros anos de operação está portanto super-estimada pelas características predominantemente finas dos sedimentos do Rio Madeira e pela dinâmica do escoamento ao longo dos reservatórios. Essa estimativa exagerada, que se justifica sob o ponto de vista de segurança da engenharia de estruturas e de equipamentos, não é contudo adequada na ótica da análise ambiental, por levar à conclusão equivocada de ampliação da magnitude das áreas de inundação e, em consequência, dos impactos previstos.

Para a análise ambiental é mais indicado usar a curva de Brune inferior aplicável ao caso de sedimentos finos como os predominantes no Rio Madeira. Daí vem a indicação de ser praticamente nula a retenção de sedimentos, desde o início da operação. Esta previsão de retenção nula coincide com a análise independente realizada pelo consultor Dr. Sultan Alam que empregou metodologia diferente da curva de Brune. Assim, os impactos potenciais devidos à retenção de sedimentos tanto ao longo dos reservatórios quanto a jusante do AHE Santo Antonio estão super-estimados na análise apresentada no EIA – RIMA e deverão não ocorrer ou ser muito reduzidos, já que as condições futuras deverão ser próximas das atuais, sem os empreendimentos.

Foram realizados, também, estudos de modelagem de hidráulica fluvial no EIA para responder a três questões básicas: a espacialização dos sedimentos no reservatório, os tipos de sedimentos predominantes nos pontos de deposição e a identificação da temporalidade, ou seja, se sazonais e permanentes. Neste estudo foram empregados os modelos HEC-6 e HEC-RAS.

Os resultados deste estudo de modelagem foram consolidados em relatório específico onde estão destacadas as principais simplificações metodológicas que esclarecem sobre as limitações do estudo por depender de extensa base de dados complementares de campo, ainda não obtidos. Merecem destaques as seguintes simplificações:

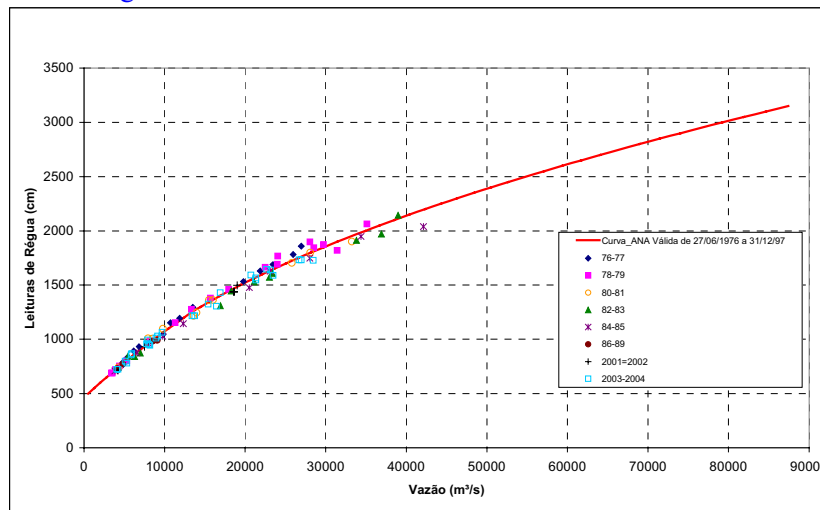
- A quantidade de seções transversais empregadas na modelagem, apesar de superior ao normalmente disponível em estudos similares no Brasil, não é suficiente. Particularmente, os trechos à montante de Abunã e o trecho à

jusante de Santo Antônio tiveram caracterização geométrica precária, em virtude do pequeno número de seções disponível.

- Nos trechos correspondentes aos futuros reservatórios, será necessário levantar novas seções topobatimétricas de forma a caracterizar melhor todos os controles hidráulicos existentes, inclusive no trecho de jusante, tornando as simulações mais verossímeis.
- O material do leito do rio foi descrito com base em amostras coletadas em Abunã e em Porto Velho. Resultados de amostras colhidas em todo o trecho de estudo devem ser incorporados na modelagem.

Estas simplificações metodológicas não permitem validar os resultados previstos pela modelagem. A dificuldade de validação se evidencia na comparação entre os resultados das simulações para as condições atuais do rio Madeira e os dados dos registros das medições hidrológicas. As simulações prevêm a ocorrência no presente de deposição de sedimentos na região de Abunã. Entretanto, sabe-se que tal deposição não está ocorrendo, pois a seção hidráulica em Abunã está estável e mantida sem alterações ao longo dos últimos 30 anos. Isto significa que não está ocorrendo deposição ou erosão nesta seção.

Figura 1 - Curva-Chave do Rio Madeira em Abunã Vila



Outro fato que corrobora esta conclusão são as pequenas alterações das conformações de ilhas e depósitos sedimentares no trecho, identificados em imagens de satélite em diferentes datas, contrastando com os elevados volumes de depósito sugeridos pelo modelo.

Entretanto, estas recomendações sobre as limitações da modelagem parecem ter sido ignoradas, havendo da parte do IBAMA insistência no uso dos resultados das simulações fluviais e exigências para apresentação de produtos elaborados com base nessas informações, sabidamente inconsistentes. Como exemplo cita-se a solicitação da planta do reservatório com assoreamento, para as cheias de 10, 25 e 50 anos de recorrência, que leva a conclusões claramente exageradas.

Com relação a questão da área dos reservatórios e da mancha de inundação, o Parecer do IBAMA de 21/03/2007 omite algumas informações importantes, o que pode induzir à conclusão incorreta de que haveria erro no valor da área dos reservatórios.

No caso do AHE Santo Antônio, a área de 271 km² apresentada para o reservatório no NA normal (70,00 m) está correta, como também a área da mancha de inundação prognosticada para a cheia de 50 anos de recorrência com o reservatório assoreado, correspondente a 583 km².

O que deve ser esclarecido é que o valor da área da mancha de inundação prognosticada para cheia de 50 anos de recorrência para o rio Madeira nas condições naturais corresponde a 560 km², obtido sobre o mesmo desenho usado pelo IBAMA. Isto mostra claramente que as inundações com ou sem o reservatório são da mesma ordem de grandeza.

Para o AHE Jirau essas cifras são: área do reservatório no NA normal (90,00 m) 258 km², área da mancha de inundação prognosticada para a cheia de 50 anos de recorrência com o reservatório assoreado, 535 km² e área da mancha de inundação prognosticada para cheia de 50 anos de recorrência para o rio Madeira nas condições naturais, 517 km².

A tabela a seguir reúne os valores dessas áreas.

AHE	Área do Reservatório NA normal (km ²)	Área da Mancha de Inundação da Cheia de 50 anos de recorrência (km ²)		
		Condições Naturais	c/ reservatório s/ assoreamento	c/ reservatório c/ assoreamento
Santo Antônio	271	560	580	583
Jirau	258	517	525	535

Desta tabela depreende-se que a área da mancha de inundação para a cheia de 50 anos com o reservatório, assoreado ou não, é ligeiramente superior (cerca de 4%) a que

ocorreria em condições naturais. Em sua maior parte estes acréscimos de área localizam-se próximos às barragens e englobam regiões já inundadas pelo reservatório em seu NA normal.

Para as características dos reservatórios do rio Madeira, é um erro fazer comparações entre a área da mancha de inundação provocada por cheias com a área do reservatório em seu NA normal.

É de ressaltar que os reservatórios a serem formados com os AHE de Santo Antônio e Jirau são muito pequenos em relação às vazões afluentes do rio Madeira, o que determina: tempos de residências muito pequenos, em média 1,34 e 1,32 dias respectivamente para AHE Santo Antônio e Jirau e velocidades próprias de um rio em situação natural, mesmo no período de estiagem.

I.2 - INFORMAÇÃO TÉCNICA Nº. 17/2007

I.2.1 – Considerações Gerais

O tema de sedimentos, sua dinâmica, características e efeitos previstos com a construção dos empreendimentos dos AHES de Jirau e de Santo Antonio no Rio Madeira foi objeto de discussão e avaliação de consultores e especialistas reunidos no Ministério do Meio Ambiente na data de 28/03/2007. Estiveram nesta reunião especialistas brasileiros e estrangeiros de notório saber no tema que indicaram suas recomendações, conclusões e firmaram o entendimento em Nota Técnica específica que consta do processo de licenciamento no IBAMA.

No dia 3 de abril de 2007 foi encaminhada ao IBAMA a versão em inglês do relatório do consultor Sultan Alan. O relatório traduzido foi encaminhado no dia 23 de abril de 2007. O conjunto de Notas Técnicas assinadas pelos especialistas brasileiros e estrangeiros foi protocolado em 24 de abril de 2007.

São os seguintes os especialistas de notório saber:

- José Galizia Tundisi – Professor da USP – Membro da Academia Brasileira de Ciências
- Professor Carlos Morelli Tucci – Professor do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS
- Dr. Sultan Alam – especialista de renome internacional no tema de sedimentos, consultor do Banco Mundial e convidado pelo MME para analisar o tema aplicado aos projetos do Rio Madeira.

- Engenheiro Newton Carvalho – Professor Honoris Causa da Universidade Federal do Mato Grosso e especialista brasileiro de notório saber no tema de sedimentologia.

Todos os 4 especialistas tiveram oportunidade prévia de conhecer as partes do EIA e suas complementações apresentadas até Julho de 2006 relativas aos estudos de sedimentos. O Dr. Sultan Alam fez ainda visita de reconhecimento ao local proposto para o futuro barramento e reservatório de Santo Antonio.

Portanto, a primeira parte da Informação Técnica do IBAMA que recomenda a contratação de especialista de notório saber já foi realizada e os trabalhos apresentados.

Na sequência são apresentadas, na cor azul, respostas a todas as questões apresentadas na Informação Técnica do IBAMA e comentários a citações.

I.2.2 – Quesitos Específicos

Os quesitos do tema de sedimentos foram divididos nos seguintes 4 sub-temas:

- Montante dos AHEs
- Área dos Reservatórios
- Jusante dos AHEs
- Alternativas Tecnológicas e Locacionais

I.2.2.1 – Montante dos AHEs

São 5 as perguntas relativas aos trechos de montante, ou seja, no rio Madeira e seus formadores acima do reservatório de Jirau, especialmente fora do território brasileiros.

A maior parte desses quesitos foi objeto de discussão entre os especialistas de notório saber. Parte das respostas já se encontra na Nota Técnica assinada pelos especialistas e protocolada no IBAMA pelo Ministério de Minas e Energia.

Vale a pena repetir:

1. *Qual a importância de considerar nos estudos das hidroelétricas a bacia hidrográfica como um todo, e especialmente as unidades morfoestruturais que mais produzem e retêm sedimentos, Andes e planície de montante (Llanos)?*

Os especialistas de notório saber foram claros ao afirmar que para a fase de viabilidade dos estudos, o uso de dados colhidos na estação fluviométrica de Abunã retrata a síntese de todos os processos fluviais e geomorfológicos fora do território brasileiro que impactam a quantidade, tipos de sedimentos e suas características.

A resposta está na Nota Técnica do MME – **Não é necessário considerar para a atual fase de estudos a bacia hidrográfica como um todo, especialmente as**

unidades fora do território brasileiro, já que há dados consistentes de 30 anos colhidos na Estação de Abunã.

2. *Em que sentido a avaliação da bacia hidrográfica como um todo poderia agregar informações relevantes ao diagnóstico do EIA, podendo afetar a decisão sobre a viabilidade ambiental dos AHEs Santo Antônio e Jirau?*

A pergunta é uma variante da anterior. **Para o diagnóstico do EIA quanto a sedimentos, tema desta Informação Técnica, não é necessário avaliar a bacia hidrográfica como um todo**, ponto de consenso entre os especialistas e **confirmado na Nota Técnica protocolada pelo MME.**

3. *A área de influência dos AHEs se caracteriza somente sobre o efeito do projeto sobre a bacia ou é importante também identificar a influência da bacia sobre o projeto?*

Dois pontos são importantes para destacar: **(1) o próprio Termo de Referência do IBAMA limitou a área de estudos ao território brasileiro. Este foi o marco inicial para o EIA; (2) a influência da bacia é considerada, pois tanto as vazões quanto as cargas de sedimentos medidas em Abunã são um resultado dos processos da bacia como um todo. Novamente, este ponto foi corroborado pelos especialistas de notório saber.**

4. *Qual a importância de conhecer, nas áreas de montante dos AHEs, a hidrometeorologia, fenômenos associados como La Nina e sedimentologia para o planejamento dos empreendimentos?*

A pergunta já foi praticamente respondida acima. O tema de La Niña surgiu no Parecer Técnico do IBAMA de 21/03/2007. **Os efeitos de fenômenos climatológicos de ocorrência cíclica, como La Niña ou o El Niño, estão refletidos na série histórica de observações hidrológicas e portanto estão considerados no projeto. Assim sempre se fez para todos os empreendimentos hidrelétricos no Brasil.** Para o tema de sedimentos na bacia do Madeira estes efeitos estão retratados nos dados de medições de fluviometria e sedimentologia.

5. *Quais impactos podem ser causados nos e pelos AHEs propostos na ocorrência de elevadas chuvas instantâneas, de rápido crescimento do nível d'água, onde a relação (Transporte de sedimentos / Vazão) pode ser totalmente alterada e exponencialmente aumentada? Quais medidas mitigadoras preventivas podem ser adotadas?*

A pergunta é nova e não foi anteriormente apresentada pelo IBAMA. Mas a questão está tratada nos estudos e foi objeto da discussão na reunião dos especialistas no MMA em 28/03/07. Não há possibilidade de efeito significativo de chuvas instantâneas causarem rápido crescimento do nível d'água no Madeira. Este ponto está também tratado na Nota Técnica apresentada pelo MME com a assinatura dos

especialistas. Esta Nota Técnica afirma textualmente o seguinte, que responde a pergunta acima e vai além:

As variações de vazões em Porto Velho são, de forma geral, graduais devido às dimensões da bacia e pelo fato de que não há, a montante, nenhum reservatório de acumulação construído. As vazões aumentam a partir de valores mínimos anuais de até 2.500 m³/s, em setembro, até 48.750 m³/s ao final de março, início de abril. Embora estas variações (aumentos/decréscimos) não sejam uniformes, pode-se afirmar que em 80 % do tempo a variação é inferior a 500 m³/s/dia. Como o reservatório será operado a fio d'água, as variações de vazão a jusante de Porto Velho ocorrerão de forma muito próxima da atual, sob condições naturais.

Para vazões afluentes iguais ou inferiores à capacidade de engolimento das turbinas, 24.684 m³/s (44 x 561 m³/s), toda a vazão defluente passa pelas turbinas. O que exceder passará pelo vertedouro, sempre mantendo a mesma variabilidade que ocorre nas condições atuais.

De igual forma, não deverão ocorrer picos de concentrações significativos de sedimentos a jusante, pois o transporte de sedimentos ocorrerá de forma contínua, ao longo de todo o ano, pelas turbinas, e no período de cheias pelo vertedouro.

A parcela do sedimento com granulometria mais grossa, entre 1 e 2 mm, será mobilizada com o aumento de vazões, devido à maior turbulência do escoamento no período de subida do hidrograma, passando inclusive pelas turbinas (com a remoção do remanscente da ensecadeira submersa). Por esta razão, as concentrações de sedimentos a jusante da usina serão muito semelhantes às atuais. Os sedimentos transportados por arraste, em sua maior parte durante o período de cheias, também passarão pelo vertedouro.

1.2.2.2 – Área dos Reservatórios

Neste sub-tema há várias perguntas que tratam de critérios sobre áreas de abrangência de uma hidrelétrica. De forma geral, é necessário dizer que **os critérios aplicados às usinas do Madeira são os mesmos usados para todos os empreendimentos do setor elétrico.** Por outro lado, **o IBAMA não solicitou em nenhum momento que se aplicasse um critério diferente ou questionou o critério aplicado. Portanto, ao final do processo de análise do EIA, 2 anos após ter sido o mesmo entregue ao IBAMA, não cabe rever critérios para aplicar ao caso do Madeira.**

As questões específicas foram:

- 6. Qual é a área de abrangência da inundação de uma hidroelétrica?*

O critério aplicado a todas as usinas do setor elétrico, licenciadas pelo IBAMA ou pelos órgãos estaduais, é o da área de inundação demarcada pela cota do nível d'água máximo normal. **Assim foi feito para as usinas do Madeira**. As cotas respectivas em Jirau e Santo Antonio são de 90 e 70 metros acima do nível do mar e elas são a base para a área de inundação.

6.1. *Em relação aos aspectos físicos, quais critérios técnicos podem ser utilizados como subsídio a determinação da extensão (longitudinal) de um reservatório bem como determinação do trecho do rio a montante de uma hidrelétrica que é afetado ou impactado por ela?*

O critério brasileiro é o da área alagada (ver resposta acima) e, no trecho de montante, a área de remanso. No caso do Madeira este aspecto está esclarecido no item que trata da aplicação da curva guia do reservatório. **Ou seja, está no EIA**. Ademais, a **Resolução da ANA de no. 555 de 19/12/2006 estabelece a condição para não ocorrer remanso além do reservatório de Jirau, especialmente fora do território brasileiro**.

O consultor do IBAMA e especialista Prof. Carlos Tucci afirma em sua apresentação à Câmara dos Deputados em 03/05/2007 que: “para o cenário atual o uso da curva-guia durante a operação evitaria a influência sobre o trecho da Bolívia” e “é possível gerenciar o efeito fora do Brasil a montante”.

Assim, as informações do EIA e a Resolução da ANA demonstram que o projeto Madeira segue as regras aplicadas aos projetos no Brasil e inclui as medidas para conter o reservatório em território brasileiro, conforme atestam os especialistas de notório saber.

A discussão de novos critérios deverá ser encaminhada aos órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira.

6.2. *Solicita-se tecer considerações embasadas tecnicamente sobre as seguintes propostas para determinação da extensão longitudinal de reservatórios e trecho do rio afetado por uma usina hidrelétrica:*

6.2.1. *Relacionar, para um mesmo período de estiagem, como por exemplo a vazão mínima média anual, o perfil da linha d'água natural com o perfil da linha d'água com barragem na sua cota máxima normal de operação, sendo este o ponto de extensão do reservatório.*

6.2.2. *Relacionar a cota máxima normal de operação de uma hidrelétrica com o perfil do leito do rio até que os valores se igualem, sendo este o ponto do rio diretamente afetado pela usina.*

Estas questões deverão ser encaminhadas para os órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira.

6.3. *Quais critérios técnicos podem ser utilizados como subsídio a determinação da abrangência da inundação, ou seja, qual a área diretamente afetada (ADA) transversalmente levando-se em consideração toda a extensão do reservatório?*

A regra aplicada a todos os reservatórios no Brasil é o da área de inundação demarcada pelo nível de água na barragem em sua cota máxima normal. Se houver necessidade, proteções específicas poderão ser incorporadas para proteção de estruturas, instalações, benfeitorias. A área de influência direta leva em consideração uma faixa adicional de 100 metros para preservação permanente. **Assim foi feito com os reservatórios do Madeira.**

Similar ao já esclarecido, novos critérios deverão ser decididos pelos órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira.

6.4. *Elaborar e apresentar uma proposta, na forma de roteiro, contendo os procedimentos necessários para a identificação da área de abrangência da inundação.*

Esta solicitação deverá ser encaminhada às áreas competentes de acordo com a legislação brasileira.

7. *Quais critérios técnicos podem ser utilizados como subsídio a determinação da extensão do trecho do rio a jusante de uma hidrelétrica que é afetado ou impactado por ela?*

A resposta a este item está no EIA que considerou como base a condição de que o regime fluvial a jusante de Santo Antonio não será alterado e que a redução da carga de sedimentos pela retenção no reservatório é decrescente e limitada. Por isso, a previsão de impactos é de que serão muito limitados, se de todo ocorrerem. Foi feita uma avaliação qualitativa dos impactos potenciais até a foz do rio Jamari, próximo a Vila São Carlos, a cerca de 80 km a jusante de Santo Antonio, e previsto um programa de monitoramento para avaliar se as previsões serão confirmadas.

É importante destacar ainda que estes critérios ainda não estão definidos no Brasil e que tal solicitação deverá ser encaminhada aos órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira. Não foram solicitados ao consórcio pelo IBAMA.

Análise e questionamentos específicos aos AHEs Jirau e Santo Antônio:

Na identificação e computo das áreas diretamente afetadas pelos AHEs Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira, não foram considerados os efeitos de remanso e respectivos

perfis da linha d'água em diferentes vazões, identificados no próprio Estudo de Impacto Ambiental.

As áreas diretamente afetadas pelos AHEs Santo Antonio e Jirau foram definidas conforme se faz para os empreendimentos do setor elétrico licenciados pelo IBAMA e órgãos estaduais – a área de inundação acrescida da faixa de 100 metros para preservação permanente. **A aplicação dos perfis da linha d'água e de estudos de remanso para definição das áreas diretamente afetadas são realizadas usualmente no Setor Elétrico na fase posterior a LP. Não foi solicitada ao consórcio em nenhum momento pelo IBAMA.**

Os rios afluentes ao rio Madeira, em especial os rios Jaci-Paraná e Mutum-Paraná cujas margens se encontram duas principais ocupações urbanas atingidas pelo reservatório, não foram consideradas na análise do remanso do EIA.

A afirmativa requer esclarecimento. O estudo de remanso de cheias do Madeira considerou os efeitos sobre as calhas dos rios Jaci – Paraná, Mutum – Paraná, assim como de outros afluentes no trecho dos reservatórios. O tema de remanso e perfis de linha d'água está descrito acima, mas as populações de Jaci-Paraná (da parte do distrito na região do Rio Jaci Paraná) e de Mutum-Paraná (de toda a parte baixa de Mutum Paraná) foram consideradas nas áreas de afetação dos reservatórios e serão remanejadas. O projeto prevê esse remanejamento.

Portanto, é preciso definir a abrangência da inundação de ambos os reservatórios levando-se em conta os efeitos causados pelo barramento e seu respectivo remanso onde se pergunta:

Os efeitos de inundação foram considerados. Os estudos de remanso estão previstos para a fase posterior à LP, como usualmente se faz no Setor Elétrico.

8. Qual perfil da linha d'água deve ser considerado na identificação da abrangência da inundação? Tecer comentários com embasamento técnico a respeito do tema considerando vazões como máxima cheia média anual, Tempo de Recorrência de 10, 25, 50 e 100 anos, bem como demais considerações pertinentes.

O critério para abrangência da inundação aplicado ao Madeira é o que se aplica a todos os empreendimentos do setor hidrelétrico, como já explicado.

A proposta de novo critério para definir abrangência da inundação deverá ser encaminhada aos órgãos competentes de acordo com a legislação brasileira..

Conforme prognósticos apresentados no Estudo de Impacto Ambiental, existe uma expectativa de rápido e significativo assoreamento dos reservatórios, o que pode intensificar os efeitos de remanso, com diversas conseqüências como a sobre-elevação dos perfis de linha d'água.

O tema de sobre-elevação de perfis de linha d'água a partir de indicação dos modelos de simulação fluvial do assoreamento foi amplamente discutido na reunião dos especialistas, apresentado na Nota Técnica assinada pelos mesmos especialistas e ainda nos documentos do EIA protocolado em maio de 2005 e novamente nas complementações de julho de 2006, todas apresentadas ao IBAMA.

O EIA demonstra que a expectativa de assoreamento parte de uma premissa conservadora e a Nota Técnica mais recente sobre sedimentos conclui que de fato há uma superestimativa na previsão de assoreamento. **Este é um dos principais pontos indicados na Nota dos especialistas que trataram do tema de sedimentos.** Não se justifica voltar com o mesmo assunto a outros especialistas.

Conforme exposto no EIA, no Parecer Técnico nº 014/2007 e a partir das informações, integrantes do processo formal de licenciamento, concernentes à dinâmica sedimentológica que é inerente ao rio Madeira, faz-se necessário maiores esclarecimentos sobre o comportamento desse fenômeno e conseqüentemente seus reflexos sobre as áreas que poderão sofrer interferências, bem como a magnitude dos impactos.

Assim, a garantia do conhecimento com mínima segurança das áreas que os reservatórios tanto de Santo Antônio como de Jirau irão ocupar, seja em condições naturais seja com influência do assoreamento e sua distribuição, bem como a modificação da dinâmica sedimentológica, são necessários para a identificação, prevenção e mitigação dos possíveis impactos.

Nos Estudos de Vida Útil dos AHEs ou na Modelagem de Hidráulica Fluvial, como repetidamente frisado no EIA pelos projetistas, os resultados devem ser considerados como tendências, onde ainda há significativos graus de incerteza. Isso mostra que os estudos não estão consolidados. Nesse sentido, a equipe remete os seguintes questionamentos:

9. ***Qual é a área de inundação do AHE Jirau, bem como a extensão do remanso, levando em consideração a influência do assoreamento?***

Este é um dos temas esclarecidos no EIA, nas complementações de julho de 2006 e posteriormente objeto de discussão e apresentação da Nota Técnica dos especialistas.

O EIA de fato indica que os resultados da Modelagem de Hidráulica Fluvial na previsão da distribuição de sedimentos devem ser vistos como tendências, pois não podem ser ainda validados com a base de dados existente. Mas isto não se aplica à previsão de vida útil dos reservatórios. Há consistência e convergência na previsão do EIA e dos especialistas. Além disso, os resultados de previsão de assoreamento partem de premissas conservadoras que tendem a superestimar os efeitos e os impactos.

A resposta à questão 9 acima está na Nota Técnica dos especialistas que prevê assoreamento praticamente nulo. Esta previsão aliada à regra operativa, como já descrito, corrobora o valor da área de inundação de Jirau apresentada no EIA.

10. *Em que sentido a regra de operação variável do reservatório de Jirau, proposta no EIA, atende as preocupações de mitigação dos impactos ambientais.*

Tanto a Nota Técnica dos especialistas como a apresentação do Professor Tucci na recente audiência pública na Câmara dos Deputados (03/05/2007) atestam a adequação da regra operativa como ferramenta de controle para conter os impactos em território brasileiro.

11. *Com a construção do AHE Jirau haverá impacto a montante da seção “42.3 - Rio Abunã”? Caso haja, quais impactos?*

A resposta está no item 10 acima confirmada pela Resolução 555 da ANA que condiciona a manutenção de condições naturais de fluxo a montante de Abunã.

12. *Levando em consideração o assoreamento indicado no EIA, para o “Trecho I” dos estudos sedimentológicos e Estação Fluviométrica de Abunã (fronteira com a Bolívia), haverá impactos a na Bolívia e na Vila de Abunã?*

A resposta está na Nota Técnica dos especialistas que parte da observação da estabilidade da curva chave do Rio Madeira em Abunã. A condição natural tem obrigatoriamente de ser mantida.

13. *Quais são os efeitos de remanso esperados no trecho do rio Madeira a montante do rio Abunã, no próprio rio Abunã e na sua foz com o rio Madeira, considerando vazões pequenas e médias (mínima média anual e mínimas médias mensais) e altas (máxima média anual e TR 10, 25, 50 e 100 anos)?*

De forma idêntica à questão anterior, a resposta já está clara na Nota Técnica dos especialistas. O EIA já indicava que não haveria diferenças para as altas vazões. A questão das diferenças para as baixas vazões foi equacionada pela adoção da curva guia em Jirau.

14. *Qual é a área de inundação para o AHE Santo Antônio, bem como a extensão do remanso, levando em consideração a influência do assoreamento?*

A área de inundação para o AHE Santo Antonio não será afetada pelo assoreamento, ponto idêntico ao da questão 9 acima e tratado na Nota Técnica dos especialistas sobre o tema de sedimentos.

15. *No caso da implantação do AHE Santo Antônio anteceder a do AHE Jirau, o remanso de Santo Antônio e seu agravamento devido ao assoreamento poderiam afetar a economicidade e vida útil do AHE Jirau?*

O assunto de economicidade é um tema de responsabilidade da MME e ANEEL, a partir dos estudos realizados pelo Consórcio mas o tema de assoreamento foi, como indicado repetidamente, tratado na Nota Técnica, assim como o da vida útil. **Esta é uma questão já respondida várias vezes.**

I.2.2.3 – Jusante dos AHEs

As perguntas e afirmativas sobre a área de jusante são:

Considerações Gerais:

.....

No entanto, o EIA não contemplou em nenhum momento um diagnóstico da situação inicialmente prevista da operação do reservatório ou vislumbrou a possível ocorrência de impactos que podem advir dessa operação.

Ao contrário desta afirmativa, o EIA e as complementações apresentadas no Tomo E trataram de aspectos da operação dos reservatórios, especialmente da operação de comportas e a possibilidade de formação de bancos de sedimentos a jusante dos barramentos.

16. *Quais os impactos na qualidade da água, morfologia da calha, portos, margens, praias e ilhas do rio podem ser esperados a jusante do AHE Santo Antônio decorrentes da operação prevista?*

A resposta deste item decorre das conclusões apresentadas na Nota Técnica dos especialistas sobre sedimentos que prevêem retenção mínima nos reservatórios e portanto impactos também mínimos ou inexistentes a jusante do AHE Santo Antonio. **O tema já foi tratado pelos especialistas.**

17. *Quais os efeitos decorrentes da variação do fluxo sazonal (vazões baixas e vazões altas) e interanual (provocados pela retenção dos sedimentos até a estabilização do fluxo, conforme previsto no EIA) dos sedimentos e seus impactos no trecho a jusante, com a implantação do AHE Santo Antônio e do AHE Jirau?*

Considerando a situação de retenção mínima já descrita na Nota Técnica apresentada ao IBAMA, não haverá efeitos causados por variações de fluxo sazonais sobre os sedimentos retidos.

18. *Existe retenção zero na Curva de Brune?*

Sim. A retenção zero ocorre na situação de equilíbrio sedimentométrico do reservatório alcançada rapidamente após a entrada de operação da usina em função dos baixos tempos de residência e dos tipos de sedimentos finos do rio Madeira.

19. *A Curva de Brune é representativa para o rio Madeira e os AHEs Jirau e Santo Antônio?*

Como descrito no EIA, a curva de Brune foi estabelecida a partir de levantamentos sedimentométricos de vários reservatórios nos EUA inclusive reservatórios com baixos tempos de residência, como no caso de Jirau e Santo Antonio. Tem sido utilizada em diversos aproveitamentos no Brasil e no exterior. A exemplo de outros estudos realizados no Brasil está prevista a execução de monitoramentos específico para acompanhamento do assoreamento futuro.

20. *Segundo o U.S.Bureau of Reclamation (1977) apud Mahmood (1987) o método de Brune não deve ser utilizado para períodos inferiores a 10 anos, portanto é adequada a sua utilização em períodos anuais?*

A previsão de retenção pela curva de Brune foi estendida para um período de 100 anos. O uso de intervalos anuais ou decenais para se chegar às previsões para um maior período não afeta os resultados.

21. *Existirá uma estabilização na retenção dos sedimentos conforme colocado no EIA?*

Este tema foi discutido pelos especialistas e consta da Nota Técnica que informa adicionalmente sobre o efeito desta estabilização sobre a vida útil dos reservatórios.

22. *Existem elementos técnicos que embasem a hipótese de retenção nula de sedimento nos reservatórios de Santo Antônio e Jirau?*

A retenção nula ocorre a partir de uma situação de equilíbrio entre a afluência e a descarga de sedimentos do reservatório. No EIA esta situação foi demonstrada a partir da aplicação da curva de Brune. Esta condição foi também demonstrada pelo especialista Dr. Sultan Alam em sua análise da capacidade de transporte do rio Madeira.

23. *Os reservatórios operarão na condição de comportas fechadas em média 8 a 9 meses por ano, portanto nesta condição quais impactos podem ser esperados no reservatório e a jusante?*

No período de vazões inferiores a capacidade de engolimento das turbinas, período de menor concentração, os sedimentos serão descarregados para jusante exclusivamente pelas Turbinas. Os impactos esperados no reservatório e a jusante nesta condição foram avaliados de forma qualitativa no EIA.

24. *Os reservatórios operarão na condição de comportas abertas em média 3 a 4 meses por ano, portanto nesta condição quais impactos podem ser esperados no reservatório e a jusante?*

Os impactos esperados no reservatório após a implantação da barragem, na condição de vertedouro em operação, período de cheias, foram detalhados no EIA. Consta também deste relatório uma análise detalhada das velocidades e da capacidade de transporte na região junto a barragem. Os impactos a jusante foram avaliados de forma qualitativa.

I.2.2.4 – Alternativas Tecnológicas e Locacionais

25. *O consultor faz análise expedita do potencial de transporte de sedimentos relacionado com a velocidade da água em diversas seções utilizando metodologia diferente das utilizadas no EIA e no Brasil. Qual o embasamento técnico e bibliografia que fundamenta o método de cálculo?*

A metodologia utilizada pelo Consultor Sultan Alam está baseada no gráfico da distribuição da carga de sedimento suspenso desenvolvido por Hunter Rouse (ref: Sedimentation Engineering-ASCE -Manuals and Reports on Engineering Practice nº 54) tendo sido usada para estudar o transporte de areia ao longo do reservatório a fio d'água, conforme descreve o autor em seu Relatório "Projeto Rio Madeira Estudos Hidráulicos e de Sedimentos Relatório Preliminar (Tradução)" de Janeiro de 2007, do Consultor Sultan Alam encaminhado ao IBAMA em 24 de abril de 2007

26. *Qual a confiabilidade da metodologia?*

A metodologia é indicada no Sedimentation Engineering - Manuals and Reports on Engineering Practice nº 54, da Sociedade Americana de Engenharia Civil (ASCE), juntamente com outras como a de Brune. Segundo o Consultor Alam a metodologia é mais indicada para reservatórios a fio d'água tais como os das usinas do Rio Madeira.

27. *Este método pode ser utilizado isoladamente ou deve ser utilizado em conjunto com outros?*

Pode. Entretanto a utilização de mais de uma metodologia é sempre uma boa prática por dar mais segurança às análises

28. *Os cálculos de transporte e deposição de sedimentos estão inclusos nos modelos computacionais de hidráulica fluvial?*

Sim. No EIA é apresentada a descrição detalhada do modelo utilizado nas simulações: HEC6– Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs. É um modelo numérico unidimensional de fundo móvel, destinado à simulação do escoamento em canais e à previsão de mudanças geométricas nas seções fluviais e nos perfis de linha de água, resultantes da erosão e do assoreamento, através de longos períodos de tempo. O HEC-6 é capaz de simular uma rede de canais e cursos de água afluentes, analisando efeitos de dragagem, implantação de diques, depósitos em reservatórios ou quaisquer outras modificações no canal fluvial, empregando diversos métodos para o cálculo do transporte de sedimentos.

Esses modelos exigem uma grande quantidade de informações, tais como seções transversais, definição dos controles rígidos do leito, granulometria do material do leito, entre outras, que se constituem na grande dificuldade de aplicação dos mesmos.

29. *A análise foi realizada para o arranjo construtivo do AHE de Santo Antônio apresentado no EIA ou para o arranjo proposto pelo consultor?*

A análise feita pelo Consultor Alam foi feita para o reservatório de Santo Antônio independentemente do arranjo de suas estruturas, por que trata apenas do trânsito dos sedimentos ao longo do reservatório e não de sua passagem pelas estruturas. Sobre esse particular o Consultor recomenda estudos em modelo hidráulico reduzido na fase de projeto básico, quando o arranjo das estruturas será otimizado.

30. Qual a cota da tomada d'água considerada na análise elaborada para o MME?

A elevação indicada nos Estudos de Viabilidade, ou seja: elevação da soleira da tomada d'água na cota 25,20 m e o limite superior da boca da tomada d'água na cota 54,90 m.

31. Os sedimentos são um risco a economicidade dos AHEs propostos no EIA? E no proposto pelo consultor do MME?

O EIA analisa os aproveitamentos propostos nos Estudos de Viabilidade. Estes estudos, já aprovados pela ANEEL, demonstraram a viabilidade técnica e econômica dos empreendimentos. Especificamente quanto aos sedimentos não há qualquer risco a economicidade dos mesmos. Como já mencionado anteriormente, na fase posterior de projeto os arranjos serão otimizados em modelo reduzido.

32. A tomada d'água em cotas próximas ao leito do rio poderia ter uma boa relação custo x benefício uma vez que possibilitaria a passagem de sedimentos mais próxima ao natural?

As cotas de soleira das tomadas d'água, em Jirau e Santo Antônio, são muito próximas ou mesmo inferiores as cotas do leito natural do rio Madeira nesses locais. Portanto não causam qualquer impedimento a passagem de sedimentos para jusante.

33. Discutir a abordagem de prognóstico da dinâmica dos sedimentos no reservatório desenvolvida pelos autores do EIA vis-à-vis o estudo do consultor Dr. Sultan Alan. Qual a abordagem mais adequada para o tipo de análise necessária em um estudo de viabilidade e de impacto ambiental para os AHEs Santo Antônio e Jirau?

No EIA foram usados duas metodologias: a primeira baseada na Curva de Brune para avaliação da vida útil do aproveitamento e a segunda correspondente a modelagem do transporte de sedimentos com a finalidade de identificar possíveis áreas de deposição ou de erosão, a montante, nos reservatórios e a jusante destes. Estas metodologias produzem resultados diferentes e são complementares.e adequadas para análise dos aproveitamentos em questão.

A metodologia utilizada pelo consultor Dr Sultan Alan, descrita anteriormente (questão 25) constitui-se em uma alternativa as anteriores.

34. Com relação à dinâmica dos sedimentos no reservatório, discutir o resultado das diferentes hipóteses assumidas entre o EIA e as dos estudos do consultor Dr. Sultan Alan particularmente quanto a intensidade e distribuição da deposição dos sedimentos bem como sua influência sobre a dinâmica dos reservatórios de Santo Antônio e Jirau.

Consta do EIA uma análise comparativa bastante detalhada dos resultados obtidos pela aplicação das duas metodologias – curva de Brune e a modelagem fluvial. Os resultados obtidos pelos dois métodos, embora numericamente diferentes, foram considerados consistentes e conservadores. Além disto considerou-se que o grau de aprofundamento desses estudos, muito acima da maioria dos estudos hidrosedimentológicos desenvolvidos para projetos de usinas hidrelétricas no Brasil, foi satisfatório para a fase atual de Estudos de Viabilidade.

Os resultados obtidos pelo Dr. Sultan Alan correspondem a uma visão menos conservadora e corrobora as análises elaborados no EIA que apontam para uma vida útil ilimitada.

35. O arranjo proposto para os AHEs Santo Antônio e Jirau, por ter tomada d'água elevada, assemelha-se à figura (1) reproduzida adiante?

A figura em questão, tirada do livro do Consultor Newton de Oliveira Carvalho, se refere a uma usina do tipo de Itaipu, por exemplo, com grande reservatório, alta queda, tomada d'água elevada e grande volume morto. As usinas do rio Madeira, ao contrário, tem pequenos reservatórios, baixas quedas, tomadas d'água com soleiras junto ao leito do rio e volumes mortos inexistentes.

36. Quais impactos identificados na figura (1) podem ser esperados para os AHEs Santo Antônio e Jirau?

Conforme Relatório “Projeto Rio Madeira Estudos Hidráulicos e de Sedimentos Relatório Preliminar (Tradução)” de Janeiro de 2007, do Consultor Sultan Alam, encaminhado ao IBAMA em 24 de abril de 2007, o único impacto, entre os apontados na figura, poderá ser o acúmulo de areias grossas e cascalhos finos, num processo muito lento e intermitente, limitado a áreas específicas.

As áreas específicas citadas acima refere-se as depressões mais profundas do leito.

37. Podem ser esperados depósitos de remanso?

Não. Esse assunto foi amplamente discutido nas reuniões de março de 2007 e está esclarecido na Nota Técnica “Sedimentos, Modelos e Níveis d’Água” de 10 de abril de 2007.

38. Realizar comentário e sugestão sobre as possíveis soluções de engenharia que podem ou devem ser estudadas, visando o controle e gestão preventiva do assoreamento e da vida útil dos aproveitamentos.

Conforme indicado nos Estudos de Viabilidade da AHE Jirau e Santo Antonio, bem como no Relatório “Projeto Rio Madeira Estudos Hidráulicos e de Sedimentos Relatório Preliminar (Tradução)” de Janeiro de 2007, do Consultor Sultan Alam, encaminhado ao IBAMA em 24 de abril de 2007 e Nota Técnica “Sedimentos, Modelos e Níveis d’Água” de 10 de abril de 2007, essas soluções deverão ser desenvolvidas na fase de projeto básico, em modelos hidráulicos reduzidos.

39. Realizar comentário e sugestão sobre possíveis alternativas de gestão dos sedimentos para os empreendimentos propostos no EIA (sediment routing)?

Da mesma forma, essa etapa diz respeito à fase de projeto básico e executivo.

40. Solicita-se, que seja realizada por parte do consultor contratado, uma completa análise técnica sobre os Estudos Hidrossedimentológicos dos Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau inserido no Estudo de Impacto Ambiental.

O Consultor Sultan Alam foi contratado pelo MME para analisar as questões relacionadas com o transporte de sedimentos no reservatório. Dessas análises resultaram, entre outras, as seguintes afirmações, incluídas na Nota Técnica “Sedimentos, Modelos e Níveis d’Água” de 10 de abril de 2007:

- Sedimentos não são problemas em barramentos de baixa queda com reservatórios a fio d’água. Minha experiência permite afirmar que em tais condições, com barramentos inferiores a 20 metros de queda d’água, não há problemas de sedimentos. O histórico de 22 barragens no rio Rhone na França e

no Mississipi confirma esta afirmativa. Sedimentos em barragens a fio d'água podem ser problemas quando as alturas são bem superiores a 20 metros;

- O Rio Madeira no trecho entre Abunã e Santo Antonio tem capacidade para transportar toda a carga de sedimentos anual que recebe de montante. Esta capacidade será pouco afetada com a construção dos reservatórios e deverá manter o transporte total dos sedimentos após a construção dos dois barramentos;
- Sob o ponto de vista de concepção de engenharia hidráulica e adequação à situação do rio com alta carga de sedimentos, posso afirmar que os projetos do Rio Madeira estão entre os melhores que conheci. São excelentes projetos.

Tradução do texto enviado pelo Dr. Sultan Alam no dia 10 de maio de 2007.

O padrão de transporte dos sedimentos em um reservatório a fio d'água depende, essencialmente, dos seguintes fatores:

- Distribuição do tamanho do grão do material sedimentar transportado pelo rio nas condições existentes (transportados em suspensão e/ou por arrasto).
- A forma da hidrógrafa média anual de vazão e a velocidade de fluxo correspondente antes e após a criação do reservatório a fio d'água.
- Turbulência e velocidade de cisalhamento produzida pelos padrões de fluxo nas condições existentes e após a criação do reservatório a fio d'água..
- Razão entre a velocidade de queda do grão e a velocidade de cisalhamento do fluxo dentro do reservatório a fio d'água.

No caso do Rio Madeira, durante nossa visita ao sítio, amostras do material do leito foram coletadas em vinte locais diferentes, e todas, exceto uma, indicaram areia muito fina, com diâmetro menor que 0,5 mm. A única amostra com areia grossa e cascalho fino foi coletada na praia de “Zé Paulino”, na volta do rio, no ponto 19. Este material vem do Salto do Teotônio, localizado 15 km a montante do sítio do projeto. Em todas as amostras não houve traços de silte ou argila no material coletado no leito. Na Figura 1 são apresentados os locais em que foram coletadas as amostras.

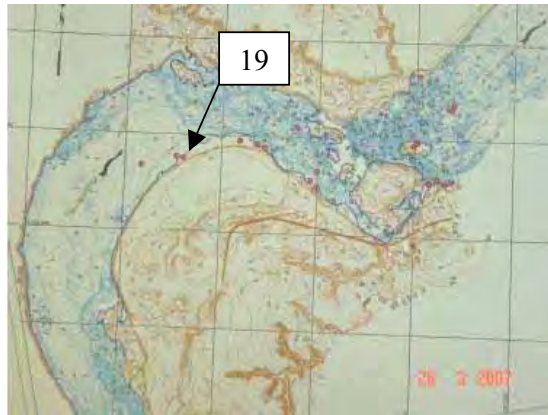
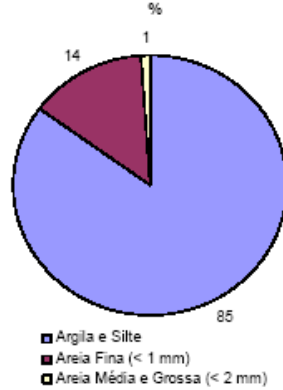


Figura 1: Localização das amostras do material no leito, durante as visitas ao sítio.

A carga sedimentar total do Rio Madeira é composta de:

- Silte e argila – 85%
- Areia fina com diâmetro menor que 1 mm – 14%
- Areia grossa com diâmetro menor que 2 mm – 1%

Composição granulométrica da carga Sedimentar do rio Madeira na região dos AHE Santo Antônio e Jirau



Isto é muito lógico, porque a inclinação do leito do rio a montante de Santo Antônio é quase horizontal devido à presença de afloramentos de rochas e corredeiras. Assim, o gradiente de energia correspondente não é capaz de transportar material sedimentar além daqueles indicados acima.

Nas condições existentes, silte e argila estão sempre em suspensão, e o transporte generalizado de areia é assegurado para vazões acima de 18.000 m³/s. Por esta razão, o procedimento desenvolvido por Hunter Rouse, que permite análise precisa do padrão de transporte de sedimentos em suspensão em reservatório a fio d'água foi considerado o mais correto para este projeto. Ele verifica as condições de transporte existente e, de maneira similar, nossa análise confirmou que a areia transportada em suspensão nas condições existentes continuará assim após a construção do projeto. Haverá variações sazonais das concentrações de sedimentos como observado nas condições existentes.

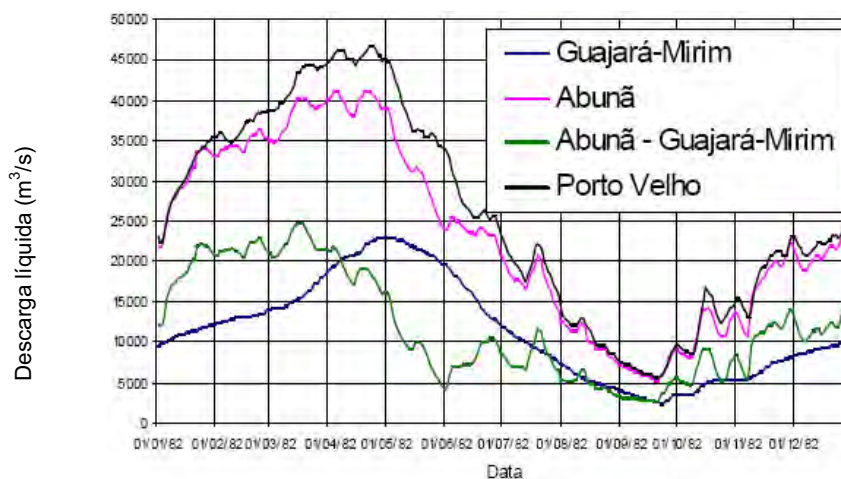


Figura 2: Hidrógrafa típica da vazão anual.

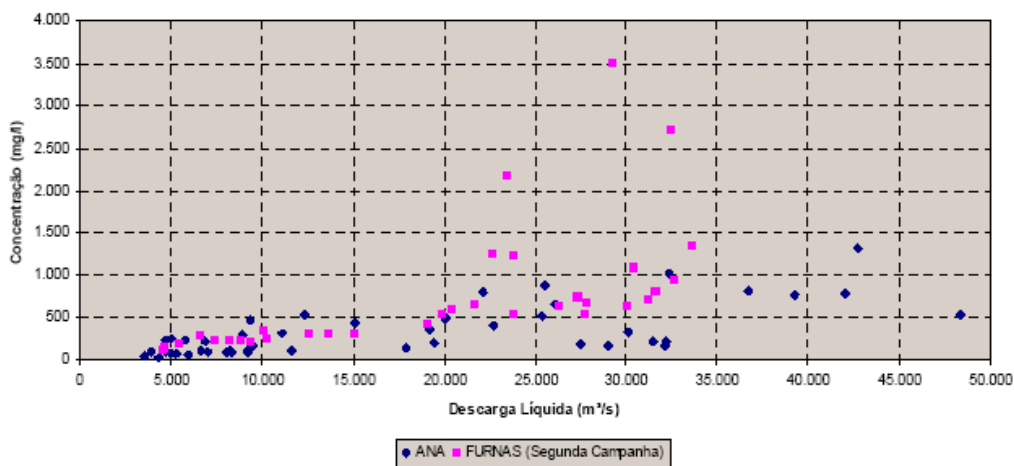


Figura 3: Variação típica anual da concentração de sedimentos em função da vazão.

Nas condições existentes as areias depositadas durante o recuo da cheia são novamente erodidas (re-erodidas) pelo aumento de vazão acima de 20.000 m³/s, e chega ao máximo entre 25.000 e 30.000 m³/s. A concentração máxima pode ser mais do que os 3.500 mg/l medidos, pois as medições são feitas periodicamente, e não continuamente. Quando as vazões continuam a aumentar em torno de 35.000 m³/s a concentração reduz para 1.000 mg/l porque não existe mais areia excedente no fundo do rio. As velocidades de fluxo e a turbulência resultante no reservatório a fio d'água, para vazões acima de 30.000 m³/s e com duração maior que 4 meses por ano, assegurarão a completa limpeza da areia do reservatório a fio d'água. O mesmo tipo de variação no transporte de sedimentos continuará após a construção do projeto. A concentração máxima deve ser maior que aquelas observadas em condições existentes quando a vazão aumentar de 30.000 para 35.000 m³/s, ou seja, durante cerca de 15 dias.

As características da distribuição granulométrica da areia e padrão de transporte no Rio Madeira, em Santo Antônio, são muito similares àquelas do baixo Rio Mississippi, no complexo Old River. Neste local, medidas contínuas da concentração dos sedimentos ao longo de um ano e depois duas amostragens por dia em 27 locais, desde 1991, mostram que a re-erosão anual da areia pode ser muito eficiente. Neste local, 44 milhões de toneladas de sedimentos, dos quais 15% são areia, são transpostos anualmente para o Golfo do México. O projeto hidrelétrico a fio d'água Sidney A. Murray, em operação desde 1991, não tem problemas de abrasão das turbinas¹.

Em Santo Antônio, devido o fato de silte e argila representarem 85% do total de conteúdo de sedimentos e também por estarem constantemente em suspensão não irão contribuir para a sedimentação, tampouco para a criação de depósitos coesivos no reservatório a fio d'água. A re-erosão anual de depósitos de areias limpas e não coesivas, como ocorre na situação atual (vide Figura 4), deve continuar e não contribuirá para a formação de depósitos de areia permanente no reservatório a fio d'água após a construção do projeto.



Figura 4: Banco de areia localizado a jusante do Salto Teotônio, sendo re-erodido no início da cheia do rio, com vazão de 12.000 m³/s, em 16/Dez/2006, composto de areia limpa, sem traços de silte ou argila.

Relatório aprovado por Sultan Alam

Assinatura do autor Sultan Alam

10 de maio de 2007

Le Beausset, França.

Relatório traduzido por John Denys Cadman, consultor do MME.

ⁱ Nota do Tradutor: O projeto das turbinas bulbo da UHE Sidney A. Murray, localizado em um canal lateral do baixo Rio Mississippi, e o projeto das turbinas bulbo da UHE Santo Antônio, localizado no Rio Madeira, são bastante semelhantes. A vazão turbinada por unidade geradora no primeiro é de 562 m³/s e em Santo Antônio é 561 m³/s. O diâmetro do rotor no primeiro é de 8,20 m e em Santo Antônio é 8,15 m. As principais diferenças são que em Sidney A. Murray a queda líquida é de 5,0 m, a potência unitária é de 24,00 MW e são 8 unidades geradoras, enquanto em Santo Antônio a queda líquida é de 13,9 m, a potência unitária é de 71,60 MW e são 44 unidades geradoras.

The sediment transport pattern in the upper pool of a run-of-river project depends essentially on the following factors:

- Particle size distribution of the sediment material transported by the river under existing conditions (in suspension and/or in entrainment).
- Shape of the average annual discharge hydrograph and corresponding flow velocities before and after the creation of the pool.
- Turbulence and shear velocities produced by the flow patterns under existing conditions and after creation of the pool.
- Ratio of the particle fall velocity with respect to the shear velocity of the flow within the pool.

In the case of Rio Madeira during our site visit bed material samples were collected at 20 different locations and all but one indicated very fine sand less than 0.5 mm. The only sample containing coarse sand and fine gravels was at the point bar Ze- Paulino inside the bend at location 19 which were coming from the Teotonia rapids 15 km upstream of the project site. There was no trace of silt and clay in the bed material collected. The Figure 1 shows the sampling locations.

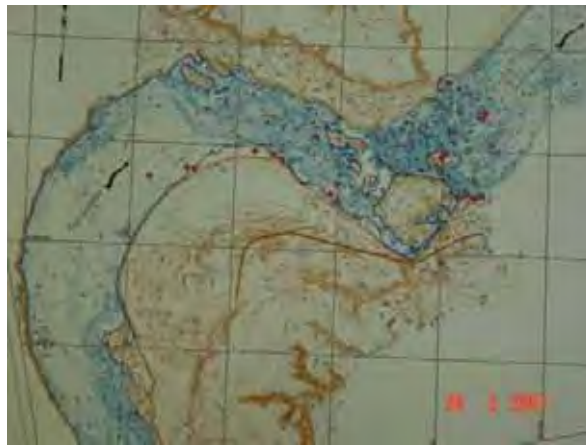
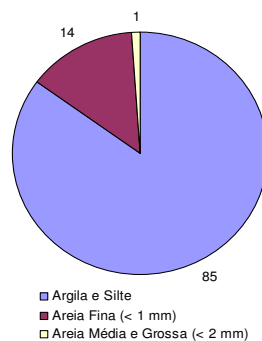


Figure 1 bed material sampling locations during the site visit

The total sediment load of Rio Madeira is composed of:

- silt and clay 85%
- sand less than 1 mm 15% and
- coarse sand smaller than 2 mm only 1%

Composição granulométrica da carga Sedimentar do rio Madeira na região dos AHE Santo Antônio e Jirau



This is very logical because the river bed slope upstream of Santo Antonio is almost horizontal due to the presence of rock outcrops and rapids and the corresponding energy gradient is not capable of transporting sediment material other than those indicated above.

Under existing conditions silt and clay are always in suspension and generalized sand transport is assured for discharges above 18,000m³/s. For this reason the procedure developed by Hunter Rouse which enables precise analysis of the suspended sediment transport pattern in a pool was considered best suited for the project. It verifies existing transport conditions and similarly our analysis confirms that the sand transported in suspension under existing conditions will continue to do so after the project is built. There will be seasonal variations of sediment concentrations as observed under existing conditions.

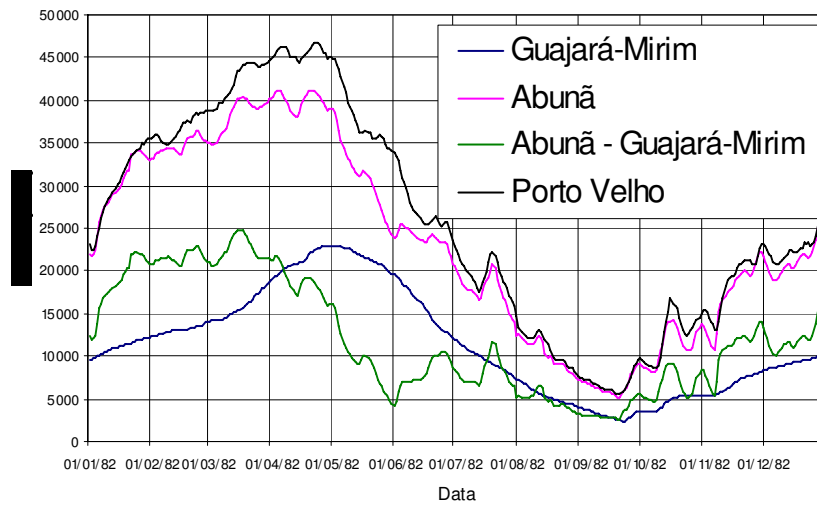


Figure 2 - Typical annual discharge hydrograph

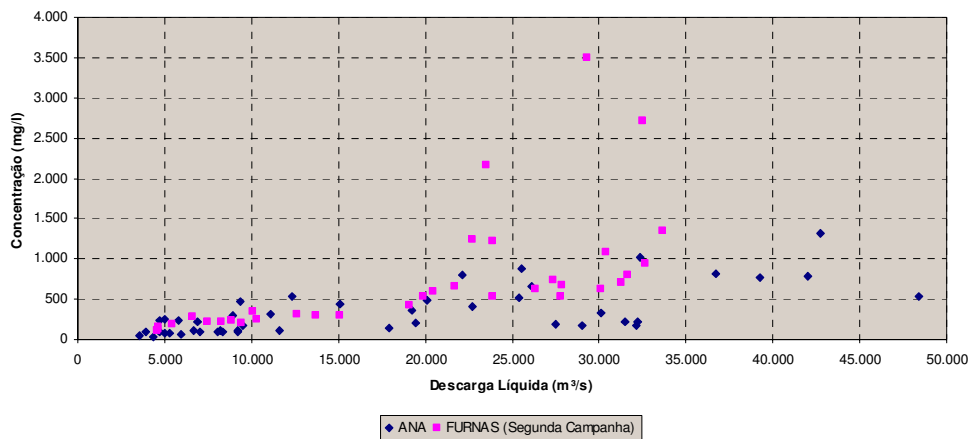


Figure 3 - Typical annual variation of suspended sediment concentration as a function of discharge

Under the existing condition the sands deposited during the receding flood is picked up by the increasing discharge from about 20,000m³/s and reaches a maximum between 25,000 m³/s and 30,000 m³/s. The maximum concentration may be more than 3,500 mg/l measured because of

periodic measurements. As the discharge continues to increase around 35,000m³/s the concentration tapers off to 1,000 mg/l because there is no excess sand left on the river bed. The flow velocities and resulting turbulence in the upper pool for a discharge in excess of 30,000 m³/s and for periods of more than 4 months annually will assure complete flushing of sand from the upper pool. The same type of variation in the sediment transport will continue after the project is built with the maximum concentration some what higher than those observed under existing conditions when the discharge will increase from 30,000 to 35,000 i.e., during about 15 days.

Sand gradation characteristics and transport patterns at Santo Antonio is very similar to that of the Lower Mississippi River at Old River Complex. Where continuous sediment concentration measurement over a year and then 2 samples per day at 27 locations since 1991 show that annual sand flushing can be very efficient. At this location 44 million tons of sediment (of which 15% sand) is diverted annually to the Gulf of Mexico. Sidney A. Murray run-of-river Hydroelectric Project in operation since 1991 has no turbine abrasion problem.

At Santo Antonio due to the fact that silt and clay represents 85% of the total sediment content and is always in suspension will not contribute to the sedimentation or creating cohesive deposits in the upper pool. Flushing of clean non cohesive sand deposits annually as occurring under present conditions (Figure 4) will continue and not contribute to any permanent sand deposits in the upper pool after the project is built.



Figure 4 - Sand bar downstream of Teotonio Rapids composed of clean sand no trace of silt or clay is eroding with increasing river discharge of 12,000 m³/s on December 12, 2007.

Report approved by Sultan Alam

May 10, 2007
Le Beausset, France

-----Mensagem original-----

De: sultan [<mailto:SultanALAM@compuserve.com>]

Enviada em: quinta-feira, 10 de maio de 2007 11:22

Para: John Denys Cadman

Cc: sultan

Assunto: Questions from IBAMA

Dear John and Mârcio,

Earlier I sent a pdf file of my text and figures. I am now sending you the same as word file in case you need this for editing purpose.

Refards

Sultan

-----Message réacheminé-----

Exp.: "John Denys Cadman", INTERNET:john.cadman@mme.gov.br

A: "sultan", SultanALAM

Date: 07/05/2007 02:03

RE: Questions from IBAMA

Sultan,

Enclosed are the questions that IBAMA sent to us on Friday, May 3rd, about the sediments on the Madeira river. If you agree with our answers, make a hard copy of the report, write a short text on the last page saying that you agree with our answers then sign this page (not an electronic signature), initial the other pages and send this copy with the signed copy of the translation to me by FedEx. I will be in my office only tomorrow afternoon before flying to Porto Velho with John Briscoe.

Regards, John

ANEXO V

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL
TOMO E – VOLUME 2/3 – ITEM 8

NOVA SIMULAÇÃO DO MODELO
DA QUALIDADE DA ÁGUA

Maio de 2005

8. Nova simulação do modelo da qualidade da água.

Solicitação do IBAMA: Apresentar uma nova simulação do modelo prognóstico da qualidade da água, considerando as inter-relações entre o corpo d'água principal, tributários e lagoas (bolsões) marginais, em função do tempo, desde o início do enchimento até a estabilização do reservatório, ao longo de todo trecho diretamente afetado pelo empreendimento.

MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS RESERVATÓRIOS SANTO ANTÔNIO E JIRAU

APRESENTAÇÃO

Trata o presente documento da resposta à segunda adequação solicitada pelo IBAMA por meio do ofício nº. 135/2006 – DILIQ/IBAMA, de 24 de fevereiro de 2006 e Informação Técnica nº 08/2006 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, de 26/06/2006.

Conforme diagnosticado no EIA, os dois reservatórios a serem implantados no rio Madeira, Santo Antônio e Jirau, apresentam regime hidráulico de escoamento com características fluviais, ou seja, com velocidades longitudinais significativas e preponderantes, mesmo nas proximidades das barragens. Por este motivo, estes reservatórios podem ser representados matematicamente através de modelos unidimensionais de escoamento e de qualidade da água, conforme procedido nos estudos apresentados.

Entretanto, ainda na fase de diagnóstico foi constatada a ocorrência de poucas (mas importantes) áreas marginais alagadas, que na modelagem apresentada anteriormente foram traduzidas por cargas introduzidas no corpo hídrico principal, originadas pelo afogamento da vegetação existente, tendo sido admitida a hipótese de não remoção da mesma.

A solicitação do IBAMA evidencia, então, o interesse em melhor conhecer o comportamento desses corpos hídricos marginais (afluentes ou bolsões) diante da formação dos reservatórios, seja em sua fase de implantação seja na fase posterior, de operação.

Para atender esta solicitação, foi feita uma identificação e caracterização dos principais afluentes e bolsões marginais dos reservatórios de Santo Antônio e Jirau, selecionando aqueles a serem estudados em maior detalhe. Para os corpos hídricos selecionados, foram desenvolvidos modelos prognósticos do seu comportamento hidráulico e de qualidade da água, considerando as inter-relações com o regime do rio Madeira, conforme solicitado. Foram empregados modelos hidráulicos e de qualidade da água bi-dimensionais e unidimensionais, dependendo das características de cada corpo hídrico (bolsão, braço lateral ou afluente), conforme justificado ao longo do trabalho realizado.

Este documento apresenta o resultado final dos estudos realizados. A abordagem metodológica empregada é descrita de forma sumária e os resultados são apresentados e discutidos individualmente, para cada corpo hídrico estudado. Ao final, é feita uma análise global buscando caracterizar os comportamentos dos corpos hídricos laterais em função de sua geometria e de seu regime hidrológico, estendendo as conclusões dos estudos para os corpos hídricos não abordados diretamente.

O documento aqui apresentado está organizado da forma sumarizada a seguir.

1. Introdução
2. Comportamento hidrodinâmico dos principais corpos água laterais
3. Estudo do rio Mutum-Paraná e seu bolsão lateral
4. Estudo do rio Jací-Paraná
5. Estudo do igarapé Jatuarana
6. Considerações finais
7. Referências bibliográficas
8. Equipe responsável

1. INTRODUÇÃO

1.1 Aspectos Metodológicos

Para atender à solicitação do IBAMA quanto à modelagem dos afluentes dos reservatórios e dos bolsões de inundação formados lateralmente ao mesmo, foi empregada a seguinte metodologia:

- Identificação dos bolsões e afluentes existentes nos dois reservatórios e seleção daqueles mais importantes e/ou representativos;
- Caracterização dos afluentes e bolsões laterais quanto à sua fisiografia, definindo suas curvas cota – área – volume, cobertura vegetal, regime fluvial e regime hidráulico de escoamento, antes e depois da implantação dos reservatórios;
- Caracterização do comportamento dos afluentes e bolsões selecionados quanto à qualidade da água, com emprego de modelos matemáticos bi-dimensionais ou unidimensionais, dependendo da fisiografia de cada um, e simulação das condições esperadas futuras de qualidade da água desses corpos hídricos, tanto para o período de enchimento dos reservatórios quanto para o período de operação dos mesmos, em condições estabilizadas;
- Identificação, com auxílio da modelagem, dos principais impactos da implantação dos reservatórios sobre a qualidade da água desses corpos hídricos; e
- Introdução, no modelo de qualidade da água do rio Madeira empregado nos estudos anteriores, das novas condições de contorno decorrentes do processamento da biomassa afogada dentro de cada corpo lateral estudado.

1.2 Caracterização dos Reservatórios do Rio Madeira

As principais características dos reservatórios que constituem o Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira, Santo Antônio e Jirau já foram apresentadas e discutidas nos Estudos de Impacto Ambiental – EIA do empreendimento. Algumas dessas características são reproduzidas aqui, como forma de facilitar a apresentação e compreensão dos estudos realizados.

O reservatório de Santo Antônio será implantado com nível d'água na cota 70,00 m, apresentando uma área total de 271,26 km² (da qual 40% correspondem à área do curso natural do rio Madeira) e volume total de 2.075,13 hm³. O enchimento do reservatório de Santo Antônio será realizado no final do período de estiagem, estando previsto para o mês de

novembro. O tempo esperado de enchimento em novembro é pequeno, sendo inferior a 3,6 dias com 90% de garantia. Em anos úmidos, este tempo pode ser inferior a um dia.

O reservatório de Jirau será implantado na cota 90,00 m, apresentando uma área total de 244,03 km² (56% da qual corresponde à própria calha fluvial) e volume total de 2.014 hm³. O reservatório será operado com níveis variáveis ao longo do ano, como forma de evitar alterações no regime fluvial do rio Madeira a montante de Abunã. Durante o período de cheia, de janeiro a abril, o NA normal do reservatório será na cota 90,00 m. À medida que as vazões afluentes vão diminuindo, o NA normal do reservatório vai sendo deplecionado, até alcançar o valor mínimo na cota 82,50 m, no mês de setembro. A partir de outubro, o NA normal volta a ser gradativamente elevado, até alcançar seu valor máximo, em janeiro.

Como consequência dessa variação sazonal de nível d'água, o reservatório de Jirau irá apresentar um comportamento bem diferenciado ao longo do ano, não apenas devido à variação das vazões afluentes, mas também por causa das alterações significativas de volumes armazenados e de área inundada.

A regra operativa sazonal do reservatório de Jirau irá afetar também seu enchimento, previsto para ser iniciado no mês de novembro, tal qual em Santo Antônio. Como o nível d'água normal só alcança a cota máxima (El. 90,00 m) em janeiro, o enchimento do reservatório será realizado em três etapas: até a cota 85,00 m em novembro, subindo para a cota 87,50 m em dezembro e finalmente alcançando a cota 90,00 m em janeiro.

A área inundada pelo reservatório de Santo Antônio se concentra principalmente às margens do rio Madeira e ao longo dos pequenos afluentes existentes, particularmente aqueles que confluem a jusante da cachoeira de Salto Teotônio, localizada cerca de 10 km a montante do barramento, porque nesse trecho a elevação do nível d'água provocada pela barragem é mais pronunciada. A montante da cachoeira, os níveis d'água do rio Madeira são menos afetados pelo reservatório, de forma que a área inundada é menos importante e os afluentes são apenas remansados pelo reservatório.

Por este motivo, ocorrem poucos bolsões laterais ao reservatório de Santo Antônio, conforme pode ser visto na Figura 1.1, onde são identificados os dois mais importantes, correspondentes aos braços afogados dos Igarapés Jatuarana e Mucuim.

O afluente mais importante do reservatório de Santo Antônio, rio Jaci-Paraná, também representado na Figura 1.1, situa-se no terço superior do reservatório. Em condições naturais, o rio Madeira já apresenta, neste local, níveis médios próximos à Cota 70,00 m, de forma que o Jaci Paraná irá experimentar, após a implantação do empreendimento, níveis d'água muito próximos aos observados nas conduções atuais.

O reservatório de Jirau apresenta maior quantidade de corpos d'água laterais, principalmente pela sua margem direita, conforme ilustrado na Figura 1.2, onde são mostrados os quatro principais, considerando o reservatório operando em seu NA máximo, na cota 90,00 m.

Na parte baixa do reservatório foram identificados dois corpos laterais associados aos Igarapés Jirau e Caiçara. Mais a montante, o reservatório de Jirau recebe seu principal afluente, o rio Mutum-Paraná. O reservatório provoca sobrelevação no rio Mutum-Paraná e

em seu afluente principal, o rio Cotia, além de alagar um grande bolsão lateral pela margem esquerda, próximo à foz do Mutum-Paraná, que será denominado, neste trabalho, Bolsão do Mutum. A Figura 1.2 ilustra a disposição deste bolsão em relação ao Mutum-Paraná e ao reservatório de Jirau.

FIGURA 1.1 – PRINCIPAIS CORPOS HÍDRICOS MARGINAIS AO RESERVATÓRIO DE SANTO ANTÔNIO

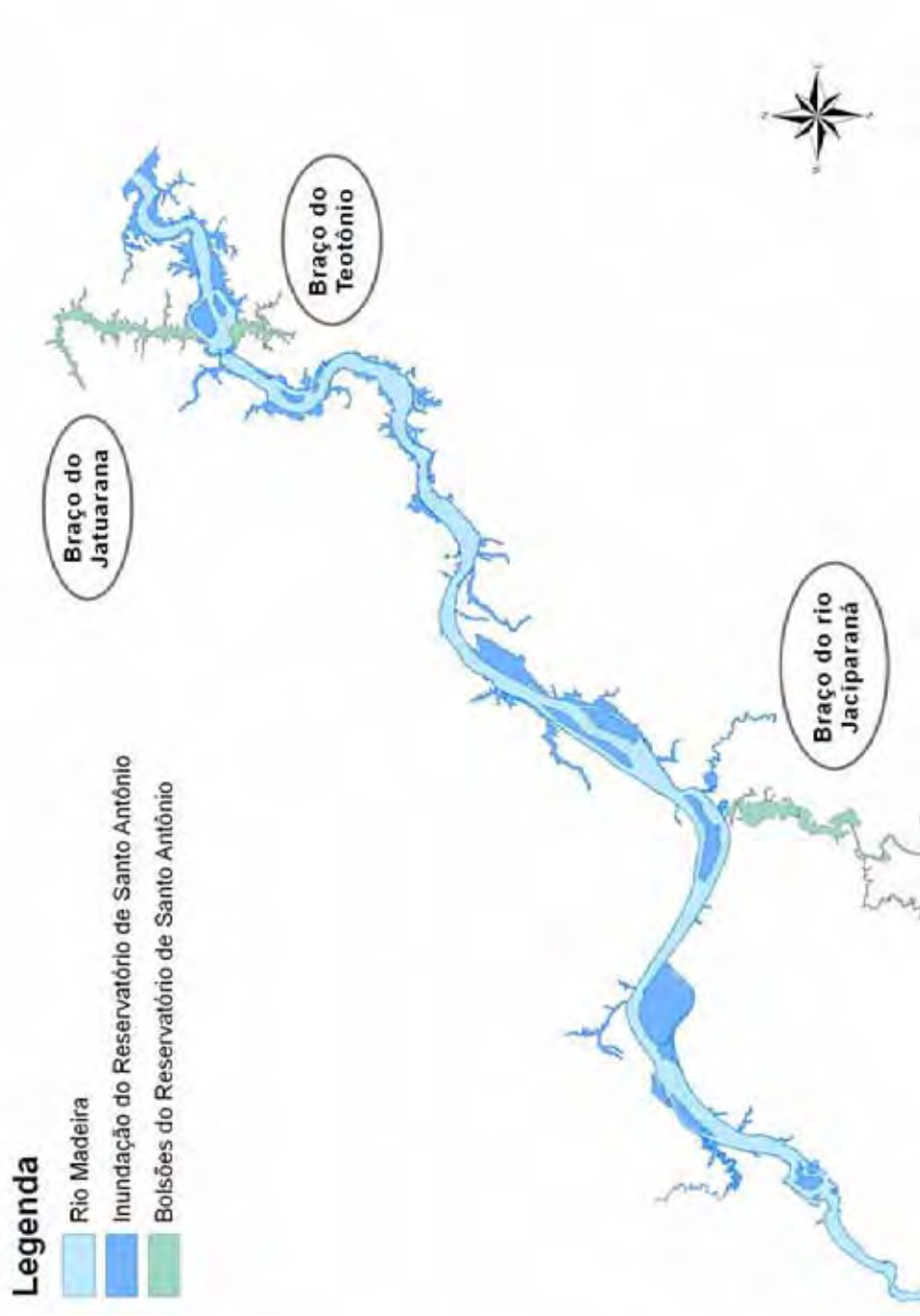
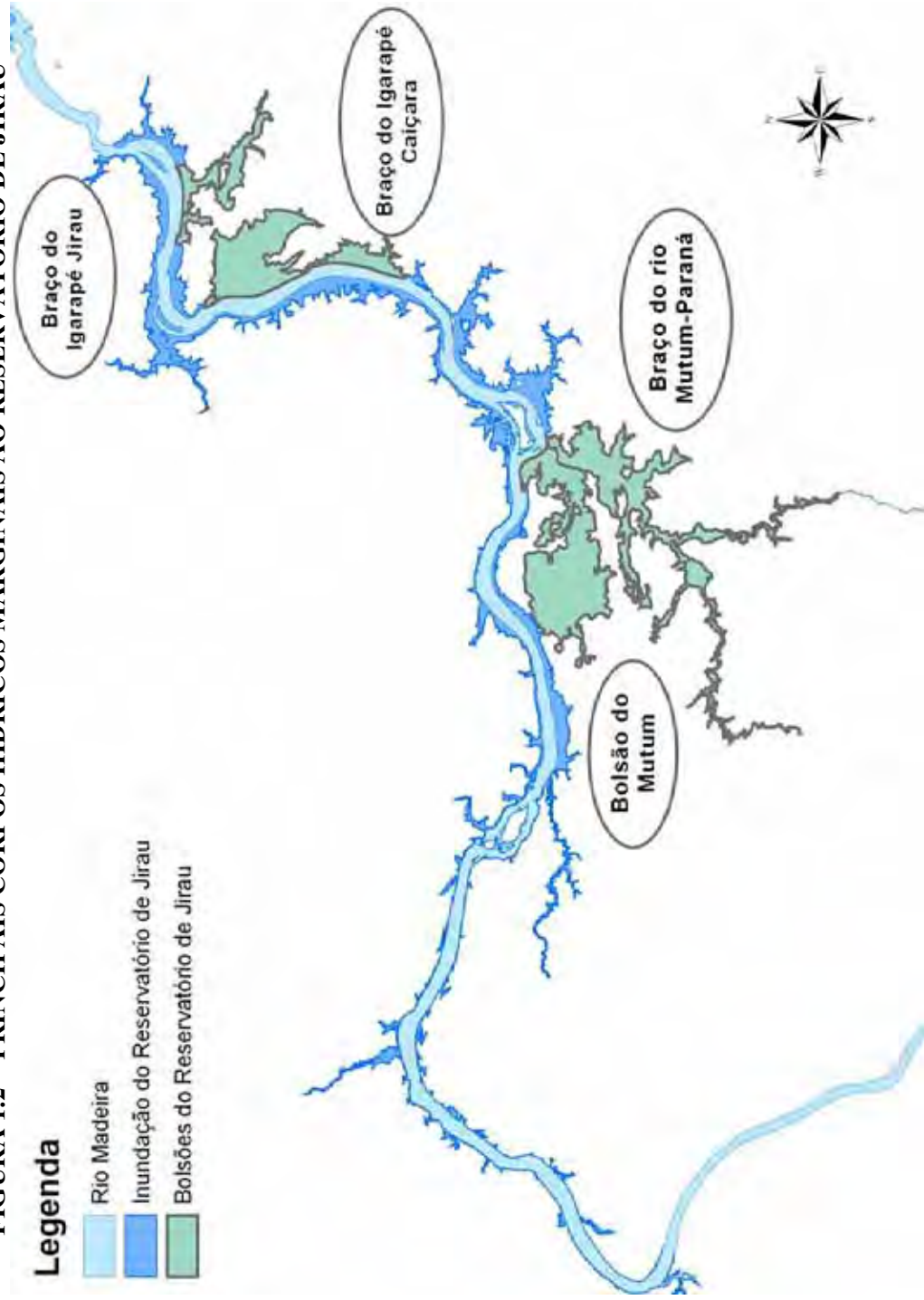


FIGURA 1.2 – PRINCIPAIS CORPOS HÍDRICOS MARGINAIS AO RESERVATÓRIO DE JIRAU



1.3 Metodologia Geral

Conforme já mencionado, os estudos envolveram cinco etapas de trabalho, sendo que a primeira delas, identificação dos principais corpos laterais, foi apresentada no subitem anterior.

A segunda etapa, de caracterização fisiográfica e de regime hidrodinâmico dos corpos laterais selecionados, apresentada no item 2 deste relatório, foi alcançada através da metodologia a seguir.

A caracterização fisiográfica dos braços laterais foi feita com base na restituição aerofotogramétrica, estabelecendo-se um modelo digital de terreno e obtendo-se as curvas cota-área e cota-volume para cada pequeno reservatório lateral. Os mapas de uso do solo e de cobertura vegetal de cada bolsão foram obtidos do mapeamento apresentado nos Estudos de Impacto Ambiental

Para a caracterização do regime hidrodinâmico dos diversos corpos d'água laterais selecionados, procurou-se enfatizar as modificações introduzidas pela operação dos reservatórios. Para isso, foi necessário realizar uma estimativa das vazões afluentes em cada braço lateral, o que foi feito distribuindo-se a vazão incremental observada no rio Madeira entre Abunã Vila e Porto Velho pelos diversos tributários, proporcionalmente a sua área de drenagem.

Os níveis d'água do rio Madeira junto a estes braços laterais foram estimados com auxílio do modelo de remanso, estabelecido durante os estudos de viabilidade, o que possibilitou caracterizar a evolução de níveis dos tributários junto à foz ao longo do ano, antes e depois da implantação dos reservatórios.

Nesse sentido, os braços laterais do reservatório de Jirau mereceram especial atenção, já que a regra operativa prevê seu deplecionamento anual até a cota 82,50 m, manobra que imprime a estes corpos laterais uma dinâmica semelhante àquela existente em condições naturais, com os níveis d'água do rio Madeira (ou do futuro reservatório) subindo durante a enchente, se mantendo elevado durante a cheia, descendo durante a vazante e permanecendo baixo durante a estiagem. Este comportamento é semelhante para todos os braços laterais do reservatório de Jirau, independente de sua distância em relação à barragem.

Para os braços laterais do reservatório de Santo Antônio, que irá operar com nível constante ao longo de todo o ano, foram identificadas duas tendências diferenciadas. Os braços laterais próximos à barragem ficarão, após a implantação do reservatório, “represados” na cota 70,00 m, apresentando variações de nível d'água muito reduzidas, provocadas apenas pelo efeito de remanso (pequeno, devido à proximidade da barragem). Este é o caso dos Igarapés Jatuarana e Mucum, afluentes ao rio Madeira a jusante da cachoeira de Teotônio.

Os braços laterais mais distantes da barragem, basicamente aqueles que afluem a montante da cachoeira de Teotônio, serão influenciados diretamente pelo nível d'água do reservatório apenas durante os meses de vazões baixas, passando a sofrer os efeitos de remanso do reservatório nos meses de vazões altas, apresentando um comportamento similar ao seu

comportamento atual, mesmo após a implantação da UHE Santo Antônio. Este é o caso do rio Jaci, cujo estudo será realizado de forma detalhada.

Os estudos de qualidade da água dos corpos laterais, correspondentes à terceira etapa de trabalho, estão apresentados em itens específicos para cada corpo d'água estudado, a partir do item 3, tendo-se aprofundado os estudos com aplicação de modelos de qualidade da água específicos apenas para os braços correspondentes ao rio Mutum-Paraná e seu bolsão lateral, ao rio Jaci Paraná e ao Igarapé Jatuarana. O comportamento dos demais corpos laterais pode ser inferido a partir do estudo desses três.

A apresentação dos estudos de qualidade da água é feita percorrendo-se os reservatórios de montante para jusante, de modo a se iniciar o trabalho pelo corpo d'água de maior dimensão e de comportamento mais complexo, representado pelo rio Mutum-Paraná e o bolsão do Mutum, afluente ao rio Madeira pela margem direita no reservatório de Jirau.

Para o estudo, apresentado no item 3, foi empregado nas análises um modelo bi-dimensional (escoamento e qualidade da água), tendo sido escolhido o modelo WASP-7, juntamente com seu módulo hidrodinâmico DINHYD. No item 3 é apresentada uma descrição sucinta desses modelos. As conclusões desse estudo orientaram a análise do comportamento dos braços laterais correspondentes aos igarapés Caiçaras e Jirau, situados mais a jusante.

O rio Jaci-Paraná, afluente ao reservatório de Santo Antônio, foi estudado com auxílio de modelos unidimensionais, tanto para escoamento quanto para qualidade da água, devido às características de escoamento existentes. Embora este curso d'água não seja muito influenciado pela implantação do reservatório, já que fica localizado no terço superior do reservatório, onde o comportamento do rio Madeira é afetado mais pelo seu regime fluvial que pela presença da barragem, situa-se em suas margens a Vila de Jaci-Paraná, onde será implantada uma vila residencial de apoio à construção das barragens, sendo previsto grande crescimento populacional na fase construtiva, com fixação definitiva de uma parcela significativa dessa população após a conclusão das obras.

Para a caracterização hidráulica do Jaci-Paraná empregou-se o modelo HEC-RAS, tendo sido as seções transversais obtidas a partir da restituição aerofotogramétrica e complementadas por algumas seções topométricas disponíveis nos estudos de Viabilidade. Os estudos de qualidade da água foram desenvolvidos com auxílio do modelo QUAL2-E, distribuído pelo EPA (United States Environmental Protection Agency), e encontram-se apresentados no item 4, onde também é feita uma descrição sucinta dos modelos empregados.

Para os dois corpos laterais do reservatório de Santo Antônio situados próximos à barragem, Igarapés Jatuarana e Mucuí, escolheu-se o primeiro deles, de maior porte, para uma análise mais aprofundada, tendo sido empregada a mesma abordagem descrita para os estudos do Rio Jaci-Paraná. Estes estudos são apresentados no item 5 desse relatório.

O item 6 apresenta uma análise dos resultados obtidos nos três itens anteriores, visando sua extensão aos demais braços laterais dos dois reservatórios. Neste item também é feito um sumário identificando os principais impactos da implantação dos reservatórios sobre os corpos d'água laterais, listando-se as possíveis medidas mitigadoras, cumprindo-se deste modo a quarta etapa dos estudos.

Quando a vegetação dos corpos laterais é afogada, os processos de incorporação e decomposição da fitomassa são iniciados no local e transferidos ao rio Madeira (ou ao reservatório implantado) em função do regime hidrodinâmico vigente. Desse modo, o corpo lateral age como um intermediário entre o afogamento da fitomassa e a transferência dessa carga ao corpo principal, funcionando como um “dosador”. A carga resultante desse processo é inferior à carga adotada nos estudos anteriores, onde se assumia que os bolsões estavam incorporados ao reservatório. Como consequência, os padrões críticos de qualidade da água ao longo do rio Madeira, que ocorrem durante o enchimento dos reservatórios, serão menos rigorosos que aqueles identificados nos estudos anteriores.

A quinta e última etapa dos trabalhos é consolidada no item 7, quando os efeitos dos processos biológicos encadeados nos corpos hídricos pelo afogamento da vegetação lá existente, identificados nos estudos apresentados nos itens 3 a 6, são transferidos à modelagem realizada anteriormente (e apresentada no EIA), por meio de análises específicas.

2. COMPORTAMENTO HIDRODINÂMICO DOS PRINCIPAIS CORPOS HÍDRICOS LATERAIS

Foram identificados, para orientar o estudos dos corpos hídricos laterais afetados pela implantação dos aproveitamentos, quatro corpos no reservatório de Jirau e três no reservatório de Santo Antônio, conforme ilustrado anteriormente nas Figuras 1.1 e 1.2. Os trabalhos de caracterização foram conduzidos em paralelo, de forma que sua apresentação é feita nos subitens a seguir, cada um dedicado a um tema específico. Ao final é feita uma apreciação geral sob a ótica de cada corpo hídrico individualmente.

2.1 Caracterização Fisiográfica – Curvas Cota-Área-Volume

O estabelecimento das curvas cota-área-volume dos corpos laterais foi feito com base no modelo digital de terreno estabelecido a partir das curvas de nível resultantes da restituição aerofotogramétrica, a cada 5,0m, interpoladas de metro em metro com auxílio dos pontos cotados disponibilizados naquela mesma base.

Para o desenvolvimento dos modelos de balanço hídrico de cada corpo d’água lateral, foram ajustadas expressões analíticas aos pontos cota-volume, de modo a automatizar os cálculos. As Figuras 2.1.1 a 2.1.7, a seguir, apresentam as curvas cota-área-volume levantadas.

FIGURA 2.1.1 – Bolsão do Mutum

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
84.5	0.00	0.00
85	0.08	0.01
86	1.05	0.49
87	2.83	2.36
88	4.95	6.20
89	11.78	14.32
90	18.24	29.22
91	26.07	51.26
92	38.44	83.31

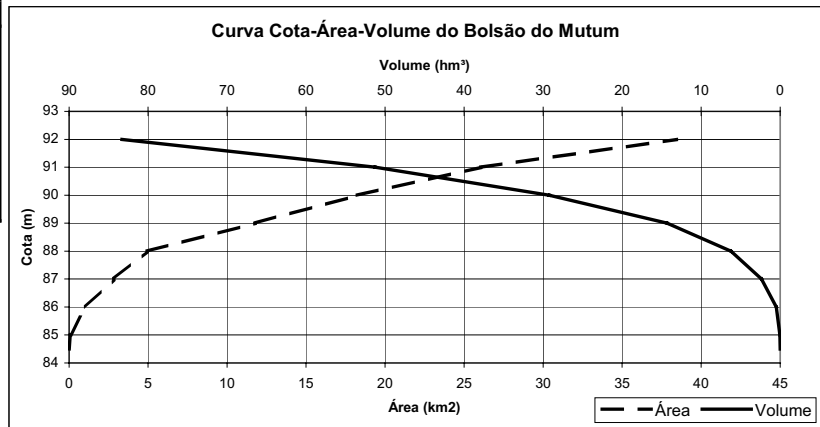


FIGURA 2.1.2 – Rio Mutum-Paraná (sem o Bolsão do Mutum)

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
82	0.00	0.00
85	4.08	4.08
86	6.07	9.12
87	8.60	16.42
88	11.37	26.37
89	15.37	39.69
90	22.27	58.41
91	34.23	86.44
92	46.91	126.85

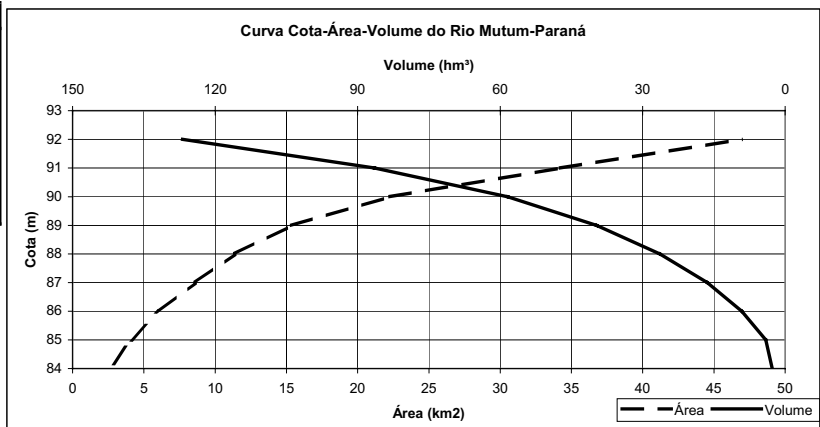


FIGURA 2.1.3 – Igarapé Caiçara

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
77	0.12	0.00
78	0.29	0.19
79	0.53	0.60
80	0.91	1.30
81	1.53	2.51
82	2.25	4.39
83	3.23	7.12
84	4.34	10.89
85	5.49	15.80
86	7.90	22.46
87	10.56	31.66
88	13.25	43.54
89	16.04	58.16
90	17.84	75.09
91	20.70	94.34
92	23.73	116.54

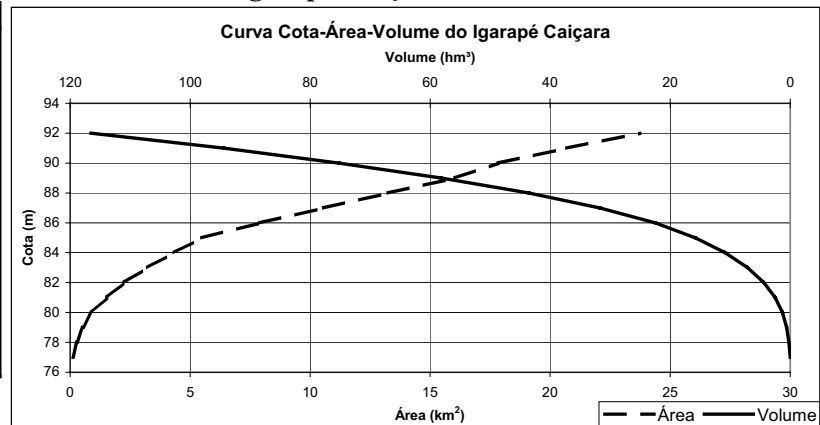


FIGURA 2.1.4 – Igarapé Jirau

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
76	0.05	0.00
77	0.13	0.09
78	0.19	0.24
79	0.27	0.47
80	0.48	0.84
81	0.83	1.49
82	1.45	2.62
83	2.01	4.34
84	2.71	6.69
85	3.38	9.73
86	4.46	13.64
87	5.73	18.72
88	7.18	25.15
89	8.65	33.06
90	9.84	42.30
91	11.05	52.74
92	12.30	64.40

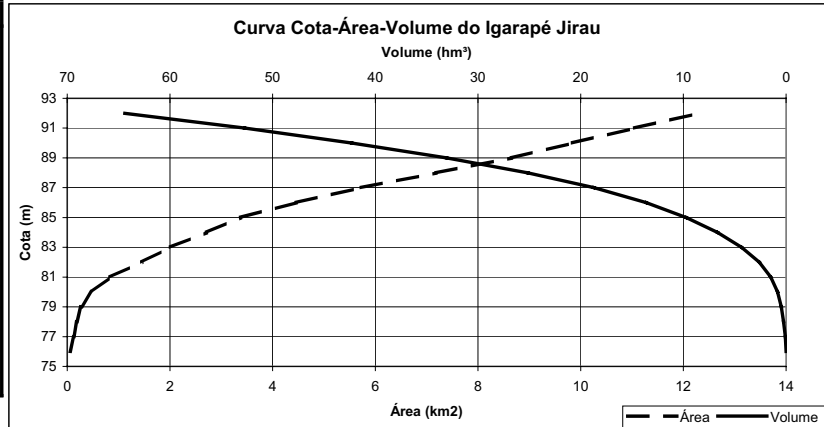


FIGURA 2.1.5 – Rio Jaci-Paraná

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
64	0.00	0.0
65	0.35	0.1
66	1.67	1.0
67	4.06	3.8
68	7.65	9.6
69	12.48	19.6
70	18.51	35.0
71	25.71	57.0
72	33.89	86.7
73	42.88	125.0
74	52.42	172.5
75	62.17	229.8
76	71.83	296.7
77	80.90	373.0
78	88.92	457.9
79	95.33	550.0
80	99.51	627.4

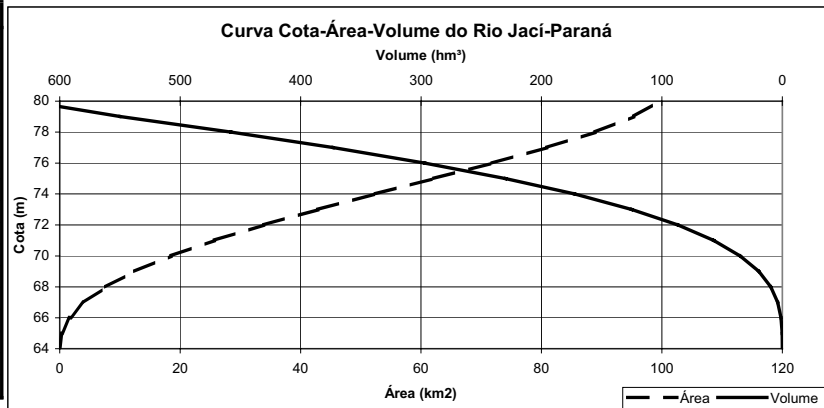


FIGURA 2.1.6 – Igarapé Mucuíim (Teotônio)

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
54	0.03	0.00
55	0.14	0.08
56	0.21	0.25
57	0.29	0.50
58	0.38	0.83
59	0.54	1.29
60	0.66	1.89
61	0.82	2.63
62	1.03	3.55
63	1.29	4.71
64	1.71	6.21
65	2.21	8.16
66	2.62	10.57
67	2.99	13.37
68	3.36	16.54
69	3.79	20.11
70	4.55	24.28
71	5.29	29.20
72	5.75	34.72
75	9.01	56.68

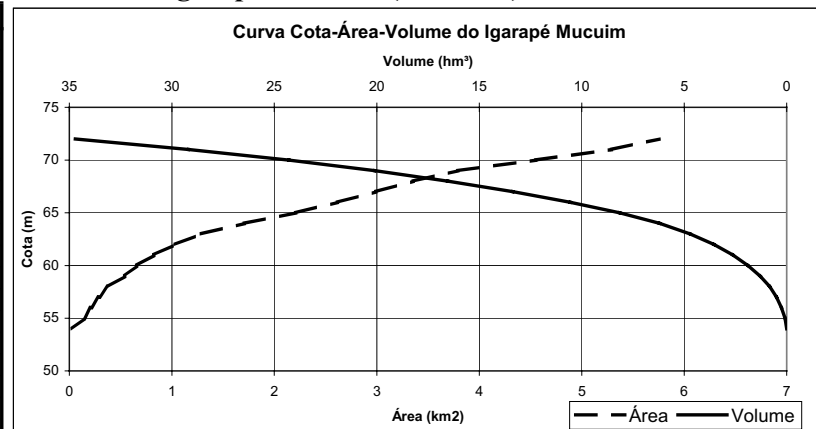
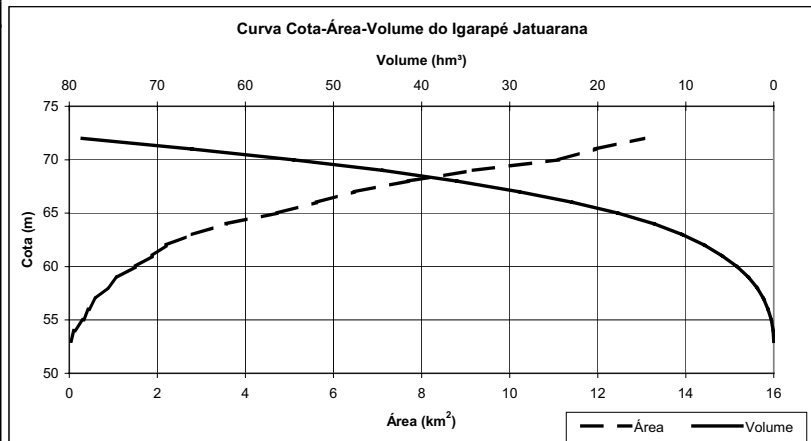


FIGURA 2.1.7 – Igarapé Jatuarana

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
53	0.03	0.00
54	0.11	0.07
55	0.32	0.28
56	0.44	0.65
57	0.60	1.17
58	0.86	1.90
59	1.10	2.88
60	1.50	4.17
61	1.89	5.86
62	2.20	7.90
63	2.80	10.39
64	3.57	13.57
65	4.72	17.70
66	5.61	22.86
67	6.48	28.90
68	7.70	35.97
69	9.18	44.40
70	11.11	54.53
71	11.95	66.05
72	13.04	78.55
75	19.62	127.20



2.2 Regime Fluvial – Vazões Médias Mensais e Níveis de Controle do Rio Madeira

A estimativa das vazões médias mensais correspondentes a cada tributário ou braço lateral do rio Madeira, ao longo dos dois reservatórios, foi feita aplicando-se as vazões específicas médias mensais calculadas para a bacia incremental entre as estações fluviométricas de Abunã-Vila e Porto Velho à área de drenagem de cada tributário. Este procedimento foi adotado por não se dispor de um tributário do rio Madeira, na região de interesse, com dados fluviométricos registrados. Embora exista um posto fluviométrico no rio Jaci-Paraná, as pesquisas de dados desse posto junto à ANA – Agência Nacional de Águas resultaram infrutíferas.

É possível também que haja um comportamento diferenciado entre os afluentes da margem direita e da margem esquerda, neste trecho do rio Madeira, mas neste momento não foi possível fazer tal diferenciação.

Os dados básicos (séries de vazões médias mensais em Abunã-Vila e Porto Velho) foram obtidos dos Estudos de Viabilidade das duas usinas. O período comum de observação nos dois postos foi de 1977 a 2002.

O Quadro 2.2.1, a seguir, apresenta vazões médias mensais calculadas a partir dos dados disponíveis para os diversos tributários e braços laterais do rio Madeira estudados.

QUADRO 2.2.1
Vazões Médias Mensais (m³/s) dos Afluentes do Rio Madeira no Estirão Entre as Estações de Abunã-Vila e Porto Velho.

LOCAL Área de Drenagem (km ²)	Abunã Vila	Porto Velho	Bacia Incremental	Igarapé Mucuí	Igarapé Jatuarana	Bolsão do Mutum	Rio Mutum- Paraná	Igarapé Caiçara	Igarapé Jirau	Rio Jaci- Paraná
	932.622	988.997	56.375	64,1	140	82,7	3.604	204	137	11.847
Janeiro	23932	24848	916	1,30	2,83	1,68	73,1	4,15	2,78	292
Fevereiro	29379	31318	1939	2,25	4,90	2,90	126	7,17	4,80	355
Março	33069	36205	3135	3,62	7,88	4,67	203	11,5	7,72	409
Abril	31812	35720	3909	4,62	10,1	5,96	260	14,7	9,85	370
Mai	25930	28233	2304	3,17	6,91	4,09	178	10,1	6,77	281
Junho	18430	19849	1419	2,03	4,43	2,62	114	6,48	4,34	196
Julho	11461	12757	1296	1,61	3,50	2,07	90,4	5,13	3,43	131
Agosto	6455	7522	1067	1,24	2,70	1,60	69,7	3,95	2,65	84,0
Setembro	4789	5763	973	1,06	2,30	1,36	59,5	3,37	2,26	69,2
Outubro	6115	6784	669	0,86	1,88	1,11	48,5	2,75	1,84	83,5
Novembro	10002	11055	1053	1,16	2,54	1,50	65,5	3,71	2,48	127
Dezembro	15987	17098	1110	1,22	2,65	1,57	68,5	3,88	2,60	206

Para a determinação dos níveis d'água do rio Madeira na confluência com cada braço lateral estudado, antes e depois da implantação dos reservatórios, foram consultados os estudos de remanso do reservatório, realizados durante os Estudos de Viabilidade. A partir desses estudos foram estabelecidas curvas-chave nas seções de interesse, para o rio Madeira em condições naturais. Para a situação futura, após a implantação dos reservatórios, foi possível

também ajustar curvas-chave semelhantes para os braços laterais do reservatório Santo Antônio, que opera com níveis constantes. Para os corpos laterais ao reservatório de Jirau, que opera com níveis d'água variáveis ao longo do ano, foi preparada uma tabela de níveis d'água para cada mês, construída a partir dos estudos de remanso referenciados.

Estes resultados são apresentados mais adiante, em conjunto com outras informações empregadas na caracterização hidrodinâmica dos corpos laterais.

2.3 Dinâmica dos Corpos Laterais – Balanço Hídrico Mensal

Uma primeira abordagem à questão da dinâmica dos braços laterais foi feita realizando-se o balanço hídrico mensal dos mesmos e calculando-se os tempos de residência da água mês a mês, antes e depois da implantação dos reservatórios.

Os Quadros 2.3.1 a 2.3.6 apresentam as principais características dos corpos laterais estudados, tendo sido agrupados, nessa análise, o bolsão do Mutum com o rio Mutum-Paraná, que na verdade constituem um único sistema.

É importante notar que os níveis d'água considerados nesses quadros para a condição futura já levam em consideração os efeitos de remanso dos reservatórios, ou seja, são ligeiramente superiores aos níveis do reservatório junto à barragem, mesmo para os dois braços do Santo Antônio (Jatuarana e Mucuim), que se situam bem próximos à barragem. Nos meses de cheia, as grandes vazões em trânsito pelo rio Madeira causam sobrelevação do nível d'água a montante da barragem.

Os quadros apresentam também as características dos bolsões em condições naturais, pois o rio Madeira já inunda parcialmente estes afluentes laterais em condições naturais, durante os períodos de cheia.

QUADRO 2.3.1
Comportamento do Rio Mutum-Paraná Antes e Depois da Implantação do Reservatório de Jirau

Mês	Vazão Média Mensal Madeira		Vazão Média Mensal Mutum		Condições Naturais				Condições Futuras						
	m³/s		m³/s		NA natural	Volume	Volume Acumulado	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Volume Acumulado	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência
	m³/s		m³/s		m	hm³	hm³	m³/s	m³/s	m	m	hm³	hm³	m³/s	m³/s
Setembro	5600		60.82		76.78	0.00	0.00	60.82	60.82	82.50	82.70	0.00	-0.18	-0.29	61.12
Outubro	6800		49.60		77.63	0.00	0.00	49.60	49.60	83.00	83.26	0.18	0.18	0.07	49.53
Novembro	10400		66.96		79.89	0.00	0.00	66.96	66.96	85.00	85.39	6.79	6.60	2.55	64.41
Dezembro	16600		70.06		82.75	0.00	0.00	70.06	70.06	87.50	88.09	34.27	27.48	10.60	59.46
Janeiro	23900		74.82		85.51	7.42	7.42	71.96	71.96	90.00	90.74	123.36	89.09	34.37	40.45
Fevereiro	29100		129.33		87.17	20.84	13.43	124.15	124.15	90.00	91.06	141.92	18.56	7.16	122.17
Março	33600		208.08		88.41	40.46	19.61	200.51	200.51	90.00	91.36	161.40	19.47	7.51	200.57
Abril	30200		265.57		87.49	24.87	-15.59	271.58	271.58	90.00	91.13	146.28	-15.12	-5.83	271.40
Mai	22700		182.35		85.07	5.26	-19.61	189.92	189.92	89.50	90.24	98.47	-47.81	-18.44	200.80
Junho	15900		116.86		82.47	0.00	-5.26	118.89	118.89	87.00	87.60	26.40	-72.07	-27.81	144.66
Julho	10600		92.47		80.00	0.00	0.00	92.47	92.47	85.00	85.40	6.84	-19.56	-7.55	100.01
Agosto	6800		71.34		77.63	0.00	0.00	71.34	71.34	83.00	83.26	0.18	-6.65	-2.57	73.91
Setembro	5600		60.82		76.78	0.00	0.00	60.82	60.82	82.50	82.70	0.00	-0.18	-0.07	60.89

QUADRO 2.3.2
Comportamento do Igarapé Caiçara Antes e Depois da Implantação do Reservatório de Jirau

Mês	Vazão Média Mensal		Condições Naturais						Condições Futuras					
	Madeira	Caiçara	NA natural	Volume	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência	Volume	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência
	m ³ /s	m ³ /s	m	hm ³	m ³ /s	m ³ /s	m	m	hm ³	m ³ /s	m ³ /s	hm ³	m ³ /s	m ³ /s
Setembro	5600	3.37	75.68	0.00	0.00	3.37	82.50	82.62	4.93	-1.27	-0.29	4.93	-0.29	3.66
Outubro	6800	2.75	76.47	0.00	0.00	2.75	83.00	83.20	6.21	1.27	0.49	6.21	0.49	2.26
Novembro	10400	3.71	78.62	0.48	0.19	3.53	85.00	85.29	13.57	7.36	2.84	13.57	2.84	0.87
Dezembro	16600	3.88	81.63	3.31	1.09	2.79	87.50	87.97	32.62	19.05	7.35	32.62	7.35	-3.47
Janeiro	23900	4.15	84.28	9.39	2.34	1.80	90.00	89.94	56.32	23.71	9.15	56.32	9.15	-5.00
Fevereiro	29100	7.17	85.75	15.96	2.53	4.64	90.00	90.74	68.94	12.62	4.87	68.94	4.87	2.30
Março	33600	11.53	86.84	22.95	2.70	8.83	90.00	91.15	76.04	7.10	2.74	76.04	2.74	8.79
Abril	30200	14.72	86.03	17.56	-2.08	16.80	90.00	90.86	70.99	-5.04	-1.95	70.99	-1.95	16.67
Mai	22700	10.11	83.90	8.12	-3.64	13.75	89.50	89.69	52.78	-18.21	-7.03	52.78	-7.03	17.13
Junho	15900	6.48	81.33	2.93	-2.00	8.48	87.00	87.72	30.25	-22.53	-8.69	30.25	-8.69	15.17
Julho	10600	5.13	78.73	0.58	-0.91	6.03	85.00	85.39	14.08	-16.17	-6.24	14.08	-6.24	11.36
Agosto	6800	3.95	76.47	0.00	-0.22	4.18	83.00	83.20	6.21	-7.87	-3.04	6.21	-3.04	6.99
Setembro	5600	3.37	75.68	0.00	0.00	3.37	82.50	82.62	4.93	-1.27	-0.49	4.93	-0.49	3.86

QUADRO 2.3.3
Comportamento do Igarapé Jirau Antes e Depois da Implantação do Reservatório de Jirau

Mês	Vazão Média Mensal Madeira		Vazão Média Mensal Igarapé Jirau		Condições Naturais						Condições Futuras					
	m³/s		m³/s		NA natural	Volume	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência	Volume	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência
					m	hm³	m³/s	m³/s	m	m	hm³	m³/s	m³/s	hm³	m³/s	m³/s
Setembro	5600		2.26		75.68	0.00	0.00	2.26	82.50	82.41	3.18	-0.29	2.55	-1.43	-0.29	2.55
Outubro	6800		1.84		76.47	0.00	0.00	1.84	83.00	83.20	4.61	0.55	1.29	1.43	0.55	1.29
Novembro	10400		2.48		78.62	0.47	0.18	2.30	85.00	85.29	10.75	2.37	0.12	6.14	2.37	0.12
Dezembro	16600		2.60		81.63	2.14	0.64	1.96	87.50	87.97	25.19	5.57	-2.97	14.44	5.57	-2.97
Janeiro	23900		2.78		84.28	7.31	1.99	0.78	90.00	89.94	41.51	6.30	-3.52	16.32	6.30	-3.52
Fevereiro	29100		4.80		85.75	12.66	2.06	2.74	90.00	90.74	49.73	3.17	1.63	8.22	3.17	1.63
Março	33600		7.72		86.84	18.06	2.09	5.63	90.00	91.15	54.24	1.74	5.98	4.51	1.74	5.98
Abril	30200		9.85		86.03	13.91	-1.60	11.46	90.00	90.86	51.04	-1.23	11.09	-3.20	-1.23	11.09
Maior	22700		6.77		83.90	6.25	-2.96	9.73	89.50	89.69	39.15	-4.59	11.35	-11.89	-4.59	11.35
Junho	15900		4.34		81.33	1.83	-1.70	6.04	87.00	87.72	23.47	-6.05	10.39	-15.68	-6.05	10.39
Julho	10600		3.43		78.73	0.50	-0.51	3.95	85.00	85.39	11.16	-4.75	8.18	-12.31	-4.75	8.18
Agosto	6800		2.65		76.47	0.00	-0.19	2.84	83.00	83.20	4.61	-2.53	5.17	-6.55	-2.53	5.17
Setembro	5600		2.26		75.68	0.00	0.00	2.26	82.50	82.41	3.18	-0.55	2.81	-1.43	-0.55	2.81

QUADRO 2.3.4
Comportamento do Rio Jaci-Paraná Antes e Depois da Implantação do Reservatório de Santo Antônio

Mês	Condições Naturais				Condições Futuras								
	Vazão Média Mensal Madeira	Vazão Média Mensal Rio Jaci-Paraná	NA natural	Volume	Volume Acumulado	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Volume Acumulado	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência
	m ³ /s	m ³ /s	m	hm ³	hm ³	m ³ /s	m ³ /s	m	hm ³	hm ³	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Setembro	5691	69.22	64.15	0.06	-0.05	0.00	69.22	70.00	41.73	-2.24	-0.29	69.51	
Outubro	6944	83.52	64.91	0.11	0.05	0.02	83.50	70.00	43.98	2.26	0.87	82.65	
Novembro	10553	126.89	66.87	2.76	2.65	1.02	125.86	70.00	52.58	8.59	3.31	123.57	
Dezembro	16896	206.33	69.62	28.93	26.17	10.10	196.23	70.00	76.30	23.73	9.15	197.18	
Janeiro	24268	292.49	71.91	85.41	56.48	21.79	270.69	70.00	120.15	43.85	16.92	275.57	
Fevereiro	29582	354.71	73.13	131.58	46.16	17.81	336.90	70.00	163.27	43.12	16.64	338.08	
Março	34207	409.15	73.99	171.80	40.22	15.52	393.63	70.00	207.70	44.43	17.14	392.01	
Abril	30706	369.52	73.35	141.37	-30.42	-11.74	381.26	70.00	173.54	-34.17	-13.18	382.70	
Mai	23107	281.40	71.61	75.58	-65.79	-25.38	306.78	70.00	112.00	-61.54	-23.74	305.14	
Junho	16155	196.48	69.34	24.47	-51.12	-19.72	216.21	70.00	72.90	-39.10	-15.08	211.57	
Julho	10750	130.95	66.97	3.13	-21.34	-8.23	139.18	70.00	53.14	-19.76	-7.62	138.57	
Agosto	6938	84.03	64.90	0.11	-3.02	-1.17	85.20	70.00	43.97	-9.17	-3.54	87.57	
Setembro	5691	69.22	64.15	0.06	-0.05	-0.02	69.24	70.00	41.73	-2.24	-0.87	70.08	

QUADRO 2.3.5
Comportamento do Igarapé Mucuíim (Teotônio) Antes e Depois da Implantação do Reservatório de Santo Antônio

Mês	Vazão Média Mensal		Condições Naturais						Condições Futuras					
	Madeira	Igarapé Mucuíim	NA natural	Volume Acumulado	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume Acumulado	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência	Volume Acumulado	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência
	m ³ /s	m ³ /s	m	hm ³	m ³ /s	m ³ /s	m	m	hm ³	m ³ /s	m ³ /s	hm ³	m ³ /s	m ³ /s
Setembro	5691	1.06	49.87	0.00	0.00	1.06	70.00	70.00	-0.01	-0.29	1.35	24.31	-0.29	1.35
Outubro	6944	0.86	50.65	0.00	0.00	0.86	70.00	70.00	0.01	0.00	0.86	24.32	0.00	0.86
Novembro	10553	1.16	52.70	0.00	0.00	1.16	70.00	70.01	0.05	0.02	1.14	24.38	0.02	1.14
Dezembro	16896	1.22	55.73	0.22	0.08	1.13	70.00	70.05	0.17	0.07	1.15	24.55	0.07	1.15
Janeiro	24268	1.30	58.50	1.00	0.30	1.00	70.00	70.11	0.30	0.12	1.18	24.85	0.12	1.18
Fevereiro	29582	2.25	60.11	1.91	0.35	1.90	70.00	70.17	0.27	0.10	2.15	25.12	0.10	2.15
Março	34207	3.62	61.33	2.90	0.38	3.23	70.00	70.22	0.25	0.10	3.52	25.37	0.10	3.52
Abril	30706	4.62	60.42	2.13	-0.30	4.92	70.00	70.18	-0.19	-0.07	4.69	25.18	-0.07	4.69
Maior	23107	3.17	58.11	0.84	-0.50	3.67	70.00	70.10	-0.38	-0.15	3.32	24.80	-0.15	3.32
Junho	16155	2.03	55.41	0.17	-0.26	2.29	70.00	70.04	-0.27	-0.11	2.14	24.53	-0.11	2.14
Julho	10750	1.61	52.80	0.00	-0.07	1.67	70.00	70.01	-0.14	-0.06	1.66	24.38	-0.06	1.66
Agosto	6938	1.24	50.64	0.00	0.00	1.24	70.00	70.00	-0.06	-0.02	1.26	24.32	-0.02	1.26
Setembro	5691	1.06	49.87	0.00	0.00	1.06	70.00	70.00	-0.01	0.00	1.06	24.31	0.00	1.06

QUADRO 2.3.6
Comportamento do Igarapé Jatuarana Antes e Depois da Implantação do Reservatório de Santo Antônio

Mês	Vazão Média Mensal		Condições Naturais						Condições Futuras					
	Madeira	Igarapé Jatuarana	NA natural	Volume	Volume Acumulado	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Volume Acumulado	Vazão Acumulada	Vazão na Confluência	
	m ³ /s	m ³ /s	m	hm ³	hm ³	m ³ /s	m ³ /s	m	m	hm ³	hm ³	m ³ /s	m ³ /s	
Setembro	5691	2.30	49.87	0.00	0.00	0.00	2.30	70.00	70.00	54.40	-0.02	-0.29	2.60	
Outubro	6944	1.88	50.65	0.00	0.00	0.00	1.88	70.00	70.00	54.42	0.02	0.01	1.87	
Novembro	10553	2.54	52.70	0.00	0.00	0.00	2.54	70.00	70.01	54.55	0.12	0.05	2.49	
Dezembro	16896	2.65	55.73	0.73	0.73	0.28	2.37	70.00	70.05	54.94	0.40	0.15	2.50	
Janeiro	24268	2.83	58.50	2.40	1.67	0.65	2.19	70.00	70.11	55.63	0.69	0.27	2.57	
Fevereiro	29582	4.90	60.11	4.17	1.76	0.68	4.22	70.00	70.17	56.24	0.61	0.23	4.67	
Março	34207	7.88	61.33	6.19	2.02	0.78	7.10	70.00	70.22	56.82	0.58	0.22	7.66	
Abril	30706	10.06	60.42	4.61	-1.57	-0.61	10.67	70.00	70.18	56.38	-0.44	-0.17	10.23	
Maior	23107	6.91	58.11	2.09	-2.52	-0.97	7.88	70.00	70.10	55.51	-0.87	-0.33	7.24	
Junho	16155	4.43	55.41	0.57	-1.52	-0.59	5.01	70.00	70.04	54.89	-0.62	-0.24	4.67	
Julho	10750	3.50	52.80	0.00	-0.57	-0.22	3.72	70.00	70.01	54.56	-0.33	-0.13	3.63	
Agosto	6938	2.70	50.64	0.00	0.00	0.00	2.70	70.00	70.00	54.42	-0.13	-0.05	2.75	
Setembro	5691	2.30	49.87	0.00	0.00	0.00	2.30	70.00	70.00	54.40	-0.02	-0.01	2.31	

Com base nos seis Quadros apresentados anteriormente, e com auxílio de um modelo simples de balanço hídrico mensal, foram elaborados gráficos retratando a evolução dos níveis d'água dentro de cada corpo lateral, afetados pelas variações de nível d'água do próprio rio Madeira e, posteriormente, dos futuros reservatórios. As conseqüentes variações de área inundada e de volume armazenado ao longo do ano também foram representadas graficamente, assim como o resultado do balanço hídrico realizado.

Os gráficos resultantes para cada corpo hídrico (4 gráficos) foram reunidos em uma só figura, para facilitar a análise conjunta. Além disso, para permitir melhor compreensão da dinâmica do escoamento ao longo do ano, seja nas condições atuais, durante o enchimento dos reservatórios ou após sua conclusão, os gráficos cobrem um período de três ciclos hidrológicos completos, assim organizados:

- Período de outubro de 2006 a setembro de 2007 (datas fictícias) em condições atuais, sem reservatórios.
- Período de outubro de 2007 a janeiro de 2008, representativo do enchimento dos reservatórios (lembrar que Jirau enche em três etapas, novembro, dezembro e janeiro, enquanto que Santo Antônio enche totalmente no mês de novembro).
- Período a partir de fevereiro de 2008 (até dezembro de 2009, no gráfico) representativo da operação normal dos reservatórios.

Nos gráficos, os valores mensais de níveis d'água e vazões na foz, relativos à situação atual, são apresentados em tracejado, mesmo após a implantação dos reservatórios, para facilitar a comparação da dinâmica atual com a futura. Também foram indicados os níveis d'água associados à ocorrência de uma cheia com tempo de recorrência de 10 anos, nas condições atuais, que dá uma idéia do alcance atual de uma inundação, mesmo sem a presença dos reservatórios.

Estes gráficos são apresentados nas Figuras 2.3.1 a 2.3.6, sendo as três primeiras relativas aos corpos laterais do reservatório de Jirau e as três seguintes aos do reservatório de Santo Antônio.

2.3.1 Análise do Comportamento Braços Laterais do Reservatório de Jirau

As Figuras 2.3.1 a 2.3.3, a seguir, ilustram o comportamento hidrodinâmico dos três corpos hídricos laterais do reservatório de Jirau.

FIGURA 2.3.1 – Comportamento Dinâmico do Rio Mutum-Paraná

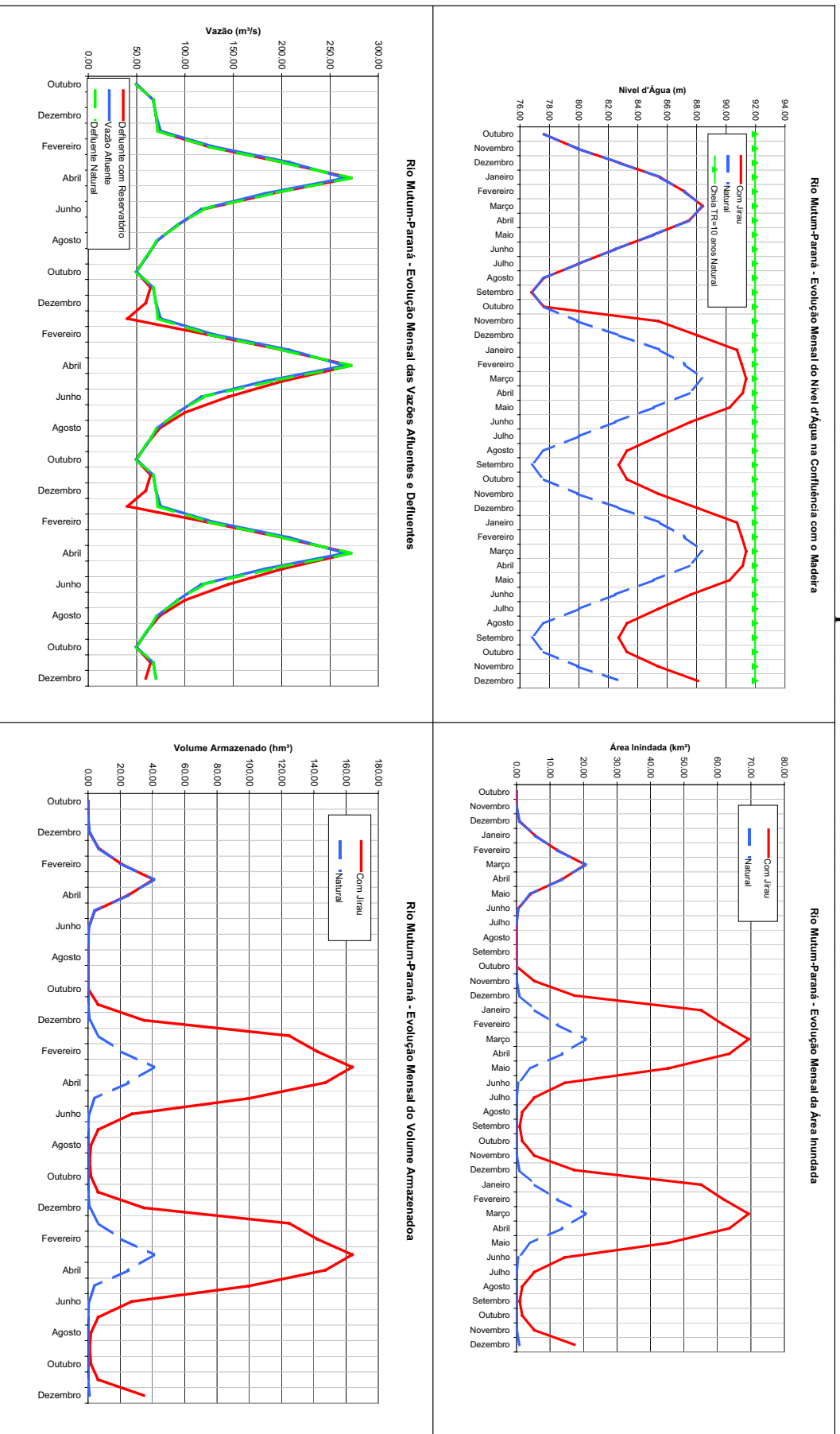


FIGURA 2.3.2 – Comportamento Dinâmico do Igarapé Caçara

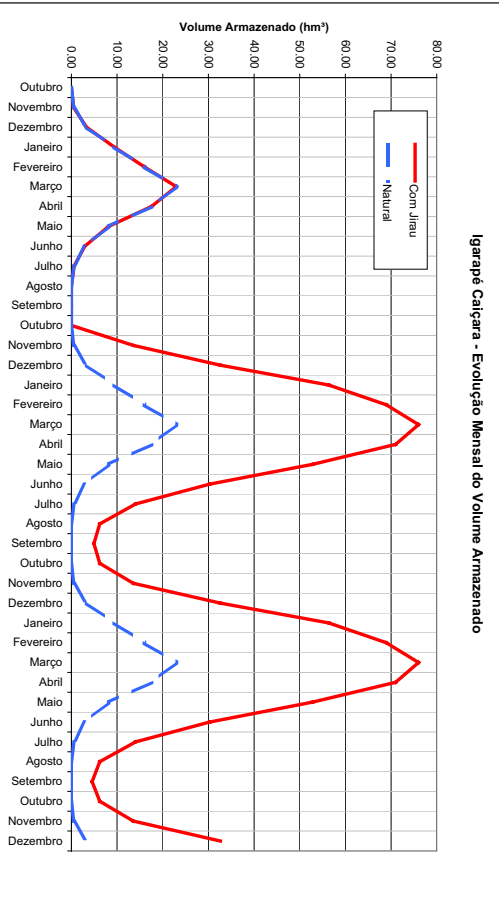
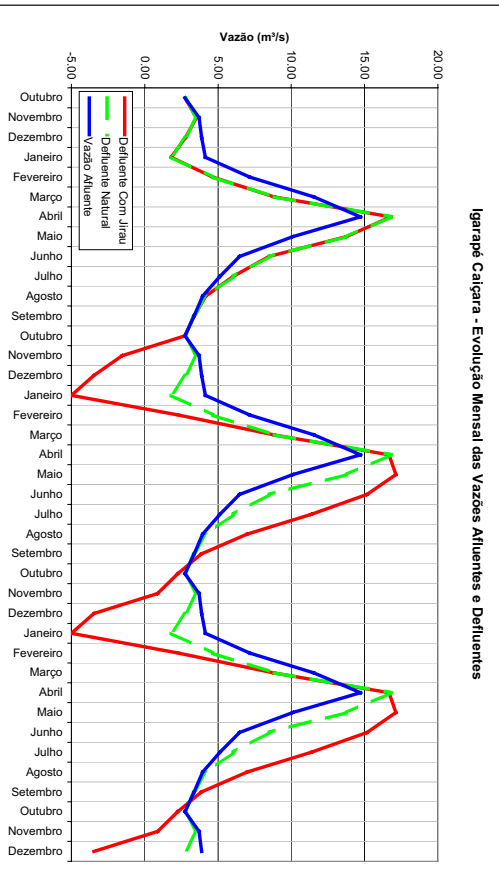
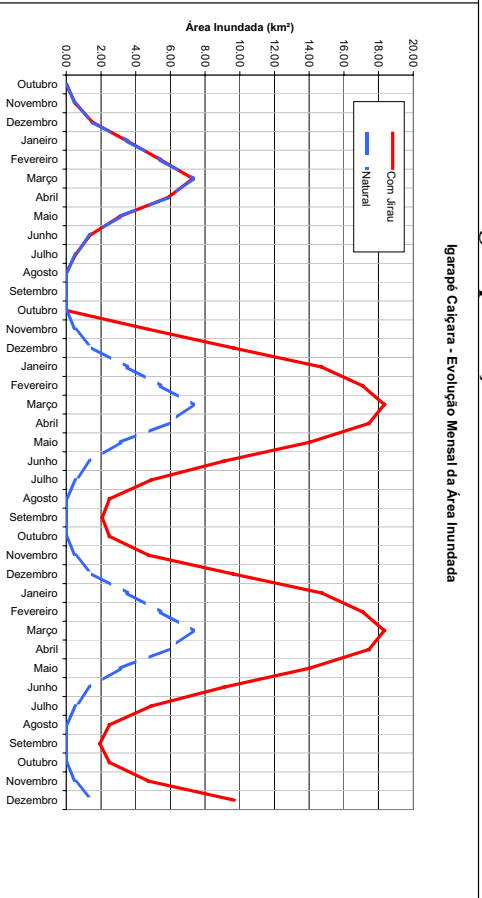
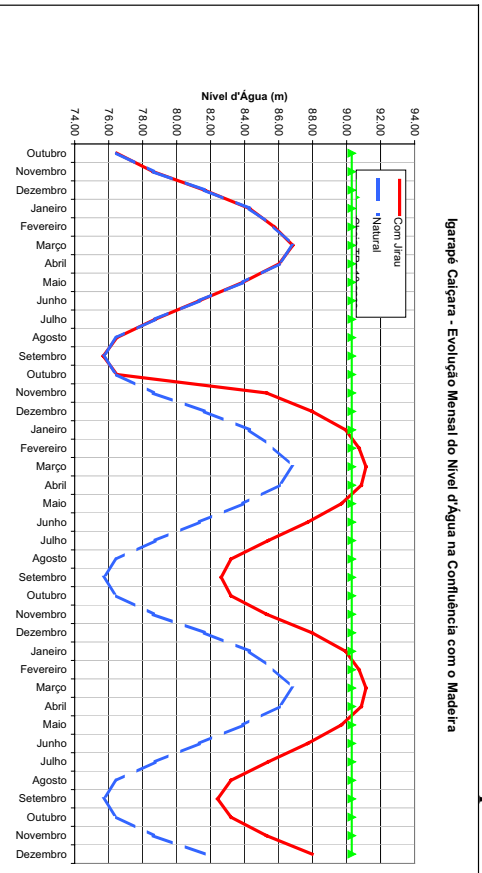
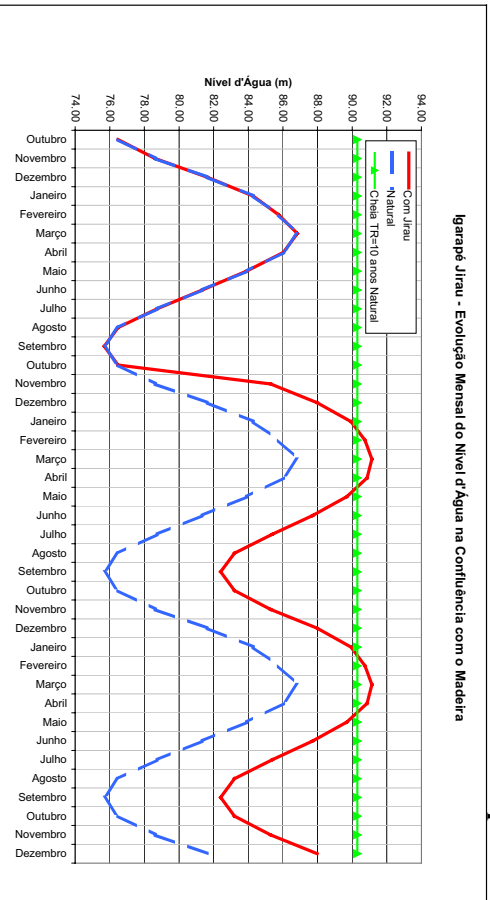
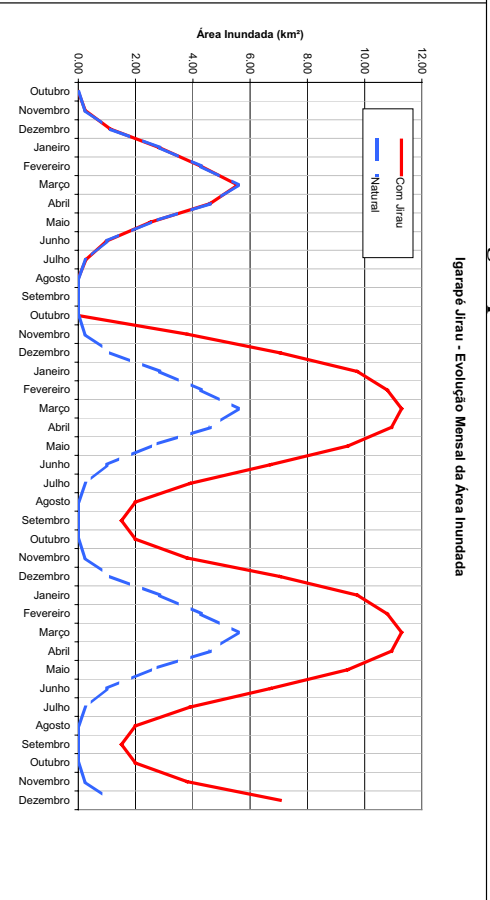


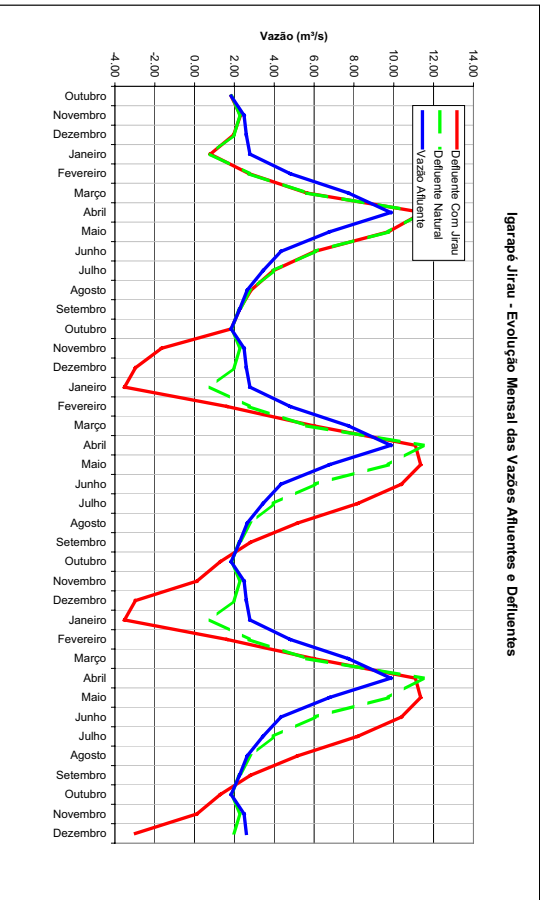
FIGURA 2.3.3 – Comportamento Dinâmico do Igarapé Jirau



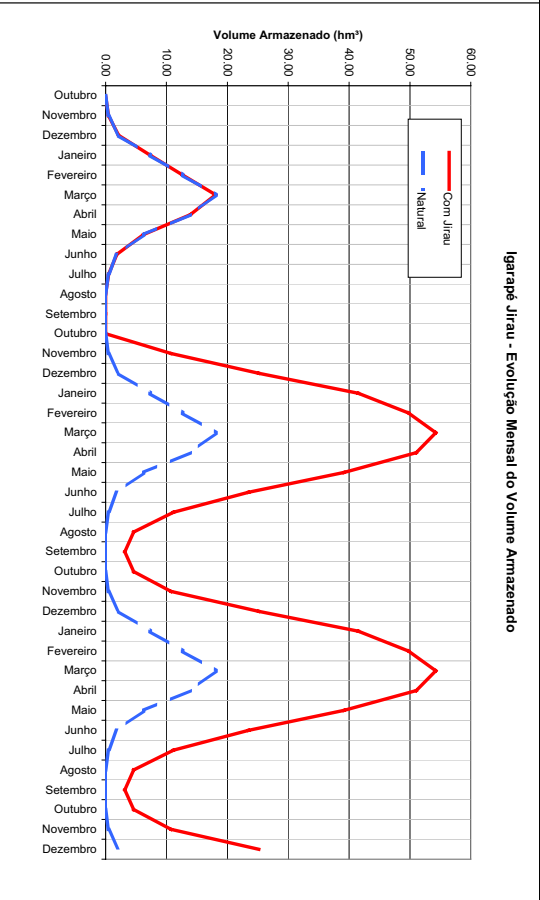
Igarapé Jirau - Evolução Mensal do Nível d'Água na Confluência com o Madeira



Igarapé Jirau - Evolução Mensal da Área Inundada



Igarapé Jirau - Evolução Mensal das Vazões Afluentes e Defluentes



Igarapé Jirau - Evolução Mensal do Volume Armazenado



O rio Madeira já impõe, nas condições atuais, variações de níveis d'água (e em consequência de áreas inundadas e volumes armazenados) bastante acentuadas a todos os afluentes e braços laterais existentes. Os resultados apresentados nas figuras anteriores são a seguir comentados, de forma separada para os corpos hídricos de cada reservatório.

A introdução do reservatório de Jirau, considerando sua variação de Nível d'Água ao longo do ano, garante a manutenção dessa dinâmica de forma parcial: os níveis d'água dos corpos laterais continuarão a apresentar variações sazonais, mas a amplitude dessas variações será reduzida e as oscilações ocorrerão em uma faixa mais elevada de níveis d'água. Em outras palavras, algumas áreas que hoje sofrem inundações periódicas passarão a ficar permanentemente inundadas, enquanto que a frequência e a permanência de inundação de algumas áreas mais elevadas serão aumentadas.

O rio Mutum-Paraná, por exemplo, apresenta hoje variações normais de nível em torno de 11,0 m, entre as cotas 77,0m e 88,0m. Com a implantação da UHE Jirau, esta variação se dará entre as cotas 83,0m e 91,0m, ou seja, numa faixa de 8,0m. As áreas entre as cotas 77,0m e 83,0m passarão a ficar permanentemente inundadas. As áreas abaixo da cota 86,0m, que hoje ficam completamente inundadas durante três meses por ano, em média, passarão a ficar inundadas durante quase seis meses por ano, em média.

No rio Mutum-Paraná, o nível d'água médio do mês mais cheio, que hoje alcança a cota 88,0m, irá alcançar no futuro a cota 93,0m, quase a cota correspondente a uma cheia de TR=10 anos nas condições atuais.

Já no Igarapé Caiçaras, situado mais a jusante, nas proximidades do futuro barramento, o nível d'água médio do mês mais cheio, que hoje pouco ultrapassa a cota 86,0m, irá alcançar no futuro a cota 91,0m, superior à cota correspondente a uma cheia de TR=10 anos nas condições atuais.

Quanto ao balanço hídrico, verifica-se que no rio Mutum-Paraná não ocorre penetração de água do rio Madeira (como pode ser visto pela não ocorrência de vazões negativas em sua foz), mesmo durante o enchimento inicial do reservatório. Já para os Igarapés Caiçaras e Jirau, a penetração de águas do rio Madeira, que não ocorre atualmente, passará a ocorrer após a implantação do reservatório, com vazões negativas máximas de 5 m³/s, no caso do Igarapé Caiçara, e de 4 m³/s, no Igarapé Jirau.

Esta alteração, se por um lado cria uma situação nova, com presença de águas provenientes do rio Madeira dentro dos dois corpos laterais, por outro lado evidencia que as águas deste braço serão renovadas anualmente em sua totalidade.

A introdução do reservatório de Jirau tende a duplicar as áreas máximas inundadas anualmente nos dois braços laterais de jusante e a triplicar essas áreas no braço do rio Mutum-Paraná e seu bolsão lateral. Na verdade, o bolsão lateral, por ser muito raso e espraiado, causa este aumento relativo de área inundada em relação aos dois corpos menores, que são mais representativos dos demais corpos hídricos laterais do reservatório de Jirau.

Da mesma forma, os volumes máximos armazenados anualmente nos corpos laterais de jusante irão triplicar enquanto que para o rio Mutum-Paraná esses volumes chegam a quadruplicar, devido à influência de seu bolsão lateral.

Os braços dos Igarapés Caiçaras e Jirau podem ser considerados como representativos de todos os corpos laterais do reservatório de Jirau.

O rio Mutum-Paraná e seu bolsão lateral são uma exceção, devido ao porte e à magnitude das vazões afluentes. Seu comportamento hidráulico será analisado em maior detalhe no item 3 desse relatório, para preparação dos dados para o modelo de qualidade da água.

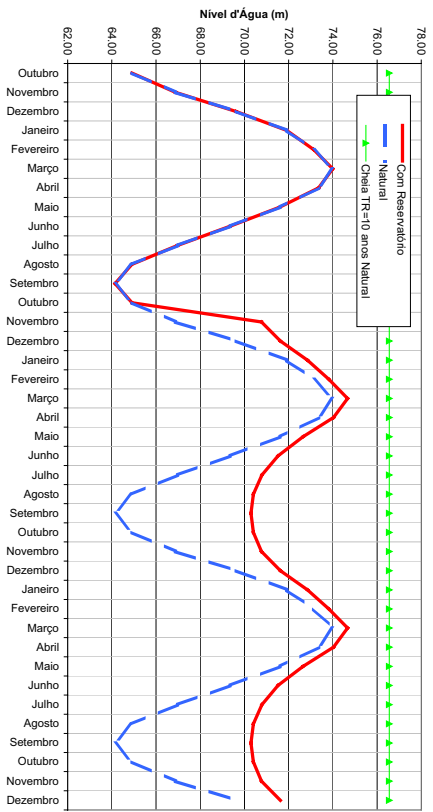
2.3.2 Análise do Comportamento Braços Laterais do Reservatório de Santo Antônio

As Figuras 2.3.4 a 2.3.6, a seguir, ilustram o comportamento hidrodinâmico dos três corpos hídricos laterais do reservatório de Santo Antônio.

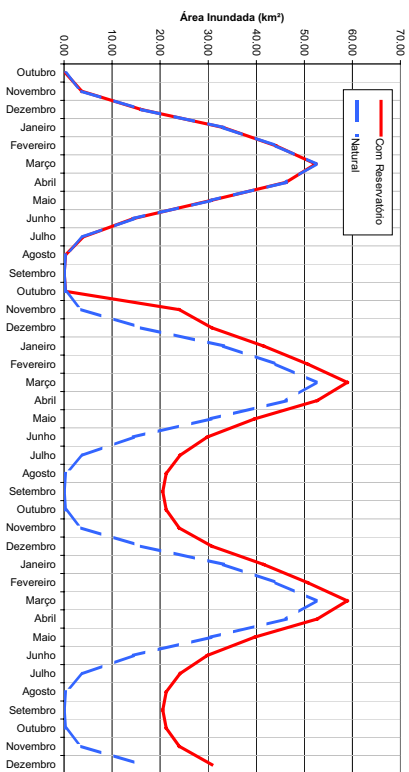
Ao final, para permitir uma visão comparativa, a Figura 2.3.7 sintetiza a análise da evolução de níveis d'água, que dá origem ao comportamento hidrodinâmico dos corpos laterais, mostrando lado a lado os gráficos correspondentes aos quatro corpos hídricos mais representativos, dois de cada reservatório.

Após as figuras são apresentados os comentários ao seu conteúdo.

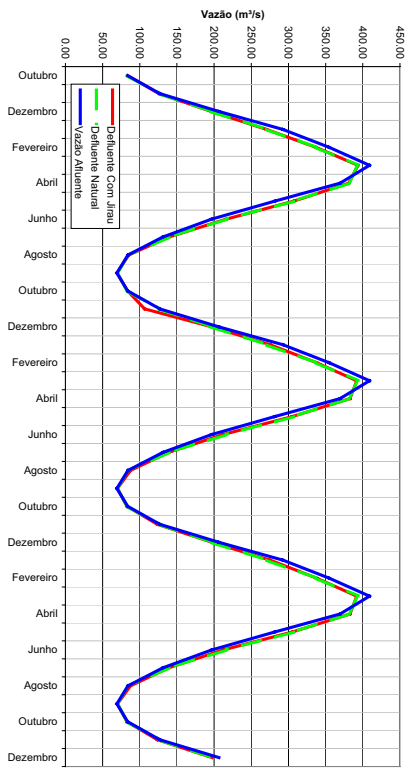
FIGURA 2.3.4 – Comportamento Dinâmico do Rio Jaci-Paraná



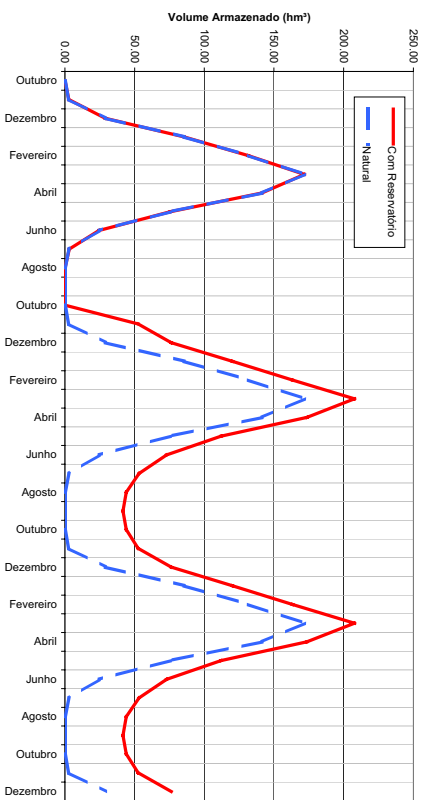
Rio Jaci-Paraná - Evolução Mensal do Nível d'Água na Confluência com o Madeira



Rio Jaci-Paraná - Evolução Mensal da Área Inundada

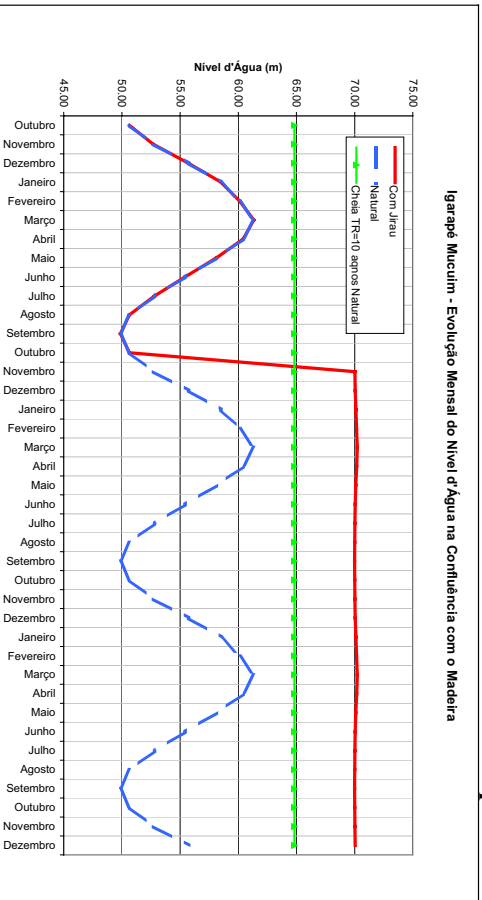


Rio Jaci-Paraná - Evolução Mensal das Vazões Afluentes e Defluentes

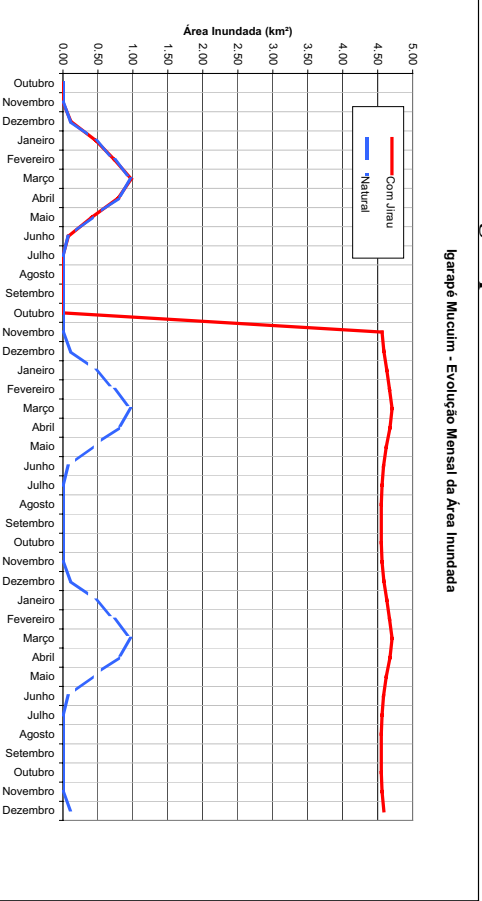


Rio Jaci-Paraná - Evolução Mensal do Volume Armazenado

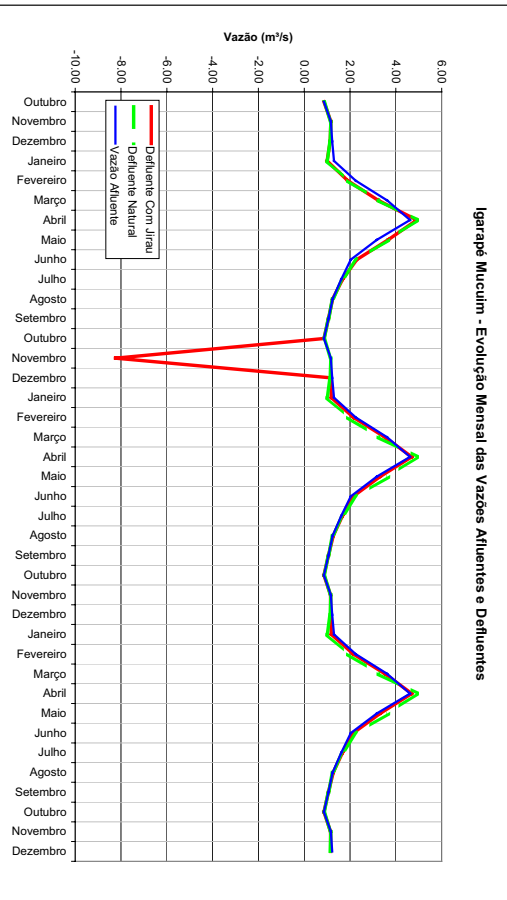
FIGURA 2.3.5 – Comportamento Dinâmico do Igarapé Mucum



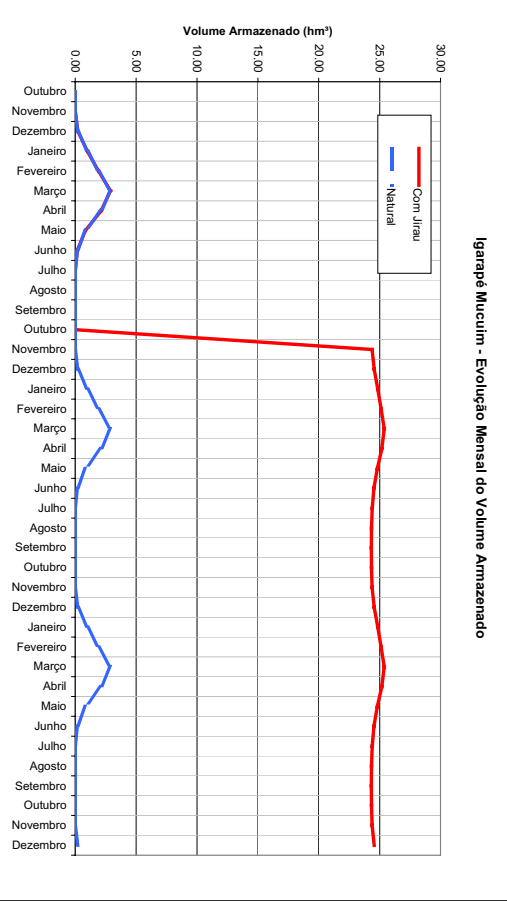
Igarapé Mucum - Evolução Mensal do Nível d'Água na Confluência com o Madeira



Igarapé Mucum - Evolução Mensal da Área Inundada

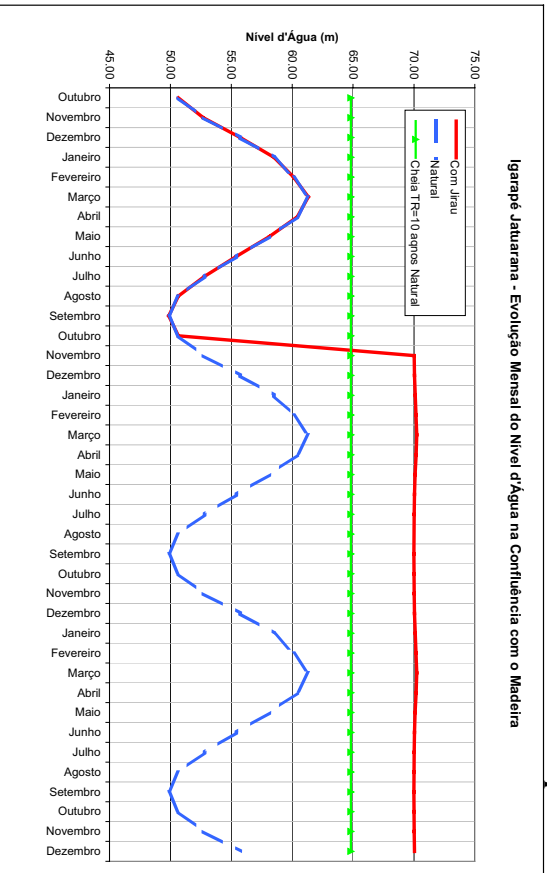


Igarapé Mucum - Evolução Mensal das Vazões Afluentes e Defluentes

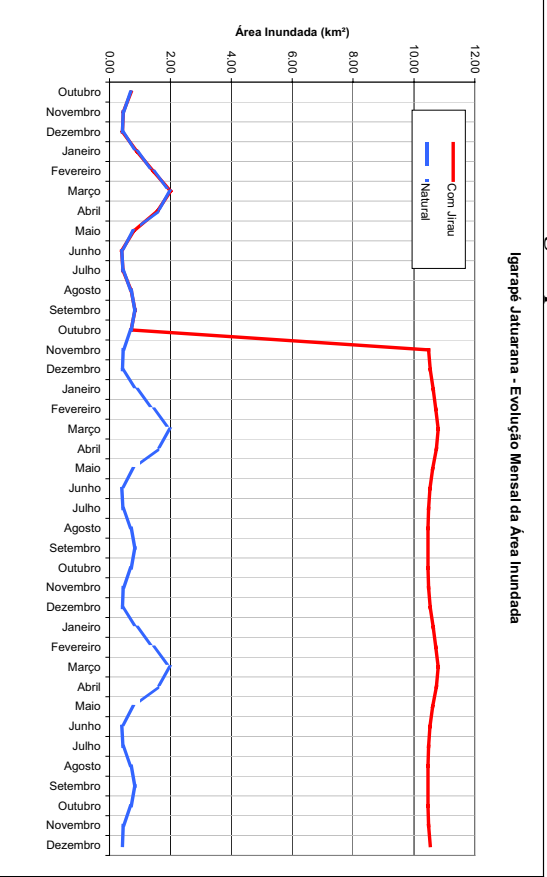


Igarapé Mucum - Evolução Mensal do Volume Armazenado

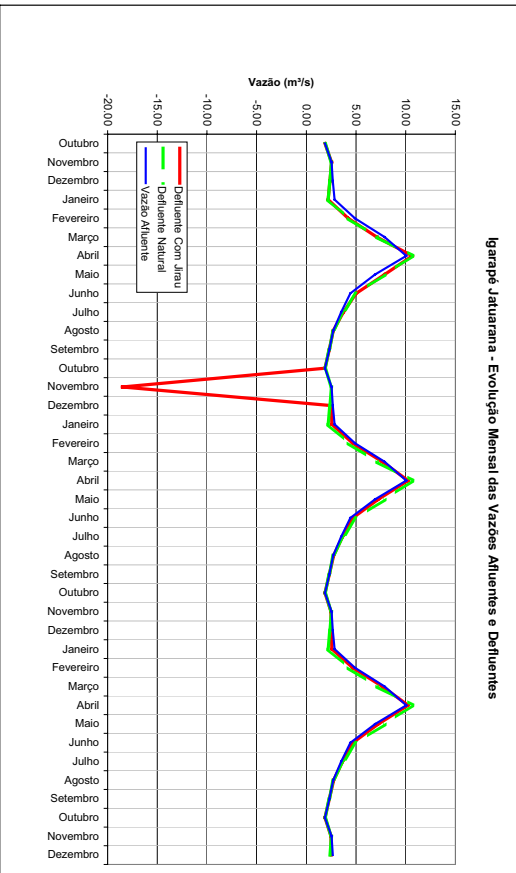
FIGURA 2.3.6 – Comportamento Dinâmico do Igarapé Jatuarana



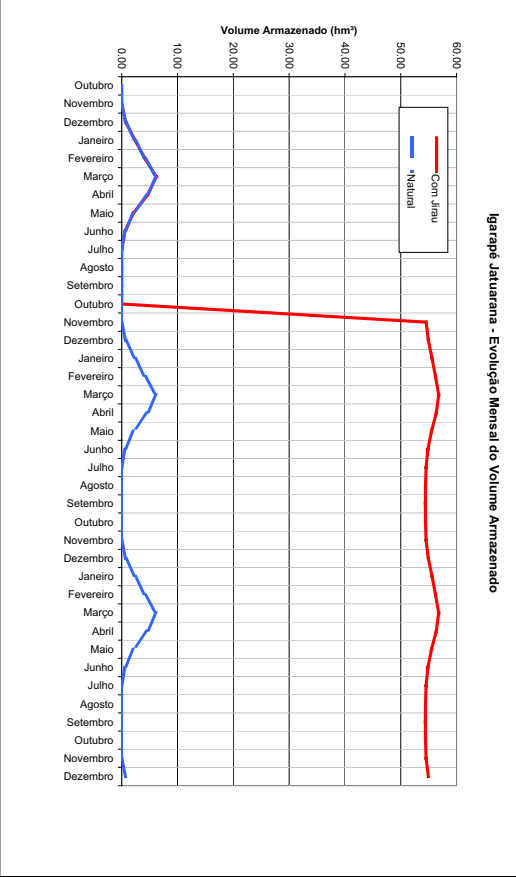
Igarapé Jatuarana - Evolução Mensal do Nível d'Água na Confluência com o Madeira



Igarapé Jatuarana - Evolução Mensal da Área Inundada

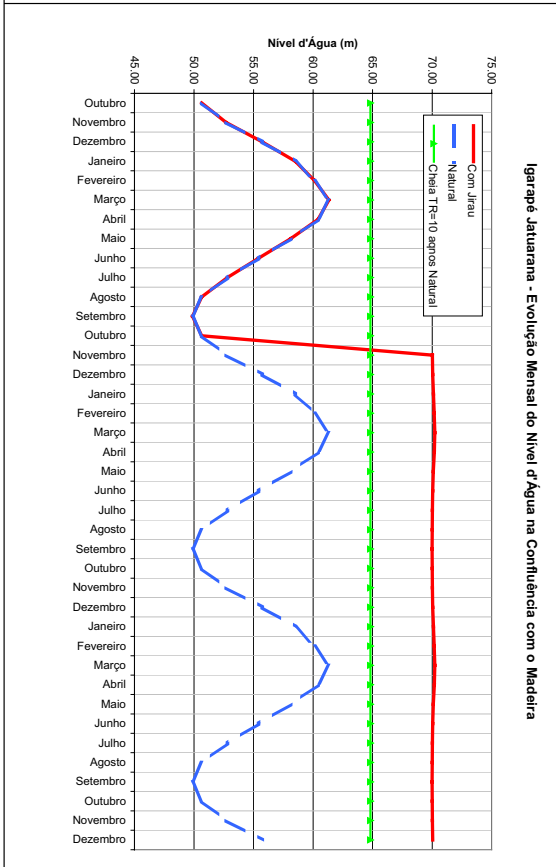
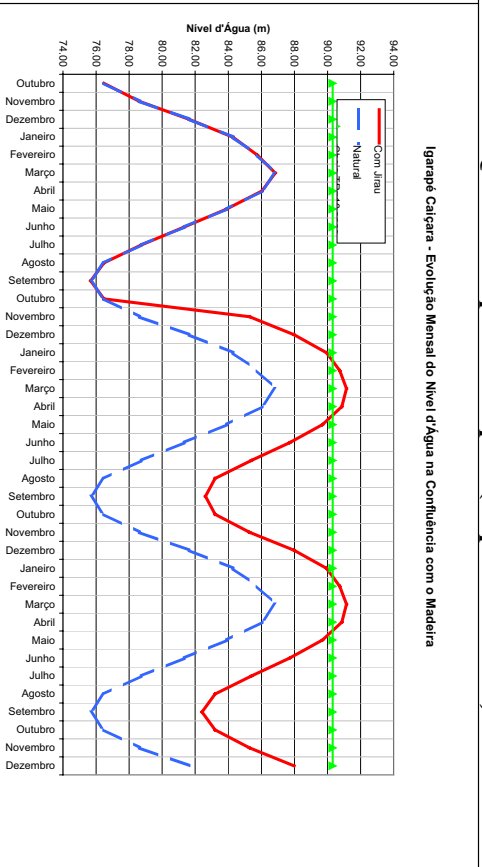
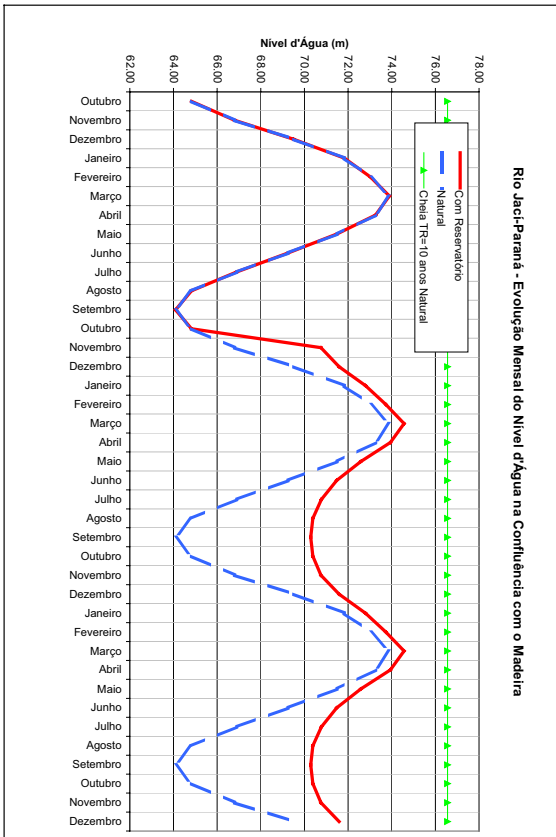
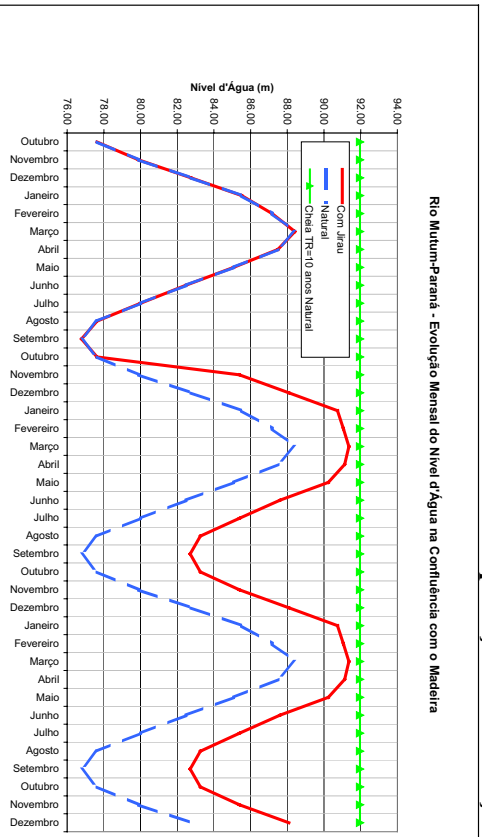


Igarapé Jatuarana - Evolução Mensal das Vazões Afluentes e Defluentes



Igarapé Jatuarana - Evolução Mensal do Volume Armazenado

FIGURA 2.3.7 – Comparação do Balanço Hídrico dos Quatro Corpos Principais (Representativos)



No estirão correspondente ao futuro reservatório de Santo Antônio, o rio Madeira também impõe, nas condições atuais, variações de níveis d'água (e em consequência de áreas inundadas e volumes armazenados) bastante acentuadas a todos os afluentes e braços laterais existentes. Entretanto, ao contrário do reservatório de Jirau, o reservatório de Santo Antônio irá operar durante todo o ano com nível constante, de modo que sua única influência sobre a dinâmica dos braços laterais ficará por conta das variações muito reduzidas de níveis d'água devido aos efeitos de remanso. As figuras apresentadas anteriormente, e comentadas a seguir, ilustram bem o que foi dito.

É possível distribuir os braços laterais do reservatório de Santo Antônio em duas categorias, considerando o peculiar perfil do leito do rio Madeira neste trecho, que apresenta uma queda concentrada em Salto Teotônio. Os afluentes a jusante do Salto, mais próximos à barragem, possuem leitos mais baixos e, após a introdução do reservatório se transformarão em corpos hídricos de grande profundidade (na faixa de 20 m) junto à foz. Já os afluentes situados a montante serão, futuramente, braços mais rasos. Estes afluentes de montante também estarão sujeitos a maiores variações de nível d'água após a implantação do reservatório porque recebem mais influência do regime fluvial do rio Madeira (através do remanso) que os afluentes de jusante, sujeitos apenas aos níveis impostos pela barragem. Esta afirmativa pode ser comprovada na análise dos três gráficos apresentados anteriormente.

A introdução do reservatório de Santo Antônio irá inundar permanentemente áreas hoje apenas sujeitas à inundações periódicas e, particularmente no caso dos braços mais próximos à barragem, muitas áreas atualmente não inundáveis.

Os Igarapés Jatuarana e Mucuí, por exemplo, apresentam hoje variações normais de nível d'água em torno de 6,0 m, entre as cotas 50,0m e 61,0m. A implantação da UHE Santo Antônio fará com que estas oscilações sazonais sejam reduzidas a cerca de 20 cm, em torno da cota 70,00 (NA normal do reservatório). As áreas entre as cotas 50,0m e 61,0m, hoje inundadas periodicamente, passarão a ficar permanentemente inundadas. As áreas acima da cota 65,0m, hoje inundável apenas durante cheias superiores àquela com tempo de recorrência de 10 anos, passarão a ficar permanentemente inundadas.

O rio Jaci-Paraná, situado a montante do Salto Teotônio, já no terço superior do trecho entre Santo Antônio e Jirau, apresenta um comportamento totalmente diferenciado, semelhante ao apresentado pelo Rio Mutum-Paraná. As variações normais de nível d'água no Jaci oscilam hoje em torno de 10,0 m, entre as cotas 64,0m e 74,0m. Com a implantação da UHE Santo Antônio, esta variação se dará entre as cotas 70,3m e 74,5m, ou seja, numa faixa de 4,2m. As áreas entre as cotas 64,0m e 74,0m passarão a estar permanentemente inundadas. As áreas abaixo da cota 72,0m, que hoje ficam completamente inundadas durante três meses por ano, em média, passarão a ficar inundadas durante cinco meses por ano, em média.

É interessante notar ainda que, no rio Jaci-Paraná, o nível d'água médio do mês mais cheio, que alcança hoje a cota 74,0m, deverá alcançar no futuro a cota 74,5,0m, continuando ainda cerca de 2,0m inferior à cota correspondente a uma cheia de TR=10 anos nas condições atuais.

Analisando-se o balanço hídrico, verifica-se que no rio Jaci-Paraná não ocorre penetração de água do rio Madeira (como pode ser visto pela não ocorrência de vazões negativas em sua

foz), mesmo durante o enchimento inicial do reservatório. Nos Igarapés Mucuí e Jatuarana também não ocorre, em condições naturais, penetração de águas do rio Madeira. Depois de estabelecida a operação normal do reservatório este comportamento também será válido. Entretanto, o enchimento desses braços laterais será feito predominantemente com água do rio Madeira, conforme demonstrado nos gráficos apresentados, com vazões negativas na foz da ordem de 8 m³/s no Mucuí e 20 m³/s no Jatuarana.

A renovação das águas desses braços laterais de jusante irá depender apenas das vazões afluentes aos mesmos, incompatível com os volumes armazenados, devendo se processar muito lentamente. Uma possibilidade é a renovação dessas águas através de manobras operativas de depleção do reservatório de Santo Antônio, realizadas com este objetivo específico, já que o aproveitamento está projetado para operação sem deplecionamento.

A magnitude das áreas inundadas e dos volumes armazenados nos corpos laterais do reservatório de Santo Antônio será amplificada, em relação às inundações sazonais hoje verificadas, sendo este efeito decrescente de jusante para montante. Como a inundação dos Igarapés Mucuí e Jatuarana é definitiva, esta amplificação não é relevante, pois será criado, na verdade, um ambiente novo nesses braços. Para os braços de montante, espera-se efeito similar aos verificados no reservatório de Jirau, sendo que no caso de Santo Antônio, o controle exercido pela calha do rio Madeira a montante do Salto Teotônio é que será responsável pela dinâmica sazonal dos corpos laterais.

2.4 Dinâmica dos Corpos Laterais – Tempos de Residência e Tendência à Estratificação

Para fazer uma avaliação da tendência à estratificação dos braços laterais, após a implantação dos reservatórios de Jirau e Santo Antônio, foram calculados, mês a mês, os tempos de residência da água nesses braços. O cálculo foi feito a cada mês porque a vazão afluente a cada braço varia ao longo do ano e também porque, no caso do reservatório de Jirau, os volumes dos braços variam significativamente devido à operação do reservatório, que depleciona até 7,5 m nos meses de estiagem.

A interpretação dos resultados, que são apresentados nos Quadros 2.4.1 a 2.4.6 (novamente um para cada corpo hídrico estudado) deve ser feita com cuidado, pois um tempo de residência de 180 dias não significa que a água levará 180 dias para ser totalmente renovada, já que no mês seguinte, com o aumento das vazões ou com o deplecionamento do reservatório (no caso de Jirau), essas condições podem mudar drasticamente. Um elevado tempo de residência significa que o regime de escoamento no braço lateral nesse mês é de muito baixas velocidades, favorecendo, por exemplo, uma estratificação, caso essa situação perdure e caso as profundidades sejam suficientemente elevadas. Normalmente tempos de residência superiores a 4 meses favorecem processos de estratificação, de acordo com os critérios preconizados pelo Water Resources Engineers Inc. - 1969.

Outra forma de se avaliar a tendência à estratificação de um reservatório é o critério do número de Froude Densimétrico, proposto por U.S. Army Corps of Engineers (1987). O número de Froude Densimétrico, *F_d*, é calculado por:

$$Fd = \frac{L \cdot Q}{Dm \cdot V} \cdot \sqrt{\frac{1}{g \cdot e}}$$

Onde:

- Q = vazão em trânsito (m³/s)
- L = comprimento do reservatório (m);
- Dm = profundidade média do reservatório (m);
- V = volume do reservatório em m³/s;
- g = aceleração da gravidade (9,81 m/s²);
- e = gradiente médio de massa específica (0,9643E-06).

Tendo como condições de estratificação:

- se $Fd > 1$ - sistema misturado;
- se $Fd < 1 / 3,1416 = 0,3183$ - sistema estratificado;
- se $0,3183 < Fd < 1$ - estratificação intermitente.

Os Quadros 2.4.1 a 2.4.12 apresentam os cálculos de tempo de residência e de Froude Densimétrico, realizados mês a mês para cada um dos corpos hídricos estudados. Nesses quadros, os resultados indicativos de tendência à estratificação foram assinalados em cores, da seguinte forma: sem tendência (reservatório totalmente misturado) em azul, tendência à estratificação intermitente em amarelo e tendência à estratificação em alaranjado.

Os comentários acerca dos resultados dos quadros são feitos em separadamente para cada reservatório, para facilitar o acompanhamento da análise.

QUADRO 2.4.1
Rio Mutum-Paraná – Indicadores de Tendência à Estratificação Após a Implantação do Reservatório de Jirau

Mês	Condições Futuras								
	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Área	Tempo de Residência	Extensão	Profundidade Média	Vazão na Confluência	Froude Densimétrico
	m	m	hm ³	km ²	dias	km	m	m ³ /s	adimensional
Setembro	82.50	82.70	0.00	1.30	0.0	4.33	-	61.12	-
Outubro	83.00	83.26	0.18	2.10	0.0	4.97	-	49.53	-
Novembro	85.00	85.39	6.79	5.33	1.2	24.30	1.27	64.41	58.31
Dezembro	87.50	88.09	34.27	17.98	5.7	23.31	1.91	59.46	6.829
Janeiro	90.00	90.74	123.36	54.46	19.1	38.49	2.27	40.45	1.793
Fevereiro	90.00	91.06	141.92	61.36	12.7	38.91	2.31	122.17	4.660
Março	90.00	91.36	161.40	68.42	9.0	39.37	2.36	200.57	6.674
Abril	90.00	91.13	146.28	62.95	6.4	39.05	2.32	271.40	10.03
Maior	89.50	90.24	98.47	44.92	6.3	38.41	2.19	200.80	11.50
Junho	87.00	87.60	26.40	14.37	2.6	22.45	1.84	144.66	21.54
Julho	85.00	85.40	6.84	5.36	0.9	24.30	1.28	100.01	89.56
Agosto	83.00	83.26	0.18	2.10	0.0	4.97	-	73.91	-
Setembro	82.50	82.70	0.00	1.30	0.0	4.33	-	60.89	-

QUADRO 2.4.2
Igarapé Caiçara – Indicadores de Tendência à Estratificação Após a Implantação do Reservatório de Jirau

Mês	Condições Futuras								
	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Área	Tempo de Residência	Extensão	Profundidade Média	Vazão na Confluência	Froude Densimétrico
	m	m	hm ³	km ²	dias	km	m	m ³ /s	adimensional
Setembro	82.50	82.62	4.93	2.07	17	4.66	2.38	3.66	0.467
Outubro	83.00	83.20	6.21	2.49	26	5.23	2.49	2.26	0.246
Novembro	85.00	85.29	13.57	4.75	42	6.79	2.86	0.87	0.05
Dezembro	87.50	87.97	32.62	9.66	97	8.26	3.38	-3.47	0.084
Janeiro	90.00	89.94	56.32	14.71	157	9.93	3.83	-5.00	0.074
Fevereiro	90.00	90.74	68.94	17.08	111	10.22	4.04	2.30	0.027
Março	90.00	91.15	76.04	18.33	76	10.73	4.15	8.79	0.096
Abril	90.00	90.86	70.99	17.44	56	10.22	4.07	16.67	0.19
Mai	89.50	89.69	52.78	14.01	60	9.86	3.77	17.13	0.27
Junho	87.00	87.72	30.25	9.10	54	8.38	3.32	15.17	0.41
Julho	85.00	85.39	14.08	4.90	32	6.79	2.87	11.36	0.61
Agosto	83.00	83.20	6.21	2.49	18	5.23	2.49	6.99	1
Setembro	82.50	82.62	4.93	2.07	17	4.66	2.38	3.86	0.492

QUADRO 2.4.3
Igarapé Jirau – Indicadores de Tendência à Estratificação Após a Implantação do Reservatório de Jirau

Mês	Condições Futuras								
	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Área	Tempo de Residência	Extensão	Profundidade Média	Vazão na Confluência	Froude Densimétrico
	m	m	hm ³	km ²	dias	km	m	m ³ /s	adimensional
Setembro	82.50	82.41	3.18	1.51	16.3	7.04	2.10	2.55	0.865
Outubro	83.00	83.20	4.61	2.00	29.0	7.23	2.30	1.29	0.282
Novembro	85.00	85.29	10.75	3.79	50.1	7.68	2.83	0.12	0.01
Dezembro	87.50	87.97	25.19	7.05	112.1	10.31	3.57	-2.97	0.110
Janeiro	90.00	89.94	41.51	9.75	173.0	12.10	4.26	-3.52	0.078
Fevereiro	90.00	90.74	49.73	10.79	119.9	12.93	4.61	1.63	0.030
Março	90.00	91.15	54.24	11.29	81.3	13.40	4.80	5.98	0.099
Abril	90.00	90.86	51.04	10.94	59.9	12.93	4.66	11.09	0.19
Mai	89.50	89.69	39.15	9.41	67.0	12.08	4.16	11.35	0.27
Junho	87.00	87.72	23.47	6.72	62.6	9.58	3.49	10.39	0.39
Julho	85.00	85.39	11.16	3.90	37.6	7.68	2.86	8.18	0.63
Agosto	83.00	83.20	4.61	2.00	20.1	7.23	2.30	5.17	1
Setembro	82.50	82.41	3.18	1.51	16.3	7.04	2.10	2.81	0.953

Como pode ser visto nesses primeiros quadros, o comportamento dos corpos laterais do reservatório de Jirau é muito afetado pela sua operação, que envolve deplecionamentos no período de estiagem.

O rio Mutum-Paraná e seu bolsão lateral formam, na realidade, um único sistema que é alimentado pelas águas dos rios Mutum-Paraná e Cotia, apresentando tempos de residência pequenos, da ordem de 10 dias no máximo, não apresentando tendência à estratificação. O número de Froude Densimétrico, sempre superior a 2, confirma esta tendência (ver Quadro 2.4.1).

O bolsão do Mutum, que se forma lateralmente ao rio Mutum-Paraná, tem seu comportamento muito afetado pelas variações de níveis do rio Madeira, a ele transmitidas pelo próprio rio Mutum-Paraná. Este bolsão, se considerado isoladamente, apresenta tempos de residência elevadíssimos nos meses de cheia (janeiro a abril), devido às baixas vazões afluentes e ao grande volume armazenado nesse período, quando suas águas praticamente não são renovadas. Entretanto, devido a suas baixas profundidades, não oferece condições adequadas a um processo de estratificação. Além disso, quando o reservatório de Jirau é deplecionado, a partir de maio, o bolsão é rapidamente esgotado, ficando seco em três meses, já que a cota mínima deste corpo lateral é 84,50 m (vide curva cota-volume apresentada anteriormente). Nesse período de esvaziamento, o bolsão descarrega no rio Mutum, e em seguida no reservatório de Jirau, toda a carga de nutrientes nele acumulada durante o período de cheia, originada pela vegetação afogada durante o enchimento (ou re-enchimento anual) do reservatório, de outubro a janeiro.

Os tempos de residência médios nos bolsões dos Igarapés Caiçara e Jirau (Quadros 2.4.2 e 2.4.3), que possuem vazões afluentes pequenas, alcançam quase seis meses, quando calculados no mês de janeiro, que é quando o nível operativo do reservatório de Jirau alcança a cota 90,00 m. Entretanto, os níveis d'água elevados no rio Madeira duram apenas quatro meses (de janeiro a abril), de forma que a partir de maio ocorre uma renovação das águas desses bolsões devido ao deplecionamento do reservatório. No período de estiagem, o tempo de residência médio situa-se entre 2 e 3 meses.

Estas características indicam que, pelo critério do tempo de detenção (Water Resources Engineers Inc. - 1969), poderá ocorrer estratificação intermitente nesses dois bolsões, possivelmente no final do período de cheia. Esta estratificação, caso ocorra, é sempre desfeita pelo deplecionamento do reservatório de Jirau, que ocorre a partir de maio.

Aplicando-se o critério do Froude Densimétrico aos bolsões dos Igarapés Caiçara e Jirau, e levando em consideração as vazões induzidas pela variação sazonal do reservatório, verificou-se tendência à estratificação nos meses de outubro a maio. De junho a setembro, o Froude Densimétrico indicou a possibilidade de estratificação intermitente.

A seguir são apresentados e discutidos os resultados correspondentes aos três corpos laterais do reservatório de Santo Antônio.

QUADRO 2.4.4
Rio Jaci-Paraná – Indicadores de Tendência à Estratificação Após a Implantação do Reservatório de Santo Antônio

Mês	Condições Futuras								
	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Área	Tempo de Residência	Extensão	Profundidade Média	Vazão na Confluência	Froude Densimétrico
	m	m	hm ³	km ²	dias	km	m	m ³ /s	adimensional
Setembro	70.00	70.30	41.73	20.54	7.0	55.00	2.03	69.51	14.51
Outubro	70.00	70.40	43.98	21.27	6.1	55.40	2.07	82.65	16.20
Novembro	70.00	70.77	52.58	23.97	4.8	57.60	2.19	123.57	19.86
Dezembro	70.00	71.63	76.30	30.75	4.3	60.22	2.48	197.18	20.18
Janeiro	70.00	72.86	120.15	41.56	4.8	62.30	2.89	275.57	15.90
Fevereiro	70.00	73.82	163.27	50.69	5.3	63.20	3.22	338.08	13.08
Março	70.00	74.67	207.70	58.96	5.9	64.50	3.52	392.01	11.12
Abril	70.00	74.03	173.54	52.70	5.4	63.40	3.29	382.70	13.66
Maio	70.00	72.65	112.00	39.68	4.6	62.00	2.82	305.14	19.26
Junho	70.00	71.52	72.90	29.83	4.3	59.50	2.44	211.57	22.74
Julho	70.00	70.79	53.14	24.14	4.7	57.60	2.20	138.57	21.96
Agosto	70.00	70.40	43.97	21.27	6.1	55.40	2.07	87.57	17.17
Setembro	70.00	70.30	41.73	20.54	7.0	55.00	2.03	70.08	14.63

QUADRO 2.4.5
Igarapé Mucum – Indicadores de Tendência à Estratificação Após a Implantação do Reservatório de Santo Antônio

Mês	Condições Futuras								
	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Área	Tempo de Residência	Extensão	Profundidade Média	Vazão na Confluência	Froude Densimétrico
	m	m	hm ³	km ²	dias	km	m	m ³ /s	adimensional
Setembro	70.00	70.00	24.31	4.55	266	6.15	5.34	1.35	0.021
Outubro	70.00	70.00	24.32	4.55	326	6.15	5.34	0.86	0.013
Novembro	70.00	70.01	24.38	4.56	242	6.15	5.35	1.14	0.02
Dezembro	70.00	70.05	24.55	4.59	233	6.15	5.35	1.15	0.017
Janeiro	70.00	70.11	24.85	4.63	221	6.15	5.37	1.18	0.018
Fevereiro	70.00	70.17	25.12	4.67	129	6.15	5.38	2.15	0.031
Março	70.00	70.22	25.37	4.70	81	6.15	5.39	3.52	0.051
Abril	70.00	70.18	25.18	4.68	63	6.15	5.38	4.69	0.07
Maio	70.00	70.10	24.80	4.62	91	6.15	5.37	3.32	0.05
Junho	70.00	70.04	24.53	4.58	140	6.15	5.35	2.14	0.03
Julho	70.00	70.01	24.38	4.56	176	6.15	5.35	1.66	0.03
Agosto	70.00	70.00	24.32	4.55	227	6.15	5.34	1.26	0
Setembro	70.00	70.00	24.31	4.55	266	6.15	5.34	1.06	0.016

QUADRO 2.4.6
Igarapé Jatuarana – Indicadores de Tendência à Estratificação Após a Implantação do Reservatório de Santo Antônio

Mês	Condições Futuras								
	NA do Reservatório	NA do Bolsão	Volume	Área	Tempo de Residência	Extensão	Profundidade Média	Vazão na Confluência	Froude Densimétrico
	m	m	hm ³	km ²	dias	km	m	m ³ /s	adimensional
Setembro	70.00	70.00	54.40	10.46	273	17.82	5.20	2.60	0.053
Outubro	70.00	70.00	54.42	10.46	335	17.82	5.20	1.87	0.038
Novembro	70.00	70.01	54.55	10.48	249	17.82	5.20	2.49	0.050
Dezembro	70.00	70.05	54.94	10.54	240	17.82	5.21	2.50	0.050
Janeiro	70.00	70.11	55.63	10.63	227	17.82	5.23	2.57	0.051
Fevereiro	70.00	70.17	56.24	10.72	133	17.82	5.25	4.67	0.091
Março	70.00	70.22	56.82	10.80	83	17.82	5.26	7.66	0.147
Abril	70.00	70.18	56.38	10.74	65	17.82	5.25	10.23	0.198
Mai	70.00	70.10	55.51	10.62	93	17.82	5.23	7.24	0.143
Junho	70.00	70.04	54.89	10.53	143	17.82	5.21	4.67	0.094
Julho	70.00	70.01	54.56	10.48	180	17.82	5.20	3.63	0.073
Agosto	70.00	70.00	54.42	10.46	233	17.82	5.20	2.75	0.056
Setembro	70.00	70.00	54.40	10.46	273	17.82	5.20	2.31	0.047

Como o reservatório de Santo Antônio é operado com nível d'água constante, as características de seus corpos laterais variam apenas em função das vazões afluentes aos mesmos e devido aos (pequenos) efeitos de remanso decorrentes das vazões em trânsito pelo rio Madeira. Estas características foram apresentadas mês a mês nos Quadros 2.4.4 a 2.4.6, comentados a seguir.

O rio Jaci recebe, mesmo nas condições atuais, profunda influência do rio Madeira

- Os dois bolsões apresentam forma alongada, com larguras médias de 600m a 700m.
- Os tempos de residência muito elevados, sempre superiores a 4 meses, indicam uma forte tendência à estratificação, de acordo com o critério do Water Resources Engineering Inc. (1969);
- O número de Froude Densimétrico, variando entre 0,006 e 0,10, confirma esta tendência, de acordo com o critério do U.S. Army Corps of Engineers (1987).
- Embora a profundidade média seja de cerca de 5,0 m, as profundidades junto à confluência com o rio Madeira alcançam os 20,0 m, fator que irá favorecer a ocorrência de anoxia.

Assim, os dois braços laterais do reservatório de Santo Antônio a jusante da cachoeira Teotônio, embora de dimensões pouco significativas, merecem manejo cuidadoso porque podem apresentar condições indesejáveis de qualidade da água, devido à estratificação, com conseqüências ambientais indesejáveis, devido à sua proximidade com a barragem (e, conseqüentemente, com os órgãos de descarga da mesma – turbinas e vertedouro).

Deve ser registrado que pode ocorrer uma circulação induzida por correntes de densidade na interface entre os braços laterais do Mucuí e do Jatuarana e o corpo principal do rio Madeira, que pode ser intensificada ainda por uma estratificação térmica. O efeito dessa circulação, embora limitado ao trecho próximo à confluência, promoverá a renovação de água numa região de grande volume.

Um estudo mais detalhado do braço lateral do Igarapé Jatuarana é apresentado no item 5 desse relatório.

3. ESTUDO DO RIO MUTUM-PARANÁ E DE SEU BOLSÃO LATERAL

3.1 Caracterização do Bolsão Lateral do Mutum

A caracterização do comportamento rio Mutum-Paraná e seu bolsão lateral foi feita, de forma conjunta, no item 2. Devido á sua importância para os estudos de qualidade da água, o bolsão lateral do Mutum recebeu uma caracterização isolada, apresentada a seguir.

Para caracterização do regime hidráulico do Bolsão do Mutum, sujeito às variações de vazões afluentes nos rios Cotia e Mutum Paraná e às variações de níveis d'água do rio Madeira, foram consideradas as séries de vazões médias mensais no Madeira e nos dois afluentes, cujas características foram apresentadas anteriormente. Os níveis d'água do rio Madeira foram obtidos a partir das curvas-chave definidas nos estudos de remanso, tanto para as condições atuais quanto para as condições futuras, após a implantação do reservatório.

Como a qualidade da água do rio Madeira difere da qualidade da água dos dois afluentes, é necessário considerar a origem da água que penetra no bolsão lateral do Mutum. Nesse sentido, os estudos de balanço hídrico realizados no item 2 indicaram que, considerando intervalos mensais, não existe penetração de água do rio Madeira no bolsão do Mutum-Paraná, tanto em condições naturais quanto após a implantação do reservatório de Jirau, ou seja, todo o corpo hídrico é alagado apenas com água dos rios Cotia e Mutum-Paraná.

Como existe ainda a possibilidade de que ocorram inversões de fluxo na foz decorrentes de variações diárias mais acentuadas de vazão, foi feita uma investigação nesse sentido, considerando a série de vazões médias diárias registrada desde 1967 até dezembro de 2004. Em todo este período ocorreram apenas três inversões de fluxo para o bolsão do Mutum-Paraná, em março de 1977, março de 1978 e março de 1997. Todas as ocorrências foram registradas em período de cheia intensa, portanto.

Para o período operativo, as mudanças de nível d'água do reservatório serão definidas em função dos níveis d'água observados em Abunã, conforme prevê a regra de operação sazonal. Isso significa que as mudanças deverão ser graduais. De todo modo, foram realizados alguns cálculos que indicaram que, para que não ocorram inversões de vazão no bolsão, basta que as mudanças de NA operativo do reservatório sejam impostas em períodos iguais ou superiores a uma semana.

Esta avaliação também se aplica ao período de enchimento do reservatório. Como se sabe, o reservatório de Jirau enche em três etapas (procedimento repetido anualmente), de forma que a regra operativa deve prever um período de enchimento de uma semana para cada etapa, de modo a garantir a não inversão de fluxo no bolsão do Mutum Paraná.

Resumem-se em seguida as principais conclusões das análises do regime hidráulico do bolsão lateral do Mutum, apresentadas agora de forma destacada do corpo fluvial (rios Mutum-Paraná e Cotia):

- Em condições naturais, o bolsão lateral é inundado anualmente, em média até a cota 88,41 m, o que equivale a uma área inundada de 20,5 km² e a um volume acumulado de 40,6 hm³.
- Este alagamento é feito com águas provenientes do próprio Mutum-Paraná e de seu afluente, o rio Cotia. Apenas excepcionalmente (duas ocorrências de curtíssima duração desde 1967) águas do rio Madeira invadem o bolsão.
- Em condições naturais, o bolsão só é inundado quando ocorrem vazões no rio madeira superiores a 23.000 m³/s, normalmente no período de janeiro a maio.
- Após a implantação do reservatório, o bolsão passará a ser inundado no período de novembro a julho.

Em cheias excepcionais, o rio Madeira pode ultrapassar uma sela existente em sua margem direita, no segmento 25, e invadir o bolsão do Mutum por montante (ver linha tracejada ligando os segmentos 25 e 10 do modelo apresentado na Figura 3.2.1, no próximo subitem). De acordo com os estudos de remanso, isso pode ocorrer, em condições naturais, para vazões superiores a 40.000 m³/s. Após a implantação do reservatório, este galgamento será mais freqüente, ocorrendo para vazões superiores a 30.000 m³/s.

A seqüência de mapas de inundação apresentada nas Figuras 3.1.2 a 3.1.8, cujo índice é ilustrado na Figura 3.1.1, a seguir, ilustra a evolução das áreas inundadas no rio Mutum-Paraná e de seu Bolsão Lateral, em condições naturais e após a implantação do reservatório de Jirau. Esta dinâmica é muito importante para a compreensão do comportamento da qualidade da água desse sistema.

FIGURA 3.1.1 EVOLUÇÃO DOS NÍVEIS D'ÁGUA NO MUTUM PARANÁ

Rio Mutum-Paraná - Evolução Mensal do Nível d'Água na Confluência com o Madeira

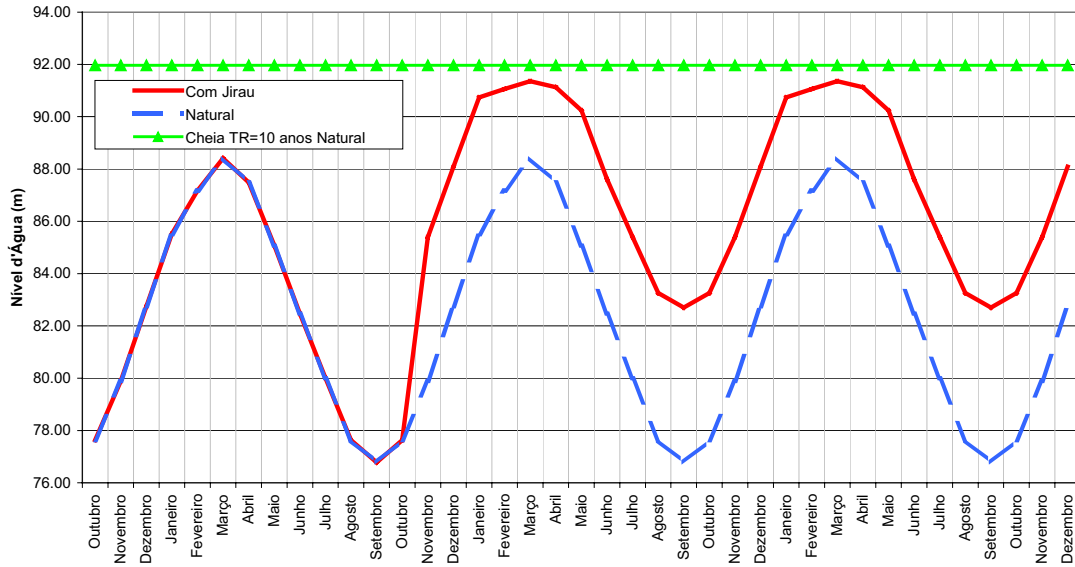


FIGURA 3.1.2
CONDIÇÕES NATURAIS – MÊS DE OUTUBRO – NÃO TEM INUNDAÇÃO



FIGURA 3.1.3
CONDIÇÕES NATURAIS – MÊS DE DEZEMBRO – INÍCIO DE INUNDAÇÃO

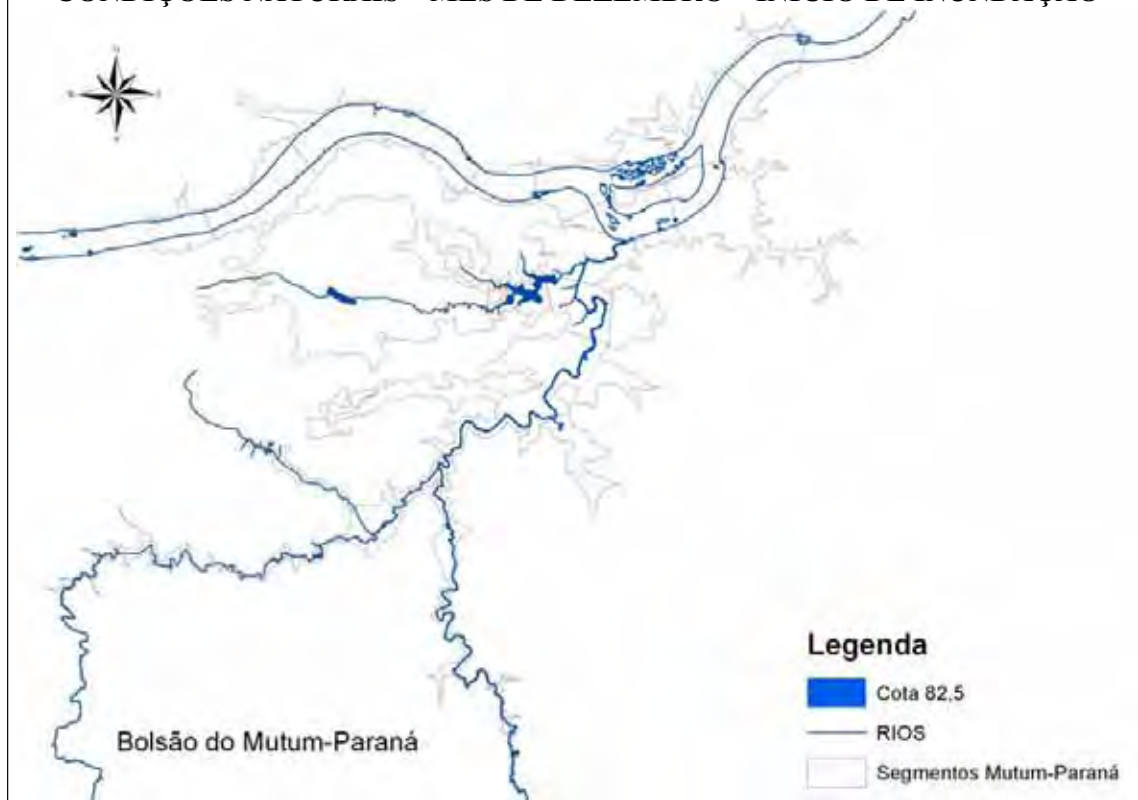


FIGURA 3.1.4
CONDIÇÕES NATURAIS – MÊS DE MARÇO – MÁXIMA INUNDAÇÃO

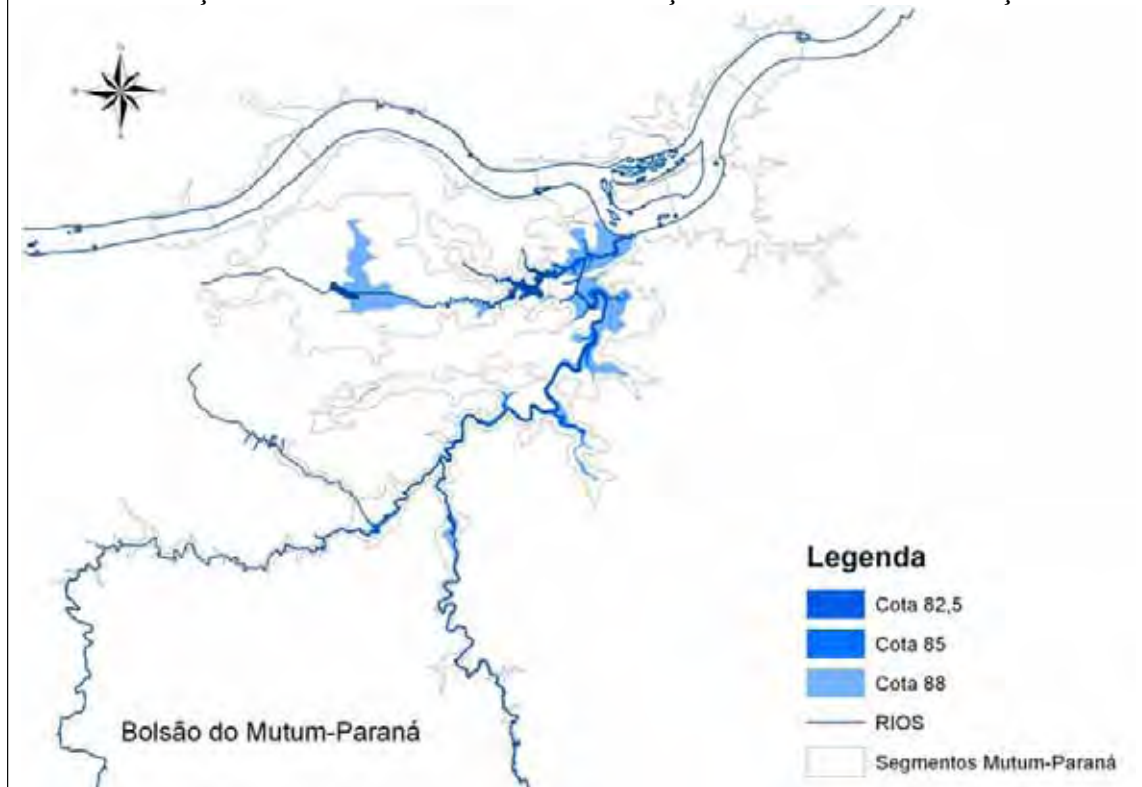
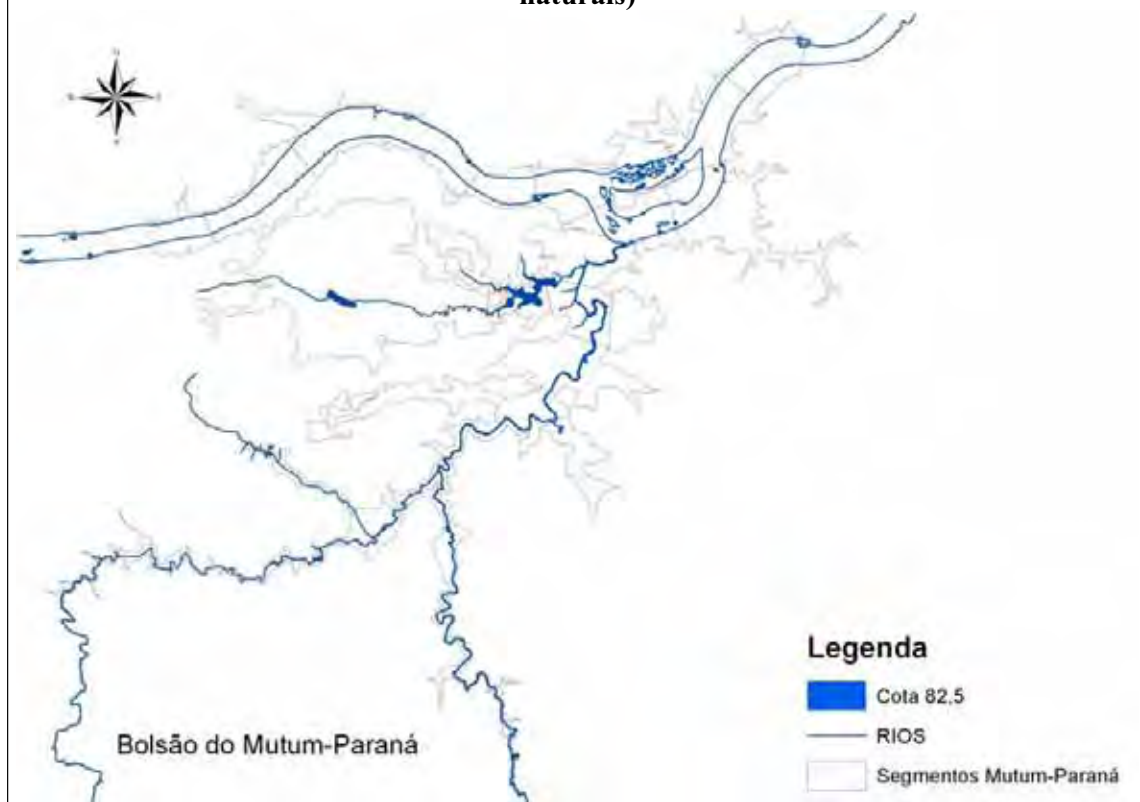


FIGURA 3.1.5
COM RESERVATÓRIO – MÊS DE OUTUBRO (como dezembro em condições naturais)



**FIGURA 3.1.6
COM RESERVATÓRIO – MÊS DE NOVEMBRO**



FIGURA 3.1.7
COM RESERVATÓRIO – MÊS DE DEZEMBRO (como março em condições naturais)

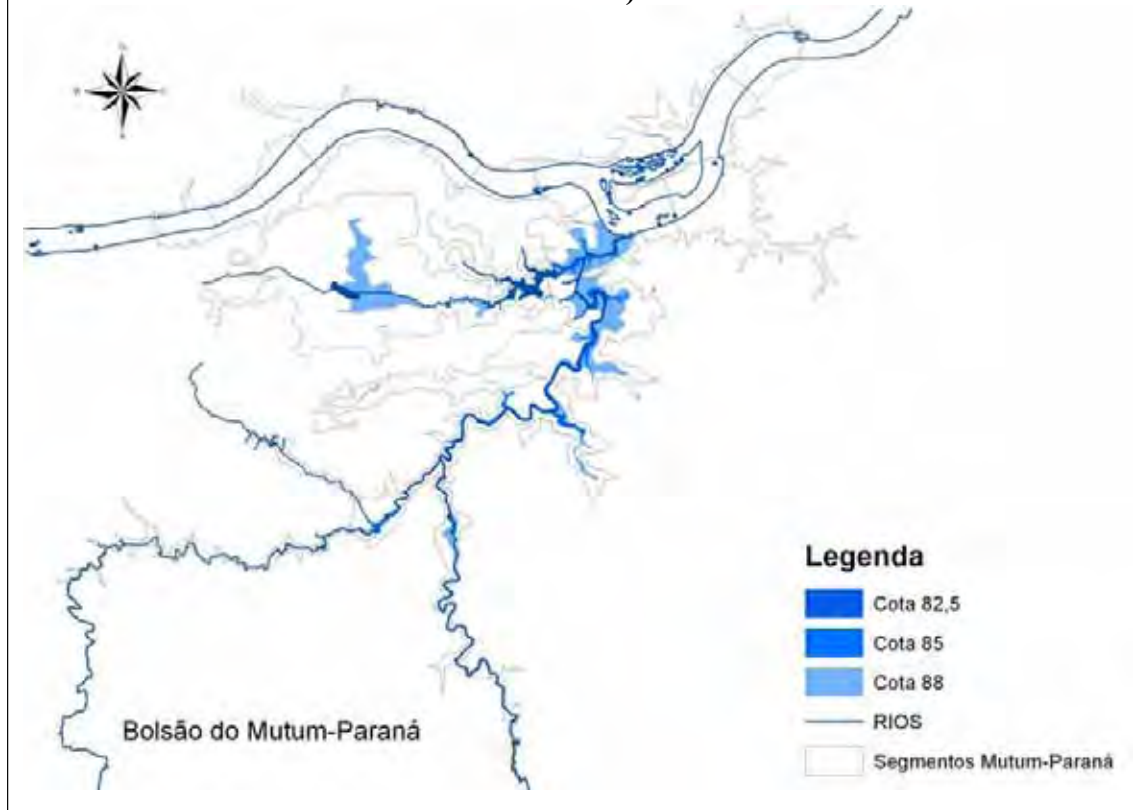
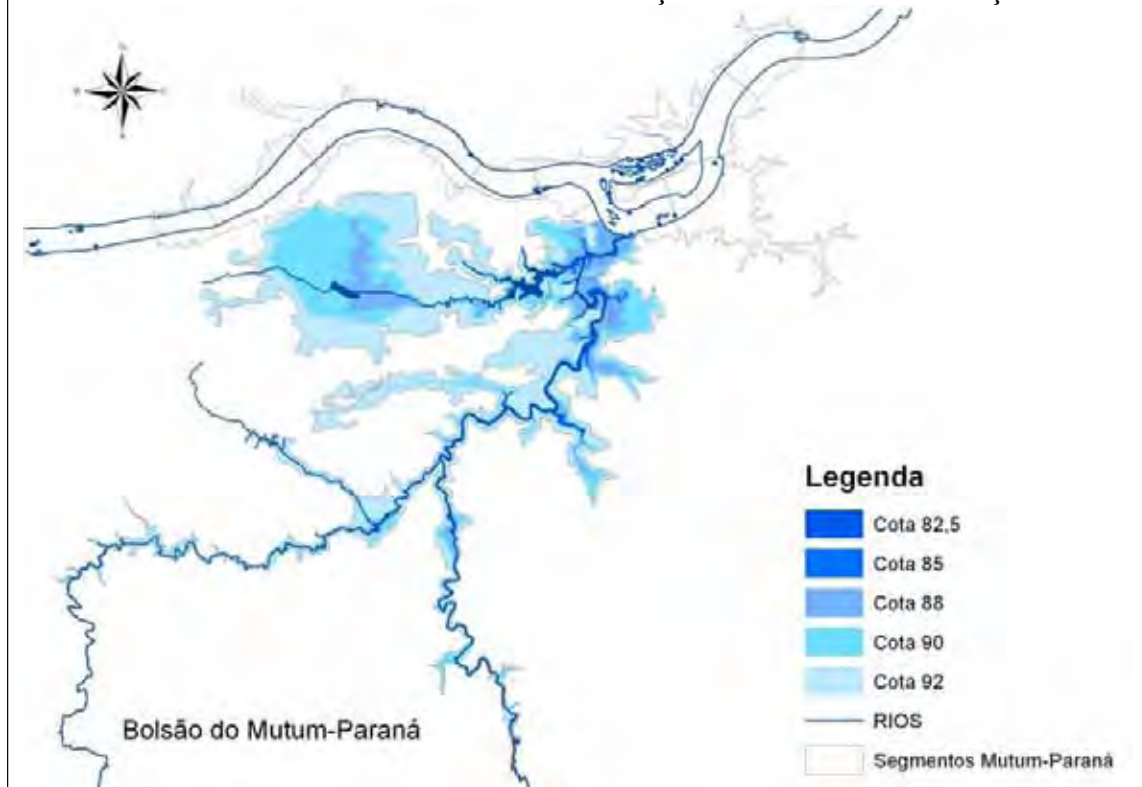


FIGURA 3.1.8
COM RESERVATÓRIO – MÊS DE MARÇO – MÁXIMA INUNDAÇÃO



3.2 Modelagem Hidráulica do Rio Mutum e Seu Bolsão Lateral

Para caracterização do regime hidráulico atual e futuro do rio Mutum-Paraná e de seu Bolsão Lateral (que constituem um sistema), foi estabelecido um modelo hidrodinâmico bi-dimensional, de forma a definir condições de contorno para aplicação do modelo de qualidade da água. Foi empregado o modelo DINHYD, que é o módulo hidrodinâmico do modelo de qualidade da água WASP, desenvolvido e distribuído pelo EPA – Environmental Protection Agency.

O modelo DINHYD resolve as equações unidimensionais que descrevem a propagação de ondas através de um sistema de águas rasas, verificando a conservação de quantidade de movimento (energia) e de volume (massa).

O objetivo principal da aplicação do modelo foi definir a influência das variações de nível d'água do rio Madeira (e, posteriormente, do reservatório de Jirau) sobre as velocidades dentro do bolsão.

Para isso foi estabelecido um domínio para modelagem que inclui um trecho do rio Madeira (ou do futuro reservatório de Jirau) e o rio Mutum-Paraná, com seu bolsão lateral e seu afluente rio Cotia. A Figura 3.2.1 mostra a bacia hidrográfica do Bolsão do Mutum-Paraná, enquanto que a Figura 3.2.2 mostra o domínio considerado na modelagem hidráulica e, mais adiante, de qualidade da água desse bolsão, incluindo a segmentação do mesmo para aplicação do modelo.

As velocidades médias nos diversos segmentos do bolsão do Mutum-Paraná, são apresentadas no Quadro 3.2.1, a seguir, para condições críticas de enchimento do reservatório (mês de janeiro, vazões com 90% de garantia). Estas condições foram empregadas para avaliar a evolução da qualidade da água do bolsão devido ao afogamento da vegetação.

QUADRO 3.2.1
Velocidades no Bolsão do Mutum Paraná e no Rio Madeira no Mês de Janeiro
Condições Críticas Para Simulação do Enchimento
Vazões Com Permanência de 95%

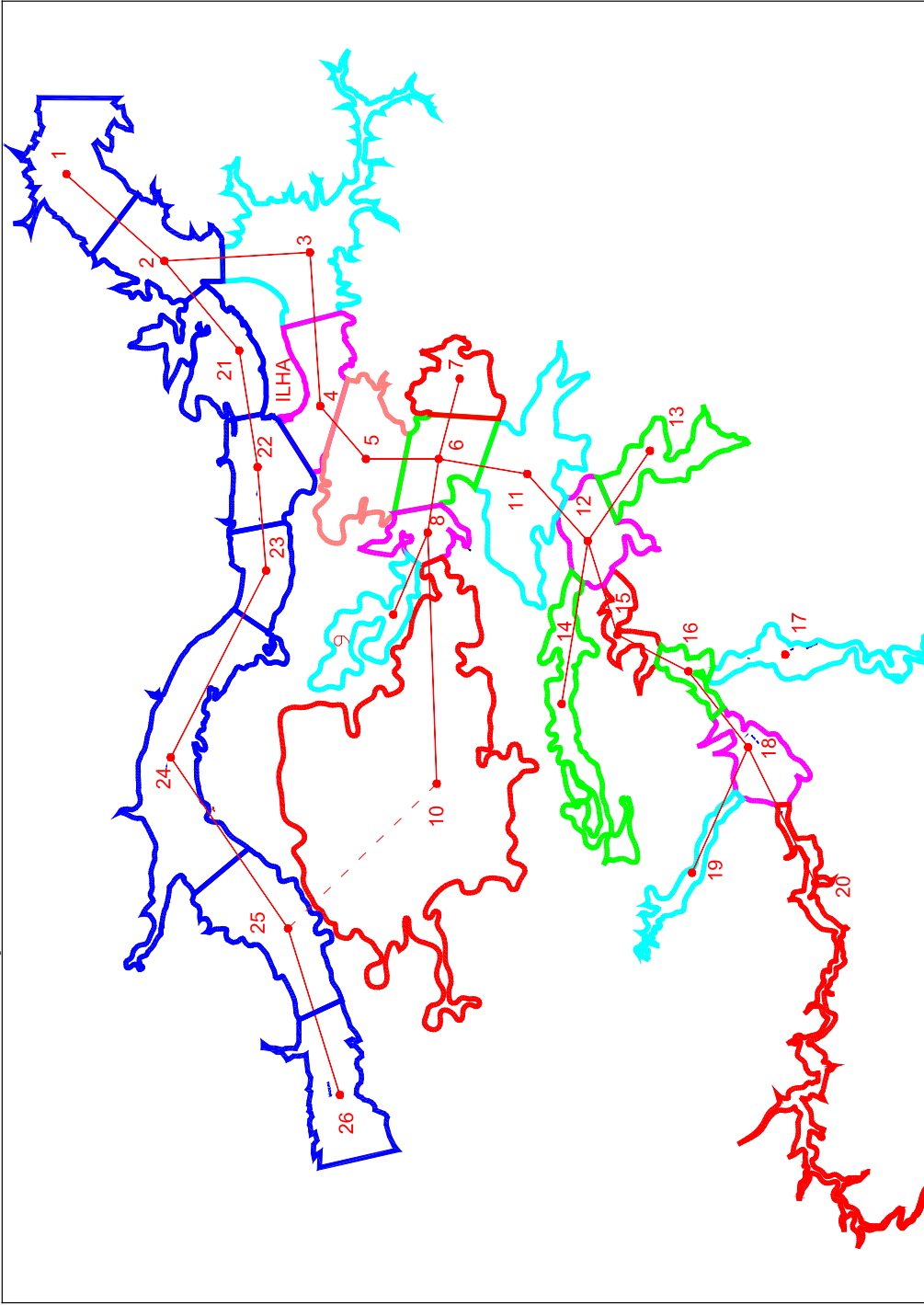
Segmento	Volume (hm³)	Área Seção (m²)	Velocidade Média (m/s)
1	98	9070	1.939
2	89	15000	1.214
3	125	22700	0.489
4	53	19800	0.435
5	42	18200	0.004
6	19	19600	0.003
7	6	10000	0.000
8	8	4640	0.001
9	12	1200	0.000
10	135	1600	0.003
11	38	17200	0.017
12	16	2690	0.020
13	9	1580	0.000
14	3	957	0.000
15	8	2550	0.031
16	6	2500	0.029
17	25	1500	0.033
18	15	1450	0.018
19	1	360	0.004
20	4	975	0.028
21	50	14400	0.577
22	122	16000	0.497
23	79	36400	0.665
24	167	20600	0.723
25	168	29300	0.653
26	69	24700	0.709

FIGURA 3.2.1
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MUTUM-PARANÁ



LEGENDA: - - - Limite de Bacia Hidrográfica

FIGURA 3.2.2 – SEGMENTAÇÃO ADOTADO PARA A MODELAGEM DO BOLSÃO DO MUTUM-PARANÁ



3.3 Qualidade da Água Atual e Futura

3.3.1 Monitoramento de Qualidade da Água Disponível

O Monitoramento da qualidade da água do rio Mutum-Paraná foi realizado nos anos de 2003 e 2004, conforme apresentado no relatório “Diagnóstico Ambiental do Sistema Fluvial do Rio Madeira no Trecho de Implantação das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio (RO) – Relatório Técnico Final – Fundação Djalma Batista – Convênio FDB/INPA”.

As medições foram realizadas em dois locais: no rio Cotia (ponto de coleta COT-10, segmento 18) e no rio Mutum-Paraná próximo à foz (ponto de coleta MTM-30, segmento 5). O Quadro 3.3.1, a seguir, resume os principais resultados desse monitoramento.

Quadro 3.3.1
Concentrações Observadas nos Rios Mutum-Paraná e Cotia
Pontos de Coleta MTM-30, Situado no Segmento 5, e COT-10, Segmento 18

LOCAL	MÊS	CENÁRIO	Temperat °C	OD mg/L	DBO mg/L	Norg mg/L	Amônia mg/L	Nitrato mg/L	Ortofosfato mg/L	Fósforo Orgânico mg/L	Carbono Orgânico mg/L
MTM-30 Seg. 5	NOV/2003	Enchente	29,9	6,90	0,89	4,6	0,05	0,21	0,000	0,000	7,6
	JAN/2004	Cheia	25,5	5,75	1,69	5,1	0,15	0,22	0,001	0,000	8,8
	MAR/2004	Cheia	26,4	6,04	1,15	5,9	0,18	0,24	0,001	0,000	16,1
	MAI/2004	Vazante	23,9	6,00	1,15	3,3	0,02	0,25	0,000	0,000	5,8
	JUL/2004	Estiagem	24,8	6,40	1,24	3,4	0,06	0,07	0,000	0,002	4,2
COT-10 Seg 18	NOV/2003	Enchente	28,5	6,69	1,15	1,0	0,13	0,27	0,000	0,000	7,0
	JAN/2004	Cheia	25,8	5,05	1,40	1,7	0,11	0,20	0,001	0,000	9,1
	MAR/2004	Cheia	25,9	4,24	1,46	0,7	0,05	0,21	0,000	0,000	7,8
	MAI/2004	Vazante	24,2	5,65	1,68	1,0	0,00	0,16	0,000	0,005	5,6
	JUL/2004	Estiagem	24,3	6,09	0,84	0,7	0,08	0,05	0,000	0,003	5,4

Chama a atenção nesses resultados as maiores concentrações de DBO, nitrogênio orgânico e carbono orgânico no período de cheia, associadas a menores índices de oxigênio dissolvido, no local MTM-30. Estes índices podem ser resultado da decomposição da matéria orgânica afogada pelo alagamento natural do bolsão no período de cheia. O ponto de coleta COT-10 também apresentou resultados similares, mas menos intensos.

Numa análise desses dados, os resultados apresentados no Quadro 3.3.1 devem ser ainda considerados apenas como indícios do comportamento desse corpo hídrico, pois para uma análise estatística de sazonalidade, o conjunto de dados disponíveis caracteriza apenas uma amostra (relativa a um único ano hidrológico). Mesmo assim, considerando que no rio Madeira este comportamento foi também verificado (altas concentrações de carbono orgânico e menores concentrações de oxigênio dissolvido durante a cheia, como mostrado a seguir), trata-se de um indício forte de comportamento sazonal.

O Quadro 3.3.2, a seguir, apresenta um resumo do resultado do monitoramento de qualidade da água do rio Madeira, realizado no mesmo período que o monitoramento do rio Mutum-Paraná. A Figura 3.3.1, apresentada mais adiante, mostra a localização das diversas estações de coleta, onde pode-se ver que a estação mais próxima à foz do rio Mutum-Paraná é a MAD-

40, cujos dados foram empregados para introdução de condições de contorno na modelagem de qualidade da água.

QUADRO 3.3.2
Concentrações Observadas ao Longo do Rio Madeira

LOCAL	MÊS	CENÁRIO	Temperat °C	OD mg/L	DBO mg/L	Norg mg/L	Amônia mg/L	Nitrato mg/L	Ortofosfato mg/L	Fósforo Orgânico mg/L	Carbono Orgânico mg/L
MAD-30	NOV	Enchente	29,4	6,83		8,1	0,10	0,78	0,006	0,009	11,2
	JAN	Cheia	27,9	4,09		8,7	0,18	0,46	0,001	0,003	23,2
	MAR	Cheia	28,7	4,79		9,4	0,16	0,45	0,003	0,007	19,2
	MAI	Vazante	24,5	5,92		8,2	0,11	0,38	0,006	0,011	15,1
	JUL	Estiagem	25,8	6,69		5,6	0,11	0,17	0,002	0,013	6,8
MAD-40	NOV	Enchente	29,6	6,76	0,25	11,3	0,07	0,81	0,006	0,014	10,7
	JAN	Cheia	28,1	4,12	0,28	11,5	0,23	0,62	0,002	0,005	24,4
	MAR	Cheia	28,3	4,70	1,91	10,0	0,12	0,38	0,006	0,012	19,2
	MAI	Vazante	24,8	6,02	2,40	10,1	0,07	0,41	0,005	0,008	15,5
	JUL	Estiagem	26,5	6,57	0,84	6,8	0,10	0,15	0,000	0,006	7,9
MAD-50	NOV	Enchente	29,5	7,70		13,5	0,11	0,83	0,009	0,027	11,0
	JAN	Cheia	28,3	5,09		13,5	0,17	0,59	0,006	0,013	23,2
	MAR	Cheia	28,3	5,49		14,6	0,14	0,44	0,007	0,013	18,3
	MAI	Vazante	24,9	6,83		21,5	0,07	0,43	0,010	0,013	15,9
	JUL	Estiagem	26,5	7,18		7,2	0,11	0,17	0,001	0,009	6,5
MAD-60	NOV	Enchente	29,2	7,22	1,48	8,9	0,08	0,78	0,010	0,036	10,0
	JAN	Cheia	27,6	4,90	1,82	9,0	0,09	0,49	0,011	0,020	23,3
	MAR	Cheia	28,9	6,53	1,07	10,0	0,13	0,53	0,009	0,018	19,1
	MAI	Vazante	25,1	6,66	0,86	24,4	0,10	0,44	0,009	0,014	15,2
	JUL	Estiagem	26,7	7,00	1,55	8,4	0,09	0,18	0,000	0,013	7,2
MAD-80	NOV	Enchente	29,3	8,66		8,8	0,05	0,70	0,002	0,005	11,5
	JAN	Cheia	27,7	6,12		9,4	0,11	0,45	0,004	0,008	21,4
	MAR	Cheia	28,0	6,58		10,1	0,10	0,56	0,001	0,003	18,6
	MAI	Vazante	25,4	7,76		24,4	0,10	0,44	0,001	0,005	14,4
	JUL	Estiagem	26,8	8,08		7,8	0,10	0,19	0,001	0,005	6,6
MAD-90	NOV	Enchente	29,3	8,56	1,15	7,4	0,09	0,78	0,008	0,012	11,9
	JAN	Cheia	27,7	6,08	1,96	7,5	0,15	0,44	0,004	0,007	21,6
	MAR	Cheia	28,0	6,54	1,15	7,9	0,12	0,54	0,007	0,009	17,6
	MAI	Vazante	25,4	7,59	0,97	30,8	0,08	0,48	0,008	0,010	15,6
	JUL	Estiagem	26,8	8,08	0,76	5,1	0,09	0,19	0,000	0,012	5,9

FIGURA 3.3.1
Mapa de Localização das Estações de Coleta de Amostras



Fonte: Diagnóstico Ambiental do Sistema Fluvial do Rio Madeira no Trecho de Implantação das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio (RO) – Relatório Técnico Final – Fundação Djalma Batista – Convênio FDB/INPA.

3.3.2 Descrição do Modelo de Qualidade da Água Empregado – WASP-7

Um dos principais impactos causados pela implantação de reservatórios consiste na inundação de vegetação, que, por sua vez, desencadeia uma série de reações de natureza físico-química e biológica. Estas reações podem provocar impactos significativos tanto na qualidade da água quanto no meio biótico.

Duas fases são identificadas no processo acima citado:

- **Fase de enchimento do reservatório**, quando se observa a ocorrência de condições mais críticas em relação à qualidade da água. A biomassa vegetal residente é afogada e se decompõe, liberando uma grande quantidade de compostos orgânicos e nutrientes, com possibilidade de estabelecimento de condições anóxicas. Esta fase ocorre até que o reservatório alcance o seu nível operacional, a partir do qual toda a vegetação estará incorporada; e
- **Fase de operação**, período em que ocorre o consumo de toda a matéria orgânica inundada seguido da estabilização das condições bioquímicas do meio aquático. No caso específico do reservatório de Jirau, a fase de operação se aproxima bastante da fase de enchimento, devido à regra de operação adotada, que prevê o deplecionamento anual de até 7,50 m, praticamente repetindo anualmente, em uma escala alterada, o processo de enchimento inicial.

Para simular estes processos foi utilizado como ferramenta, o modelo de qualidade da água WASP7 (Water Quality Analysis Simulation Program) distribuído pela agência norte-americana EPA - Environmental Protection Agency.

O modelo de simulação de qualidade da água **WASP7** é de larga aceitação nos estudos de planejamento. Suas características em termos de estrutura espacial, discretização temporal, versatilidade estrutural e variáveis de estado simuláveis, o tornam adequado para aplicação em estudos de qualidade da água dos recursos hídricos.

Através dos módulos presentes neste programa, são simulados os efeitos de advecção, dispersão e interação dos diversos constituintes considerados no processo. Os constituintes simulados podem ser conservativos ou não, incluindo-se substâncias tóxicas e as variáveis envolvidas no processo de eutrofização do reservatório.

Estas cinéticas são realizadas por quatro módulos independentes:

DYNHYD – Simula o movimento da água em rios, estuários ou reservatórios, cujo processo é representado, matematicamente, por duas equações diferenciais que controlam a conservação da massa e quantidade de movimento do escoamento, conhecidas como Equações de Saint Venant.

Módulo básico – Simula o transporte dos constituintes conservativos, tais como: cloretos, traçadores químicos, etc.

EUTRO – Simula, especificamente, os processos físico-químicos que afetam o transporte e a interação entre os nutrientes, fitoplânctons, matéria orgânica e oxigênio dissolvido.

TOXI – Simula a evolução e a degradação de elementos tóxicos, por meio de um grande número de processos químicos e biológicos. Estes processos incluem a biodegradação, hidrólise, fotólise e oxidação química, metais pesados, etc.

No módulo **EUTRO**, objeto dos trabalhos de modelagem do presente relatório, quatro sistemas interativos são identificados:

- cinética fitoplantônica;
- ciclo do fósforo;
- ciclo do nitrogênio; e
- balanço do oxigênio dissolvido.

No processo de simulação, o corpo hídrico é representado por um conjunto de segmentos ou reatores de mistura completa, onde ocorrem reações envolvendo as seguintes variáveis bioquímicas:

Amônia: **NH₃**
Nitrato: **NO₃**
Ortofosfato: **OPO₄**
Clorofila A: **CHLa**

Demanda bioquímica do oxigênio: **BOD**
Oxigênio dissolvido: **DO**
Nitrogênio orgânico: **ON**
Fósforo orgânico: **OP**

Os processos cinéticos e as reações de transformação envolvem a participação de oito variáveis de estado, integradas em quatro sistemas interativos:

Cinética fitoplanctônica. Este sistema assume um destaque central no processo de eutrofização, influenciando diretamente os demais ciclos. Durante sua fase de crescimento, ocorre absorção de compostos de fósforo e nitrogênio e liberação de oxigênio dissolvido. Após a sua morte, a biodegradação restitui estes elementos ao meio aquático, na forma de nitrogênio e fósforo orgânico, ocorrendo também o consumo de oxigênio dissolvido;

Ciclo do fósforo. O fósforo, na sua forma orgânica, é transformado em ortofosfato, que é absorvido pelos fitoplânctons para sua multiplicação e crescimento;

Ciclo do nitrogênio. O nitrogênio orgânico é transformado em amônia e nitrato, que suprem as comunidades fitoplanctônicas. Na ausência de oxigênio dissolvido, o nitrato, através do processo de desnitrificação, libera o nitrogênio; e

Ciclo do oxigênio dissolvido. O oxigênio dissolvido interage com todos os demais processos, sendo consumido no processo de oxidação do carbono orgânico, com liberação de CO₂ e de amônia, que é transformada em nitrato. A regeneração do oxigênio dissolvido é realizada pelo processo de re-aeração na superfície líquida e liberação de oxigênio durante a fase de crescimento da comunidade fitoplanctônica.

Na formulação do modelo, admite-se o reservatório subdividido em compartimentos independentes, cada um comportando-se como reator de mistura completa, cujas cinéticas, representadas por equações diferenciais de primeira ordem, descrevem as variações temporais dos seguintes parâmetros:

- Demanda bioquímica de oxigênio;
- Nitrogênio contido na vegetação submersa e dissolvido na água;
- Fósforo contido na vegetação e dissolvido na água; e
- Oxigênio dissolvido.

Vale ressaltar algumas simplificações consideradas nas modelagens realizadas:

- O processo de biodegradação tem início logo após o seu afogamento, envolvendo toda a fitomassa afogada. Ou seja, não foi prevista a morte gradual da fitomassa submersa;
- Cada segmento é considerado como um reator único de mistura completa, não considerando a estratificação vertical.

A preparação dos dados do modelo e sua aplicação ao Braço do Rio Mutum-Paraná e seu Bolsão Lateral, para a fase de enchimento e de operação do reservatório de Jirau, e apresentada a seguir.

3.3.3 Avaliação da Carga de Associada ao Afogamento da Vegetação

O Quadro 3.3.3, a seguir, apresenta a estimativa de carga decorrente da fitomassa afogada pelo reservatório de Jirau dentro do bolsão do Mutum-Paraná, considerando o nível máximo operativo. A estimativa é discretizada em função da segmentação adotada para modelagem, já apresentada na Figura 3.2.2.

Foram identificadas três feições de cobertura vegetal na área estudada: Floresta pluvial, campinarana e pastagens. De acordo com o inventário florestal realizado (os cálculos são apresentados em detalhe no relatório “Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatórios do Rio Madeira”, anexo 2, volume 7/8 do EIA”, as cargas de carbono rapidamente oxidável associadas a estas feições são, respectivamente, 7,49 ton/ha, 2,64 ton/ha e 0,8 ton/ha.

QUADRO 3.3.3

Carga de Carbono Rapidamente Degradável Associada à Vegetação Afogada no Rio Mutum-Paraná e Seu Bolsão Lateral

Segmentos	Bolsão Mutumparaná			Carga de Carbono Rapidamente Degradável (ton)
	Área (km ²)			
	Floresta Pluvial	Campinarana	Pastagem	
3	6.816		2.902	5337
5	3.991		1.145	3081
6	2.784	0.040	1.070	2181
7	2.534		0.495	1938
8	0.745		1.361	667
9	0.776		0.065	586
10	8.964	9.843	0.194	9328
11	3.683	0.002	0.115	2768
12	2.098	0.108	0.028	1602
13	2.311		0.226	1749
14	0.618		0.997	542
15	1.562	0.016		1174
16	1.160			869
17	6.543		0.206	4917
18	2.182			1634
19	1.117		0.371	867
20	5.429		0.250	4087

3.3.4 Simulação do Enchimento Inicial e de um Ano Hidrológico Futuro, de Operação Normal

Para considerar de forma contínua a qualidade da água no Sistema Mutum-Paraná durante o processo de enchimento do reservatório de Jirau, seguido da operação normal do mesmo, que também envolve evoluções mensais de área inundada e, conseqüentemente, de fitomassa afogada, foi realizada uma simulação ao longo do período compreendido entre (datas fictícias) setembro de 2006 e setembro de 2008. A idéia foi simular, no primeiro ano hidrológico, as condições críticas decorrente do enchimento do reservatório e no ano hidrológico seguinte as condições estabilizadas que, espera-se, venham a ocorrer futuramente. Sabe-se que o processo de “enchimento” do reservatório de Jirau deverá se repetir anualmente, devido à sua operação sazonal, com deplecionamentos nas estiagens.

Para realizar esta simulação, com auxílio do modelo WASP-7, foi criado um pré-processador que calcula as cargas ao longo do tempo, em função da nova quantidade de fitomassa afogada (ou desafogada, no caso de esvaziamento do reservatório) e atualiza a massa residual para o dia seguinte. À medida em que o nível do reservatório de Jirau vai sendo elevado, o volume de vegetação afogada é atualizado, corrigindo-se o processo de incorporação da fitomassa resultante.

No primeiro ano, a carga aplicada ao modelo foi aquela mostrada no Quadro 3.3.3, ou seja, calculada a partir de toda a biomassa afogada. A taxa de transferência do carbono orgânico rapidamente degradável presente na fitomassa afogada foi admitida constante, igual a 0,08/dia, ou seja, a cada dia 8% da carga de carbono remanescente é transferida ao corpo d'água, mesmo valor considerado nas simulações do EIA. Esta taxa de transferência significa que ao final do primeiro mês a carga remanescente será inferior a 10% da carga inicial e ao final do segundo mês toda a parte lábil da fitomassa já terá sido transferida para o corpo hídrico.

Esta hipótese é conservadora por pelo menos duas razões: (1) a morte da vegetação não ocorre imediatamente após seu afogamento, mas gradualmente, com as espécies mais frágeis iniciando o processo de decomposição; e (2) porque a flutuação sazonal do nível de água do rio Madeira já influencia a estrutura e a dinâmica da comunidade vegetal, tanto ecologicamente quanto fisiologicamente, resultando em alterações florísticas e estruturais da vegetação (Junk et al, 1989), de forma que as áreas sujeitas a inundações mais freqüentes, como é o caso de toda a área em estudo abaixo da cota 88,00m (inundável anualmente) são povoadas por espécies adaptadas, resistentes a essa condição.

A variação da topografia nas áreas alagáveis cria diferentes habitats, que variam em função da duração da cheia, tipo de solo, elevação e distância das florestas não alagáveis (Junk et al. 1989; Ferreira, 1997). A duração da flutuação do nível da água do rio pode influenciar a riqueza e a composição da comunidade ao longo de um gradiente de inundação (Ferreira 1997).

Quando as árvores são afogadas, as trocas gasosas realizadas pelo sistema radicular ficam impedidas (Larcher, 1929), podendo causar mortalidade mesmo nas espécies adaptadas, principalmente se o período de anoxia é extenso (Worbes, 1987). Assim, a vegetação que ocupa as áreas abaixo da cota 82,50m, permanentemente inundada após a implantação do reservatório de Jirau, deverão morrer e se decompor totalmente.

Já a vegetação acima da cota 88,00m, hoje raramente alagada, e que passará a ser inundada periodicamente, será submetida a um processo de seleção no qual as espécies naturalmente adaptadas irão predominar, diminuindo a freqüência de espécies mais sensíveis hoje lá presentes. Como as espécies mais sensíveis tendem a apresentar, quando inundadas, uma taxa de mortalidade maior que as espécies adaptadas, e menor capacidade de recuperação após a cheia, espera-se que a carga decorrente do afogamento da fitomassa seja decrescente ao longo do tempo, à medida que o sistema vai sendo estabilizado.

Para tentar simular este efeito, cuja magnitude é difícil de ser estimada com precisão, admitiu-se que a carga decorrente do afogamento da biomassa seria menor no segundo ano de simulação, o que pode ser considerado um exercício de sensibilidade. Arbitrou-se que a carga do segundo ano de simulação (que tenta representar uma situação futura, estabilizada) corresponde a 50% da carga estimada inicialmente.

Foi simulado o ciclo OD-DBO e a evolução do Fósforo Orgânico ao longo do período de setembro de 2006 a setembro de 2008. As condições de contorno no rio Madeira foram impostas de acordo com os resultados do monitoramento realizado, tendo-se escolhido os dados do ponto de coleta MAD-40 como base.

Os dados do ponto de coleta COT-10, no rio Cotia foram utilizados para o estabelecimento das condições de contorno do rio Cotia, do rio Mutum-Paraná e de todos os pequenos braços afluentes.

Os dados do ponto de coleta MTM-30, no rio Mutum-Paraná, foram utilizados para o estabelecimento de condições iniciais e também para os ajustes nos parâmetros do modelo. Os resultados obtidos na simulação foram transferidos para uma planilha eletrônica para tratamento gráfico.

Nos dois itens seguintes estes resultados são apresentados, primeiramente para o ciclo OD-DBO e depois para o Fósforo Orgânico.

3.3.5 Resultados da Simulação do Ciclo OD-DBO

As Figuras 3.3.1 a 3.3.5 apresentam os gráficos de evolução de OD-DBO em cinco dos Segmentos modelados, cuja localização aparece na Figura 3.2.2, apresentada anteriormente:

- Segmento 18 – Rio Cotia
- Segmento 17 – Rio Mutum-Paraná a Montante do Cotia
- Segmento 11 – Rio Mutum-Paraná a Montante do Bolsão Lateral
- Segmento 10 – Bolsão Lateral do Mutum
- Segmento 5 – Rio Mutum-Paraná antes da Confluência com o Madeira

Observa-se nesses resultados que as concentrações de DBO atingem valores muito elevados, resultado da elevada carga orgânica considerada e dos baixos volumes de diluição e vazões de depuração envolvidos, principalmente nos pequenos afluentes e no próprio Bolsão Lateral.

Conseqüentemente, ocorre anoxia em todos os segmentos representados nas figuras, com períodos de duração que variam entre dois meses, no segmento mais de jusante, e sete meses, no Bolsão Lateral. É importante porém lembrar que este bolsão vai se extinguindo à medida que o NA do reservatório vai baixando, ficando reduzido apenas a um pequeno curso d'água a partir do mês de junho.

Estes resultados mostram que os trechos afetados diretamente pelo escoamento dos rios Mutum-Paraná e Cotia apresentam rápida recuperação dos teores de oxigênio dissolvido, mesmo passando dois meses de anoxia, após o afogamento da vegetação.

O Bolsão do Mutum (segmento 10) entretanto, apresenta comportamento mais problemático, com um período mais prolongado de anoxia. Os principais motivos deste comportamento são a maior área de vegetação afogada no segmento 10 e a pequena vazão afluente a este trecho. O fato de este segmento ser separado dos segmentos de jusante por um trecho de canal de pequena seção transversal é uma agravante, pois a área de contacto para dispersão sendo menor, o segmento também não se beneficia da melhora nas condições de qualidade da água dos segmentos vizinhos.

Como este segmento será esgotado anualmente a partir de maio, ficando com volume praticamente nulo a partir de julho, toda a carga nele armazenada é transferida para jusante devido ao deplecionamento do reservatório de Jirau.

Outro resultado interessante é que os períodos de anoxia se repetem no segundo ano hidrológico, quando a carga transferida é metade da carga do primeiro ano, havendo uma redução apenas na duração dos períodos anóxicos.

FIGURA 3.3.1 – Evolução das Concentrações de OD-DBO no Segmento 18

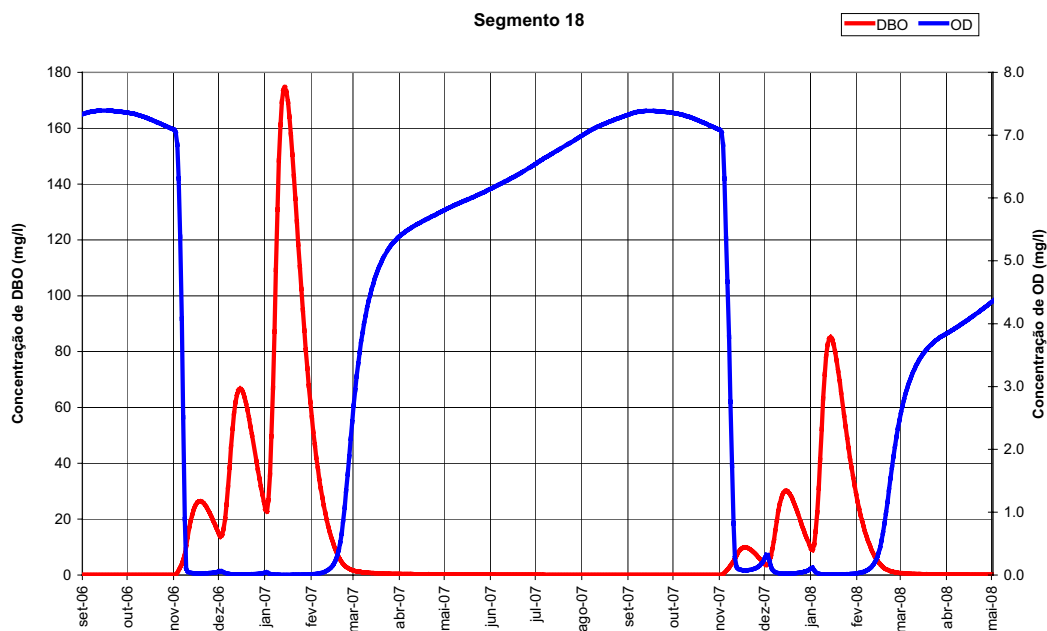


FIGURA 3.3.2 – Evolução das Concentrações de OD-DBO no Segmento 17

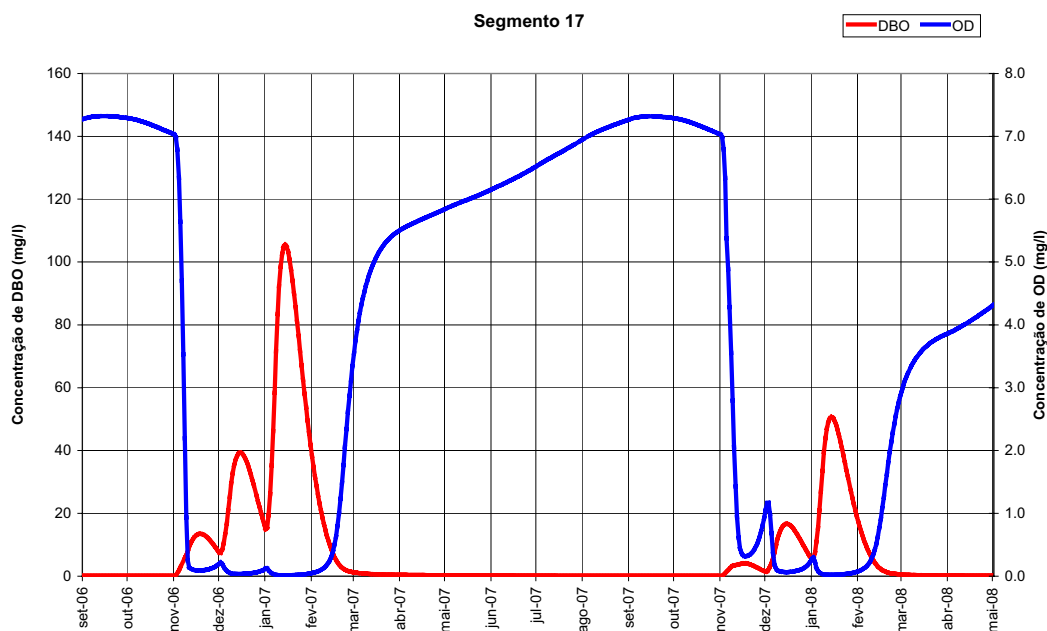


FIGURA 3.3.3 – Evolução das Concentrações de OD-DBO no Segmento 11

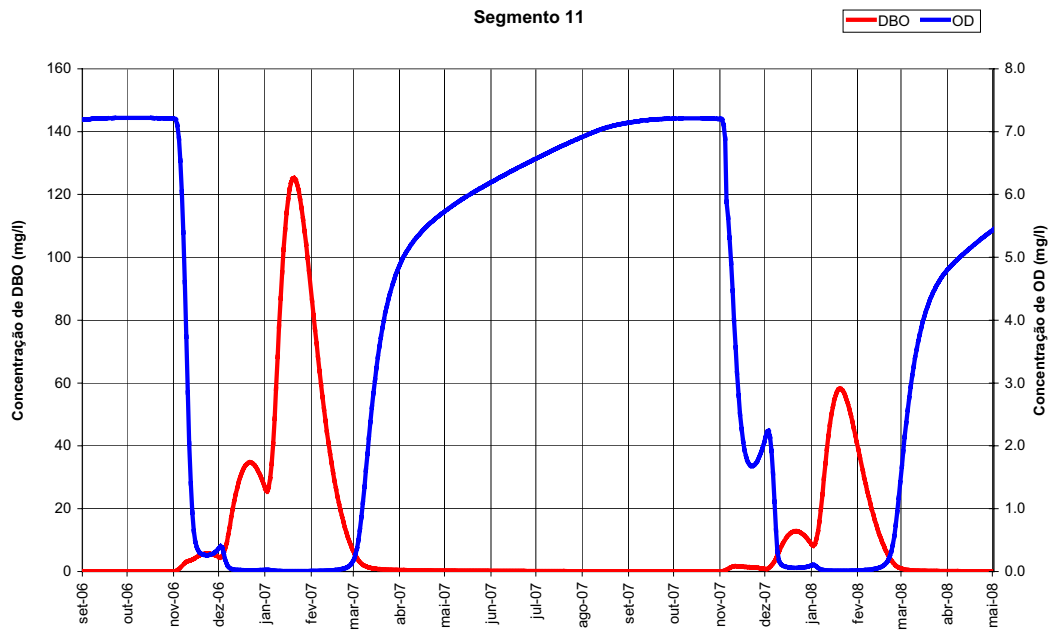


FIGURA 3.3.4 – Evolução das Concentrações de OD-DBO no Segmento 10

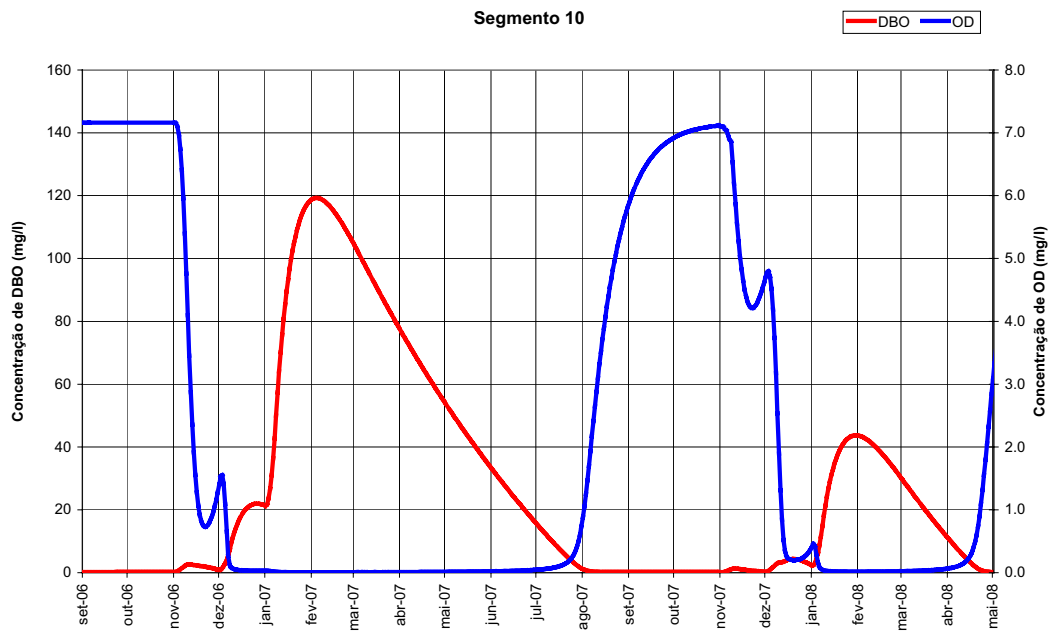
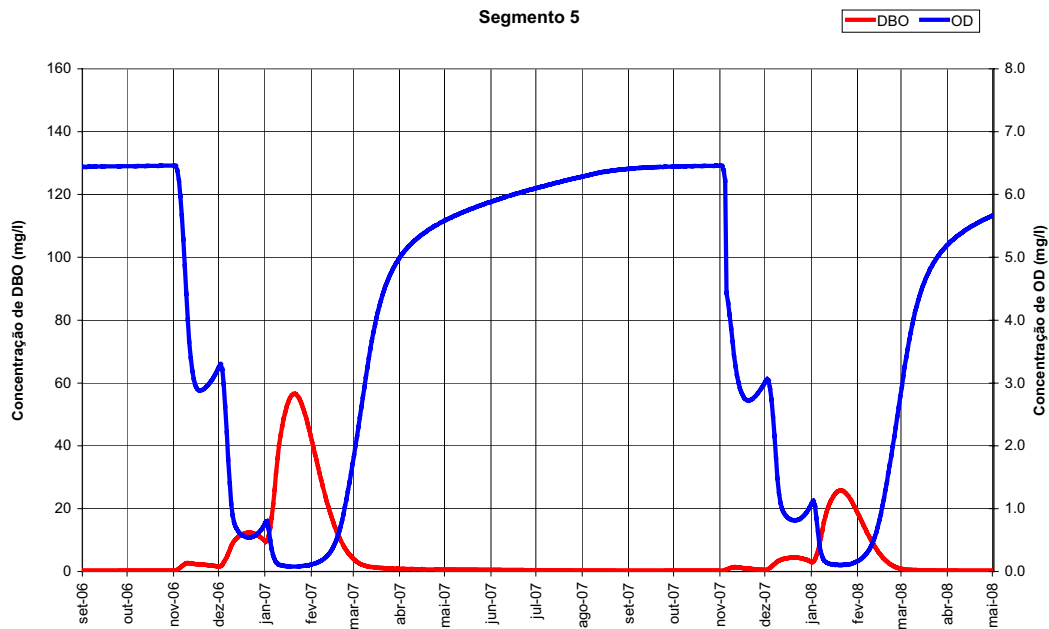


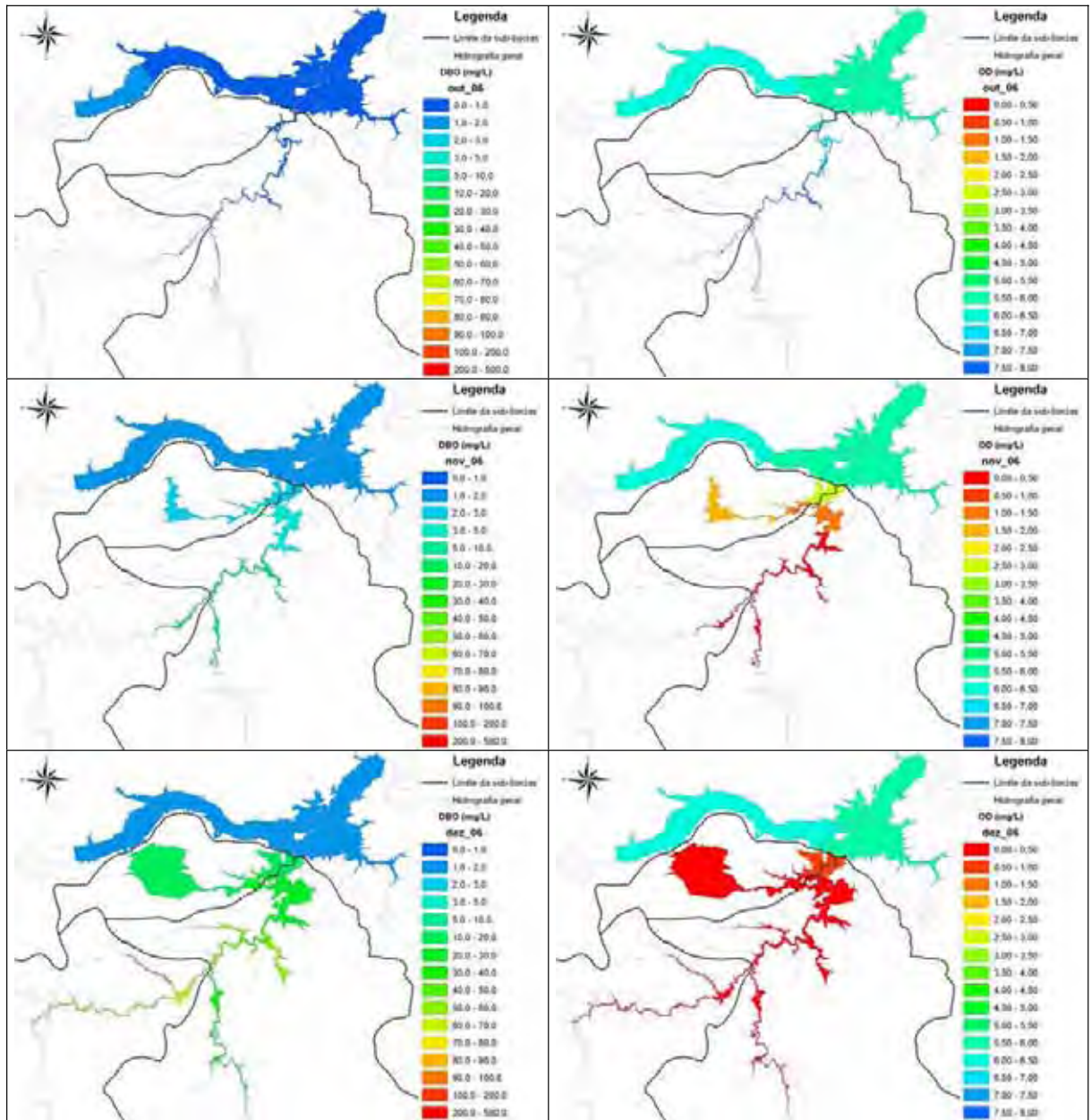
FIGURA 3.3.5 – Evolução das Concentrações de OD-DBO no Segmento 5

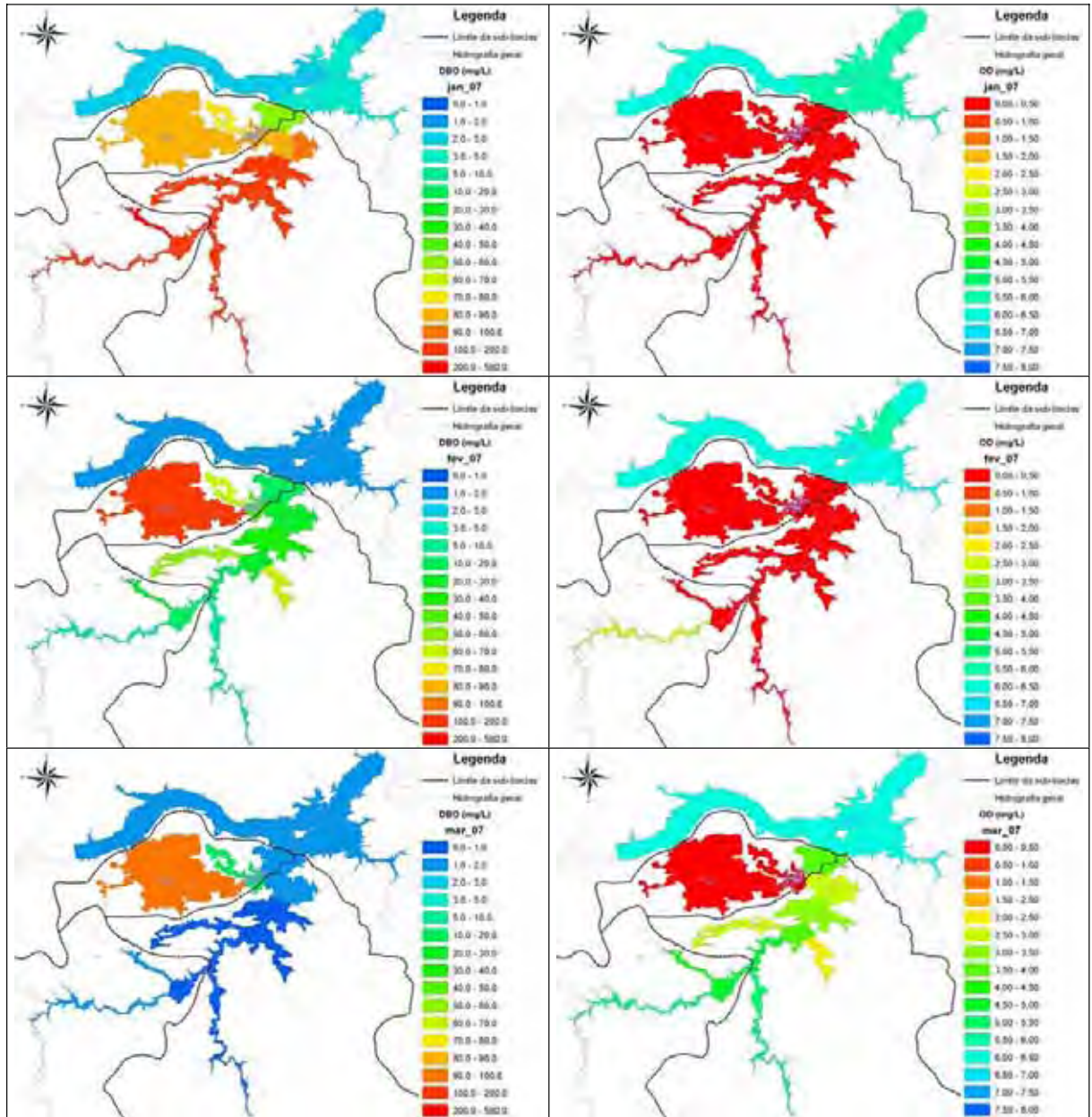


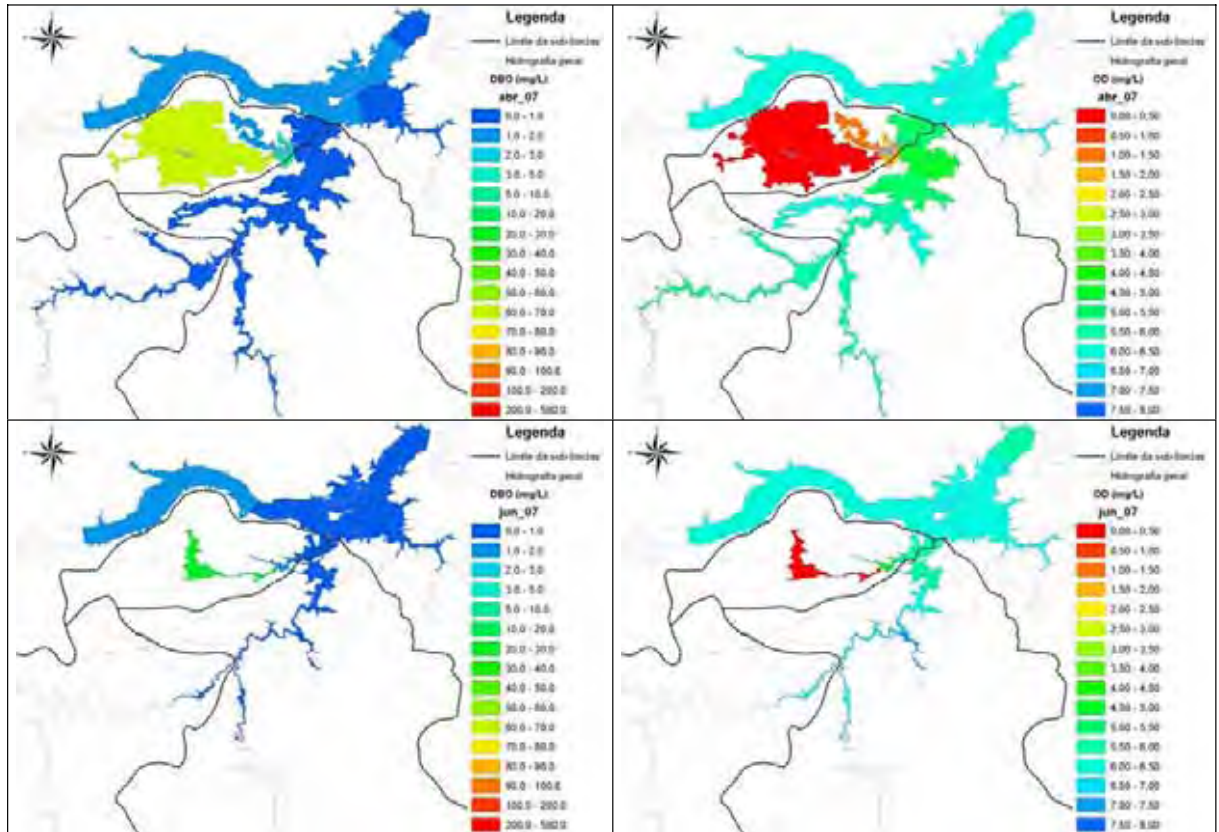
Conforme já enfatizado, ao longo do ano, a área alagada no Mutum-Paraná e seu Bolsão Lateral apresenta variações muito significativas, que devem ser consideradas numa análise dos resultados apresentados. Visando facilitar esta análise, foram elaborados mapas de variação das concentrações dos constituintes simulados ao longo do período de enchimento do reservatório. Para tanto, foram obtidas na planilha de resultados do modelo as concentrações de cada constituinte no dia 15 de cada mês, a partir de outubro de 2006 até junho de 2007.

Os mapas correspondentes à evolução de OD e de DBO são apresentados nas Figuras a seguir, organizadas em duas colunas: a coluna da esquerda refere-se às concentrações de DBO enquanto que a da direita mostra as concentrações de OD.

Após as figuras são apresentados os Quadros 3.3.4 e 3.3.5, contendo os dados empregados na confecção das mesmas.







QUADRO 3.3.4 – Concentrações de DBO (mg/l) nos Vários Segmentos Simulados no Primeiro Ano Hidrológico (Enchimento)
Localização dos Segmentos na Figura 3.2.2

Data	Seg. 1	Seg. 2	Seg. 3	Seg. 4	Seg. 5	Seg. 6	Seg. 7	Seg. 8	Seg. 9	Seg. 10	Seg. 11	Seg. 12	Seg. 13
15/10/2006	0.551	0.595	0.566	0.674	0.281	0.142	0.116	0.082	0.017	0.198	0.056	0.016	0.008
15/11/2006	1.109	1.162	1.172	1.308	2.392	3.495	4.770	3.049	1.905	2.359	4.345	10.024	12.879
15/12/2006	1.634	1.680	1.834	1.968	11.433	21.118	25.023	20.337	14.851	17.513	29.978	47.848	57.822
15/1/2007	2.971	3.028	3.688	3.879	52.325	87.233	99.453	87.438	73.055	89.482	114.136	152.001	189.582
15/2/2007	1.290	1.311	1.484	1.546	15.957	27.448	29.381	45.773	63.433	115.415	31.687	26.647	60.570
15/3/2007	1.040	1.058	1.054	1.099	1.283	1.972	1.759	12.052	15.313	91.880	0.909	0.503	0.697
15/4/2007	0.985	1.006	0.993	1.046	0.718	0.888	0.739	5.374	1.459	65.918	0.348	0.150	0.077
15/5/2007	0.898	0.924	0.907	0.975	0.568	0.607	0.500	3.264	0.667	44.205	0.237	0.084	0.037
15/6/2007	0.784	0.817	0.795	0.879	0.454	0.403	0.332	1.761	0.355	24.630	0.161	0.051	0.023
Data	Seg. 14	Seg. 15	Seg. 16	Seg. 17	Seg. 18	Seg. 19	Seg. 20	Seg. 21	Seg. 22	Seg. 23	Seg. 24	Seg. 25	Seg. 26
15/10/2006	0.017	0.023	0.046	0.112	0.061	0.074	0.358	0.709	0.769	0.846	0.903	1.024	1.161
15/11/2006	10.727	14.692	16.921	12.764	24.711	57.861	30.858	1.251	1.313	1.390	1.445	1.562	1.689
15/12/2006	50.899	53.619	53.562	39.319	66.745	140.886	53.927	1.610	1.654	1.708	1.747	1.830	1.917
15/1/2007	165.095	152.500	144.723	104.930	173.111	387.464	119.942	2.468	2.509	2.555	2.593	2.674	2.758
15/2/2007	51.891	14.809	11.032	7.189	11.782	29.872	6.484	1.176	1.196	1.219	1.236	1.273	1.311
15/3/2007	0.557	0.512	0.580	0.637	0.686	1.376	1.293	1.095	1.115	1.139	1.155	1.189	1.224
15/4/2007	0.107	0.202	0.272	0.379	0.319	0.365	0.827	1.057	1.080	1.109	1.129	1.169	1.212
15/5/2007	0.061	0.115	0.172	0.276	0.207	0.216	0.675	0.992	1.023	1.062	1.088	1.144	1.204
15/6/2007	0.040	0.068	0.110	0.201	0.136	0.149	0.548	0.903	0.945	0.996	1.032	1.109	1.192

QUADRO 3.3.5 – Concentrações de OD (mg/l) nos Vários Segmentos Simulados no Primeiro Ano Hidrológico (Enchimento)
Localização dos Segmentos na Figura 3.2.2

Data	Seg. 1	Seg. 2	Seg. 3	Seg. 4	Seg. 5	Seg. 6	Seg. 7	Seg. 8	Seg. 9	Seg. 10	Seg. 11	Seg. 12	Seg. 13
15/10/2006	5.886	5.908	5.922	5.981	6.456	6.840	6.875	7.062	7.584	7.162	7.218	7.682	7.978
15/11/2006	5.624	5.668	5.572	5.685	2.967	1.460	1.009	1.230	2.172	1.557	0.475	0.082	0.058
15/12/2006	5.714	5.758	5.630	5.750	0.604	0.066	0.033	0.035	0.050	0.040	0.023	0.014	0.012
15/1/2007	5.641	5.699	5.561	5.741	0.084	0.009	0.007	0.007	0.010	0.007	0.006	0.004	0.004
15/2/2007	6.045	6.064	5.977	6.030	0.381	0.040	0.028	0.015	0.011	0.006	0.021	0.026	0.012
15/3/2007	6.126	6.140	6.106	6.142	3.925	2.871	2.627	0.298	0.051	0.008	3.046	3.986	2.338
15/4/2007	6.114	6.130	6.112	6.152	5.355	4.929	4.879	1.923	1.175	0.010	5.403	5.903	6.390
15/5/2007	6.058	6.077	6.063	6.113	5.740	5.541	5.525	3.444	3.450	0.015	5.966	6.407	6.910
15/6/2007	5.988	6.011	6.002	6.060	5.995	5.986	5.993	4.649	4.943	0.028	6.382	6.818	7.249

Data	Seg. 14	Seg. 15	Seg. 16	Seg. 17	Seg. 18	Seg. 19	Seg. 20	Seg. 21	Seg. 22	Seg. 23	Seg. 24	Seg. 25	Seg. 26
15/10/2006	7.937	7.595	7.427	7.198	7.262	7.319	6.284	5.941	5.977	6.027	6.067	6.155	6.262
15/11/2006	0.075	0.048	0.043	0.097	0.028	0.016	0.097	5.851	5.909	5.983	6.034	6.142	6.261
15/12/2006	0.015	0.012	0.013	0.036	0.010	0.008	0.082	5.967	6.014	6.073	6.112	6.193	6.279
15/1/2007	0.005	0.004	0.005	0.016	0.004	0.003	0.048	5.945	5.997	6.060	6.101	6.188	6.278
15/2/2007	0.016	0.052	0.106	0.398	0.153	0.055	2.660	6.186	6.204	6.226	6.241	6.272	6.304
15/3/2007	2.844	4.651	4.812	5.032	4.710	4.009	5.126	6.200	6.216	6.235	6.248	6.276	6.305
15/4/2007	6.325	5.795	5.708	5.676	5.616	5.644	5.401	6.177	6.196	6.219	6.234	6.267	6.302
15/5/2007	6.834	6.231	6.087	5.984	5.965	6.050	5.508	6.128	6.152	6.182	6.203	6.248	6.296
15/6/2007	7.186	6.644	6.473	6.315	6.323	6.400	5.671	6.064	6.094	6.132	6.160	6.220	6.286

3.3.5 Resultados da Simulação do Fósforo Orgânico

As Figuras 3.3.6 a 3.3.10 apresentam os gráficos de evolução das concentrações de Fósforo Orgânico em cinco dos Segmentos modelados, cuja localização aparece na Figura 3.2.2, apresentada anteriormente.

FIGURA 3.3.6 – Concentrações de Fósforo Orgânico no Segmento

Segmento 18

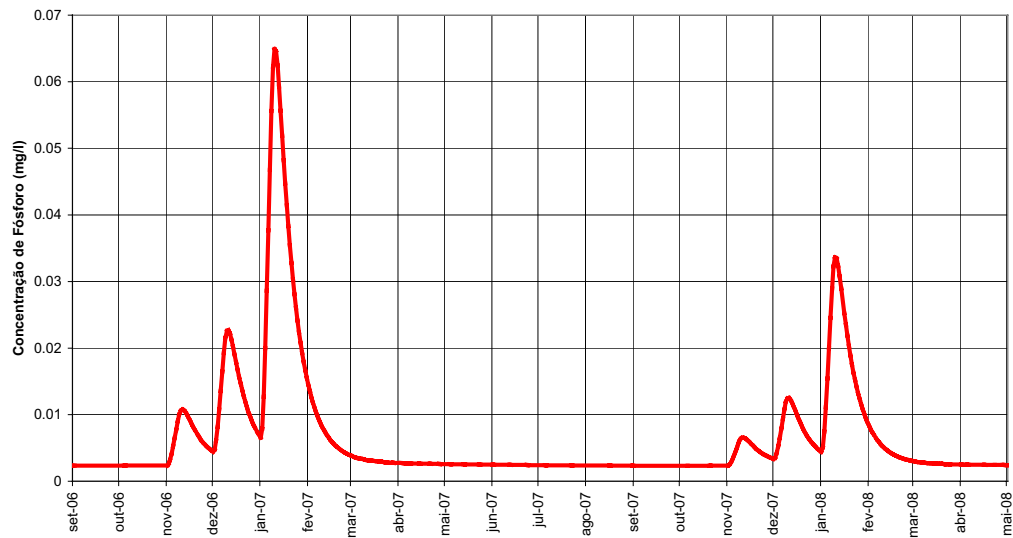


FIGURA 3.3.7 – Concentrações de Fósforo Orgânico no Segmento 17

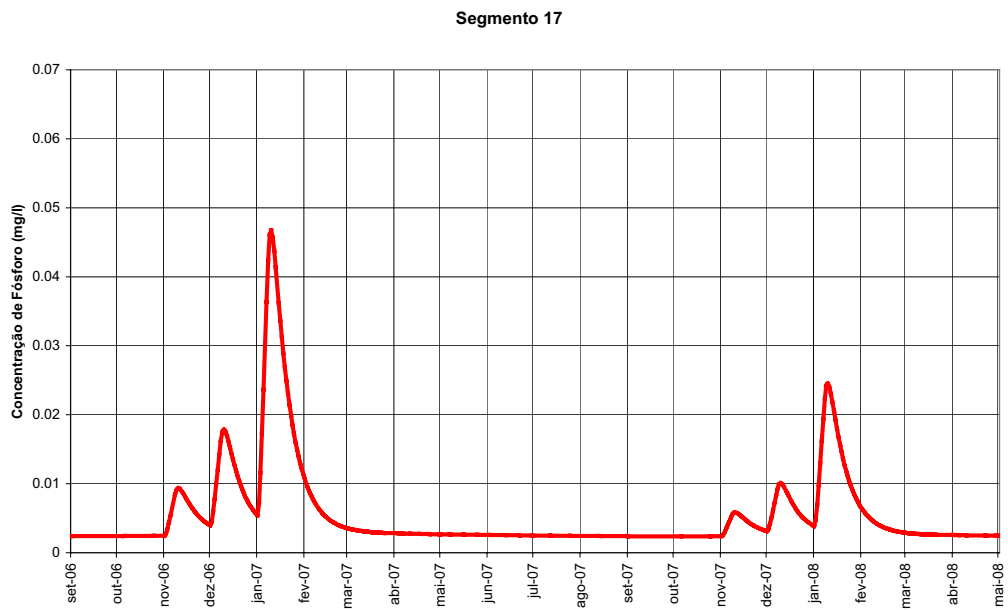


FIGURA 3.3.8 – Concentrações de Fósforo Orgânico no Segmento 11

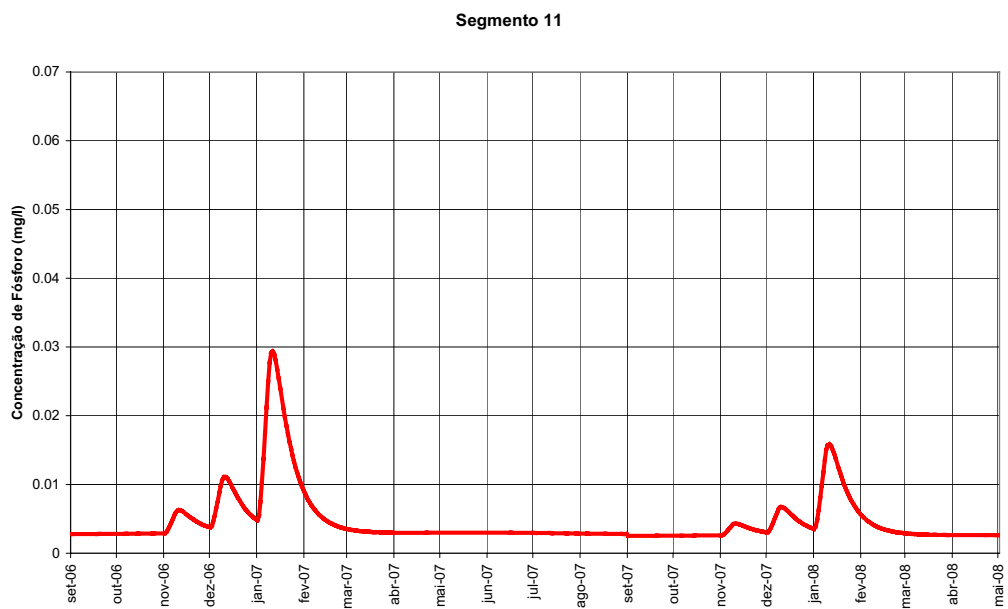


FIGURA 3.3.9 – Concentrações de Fósforo Orgânico no Segmento 10

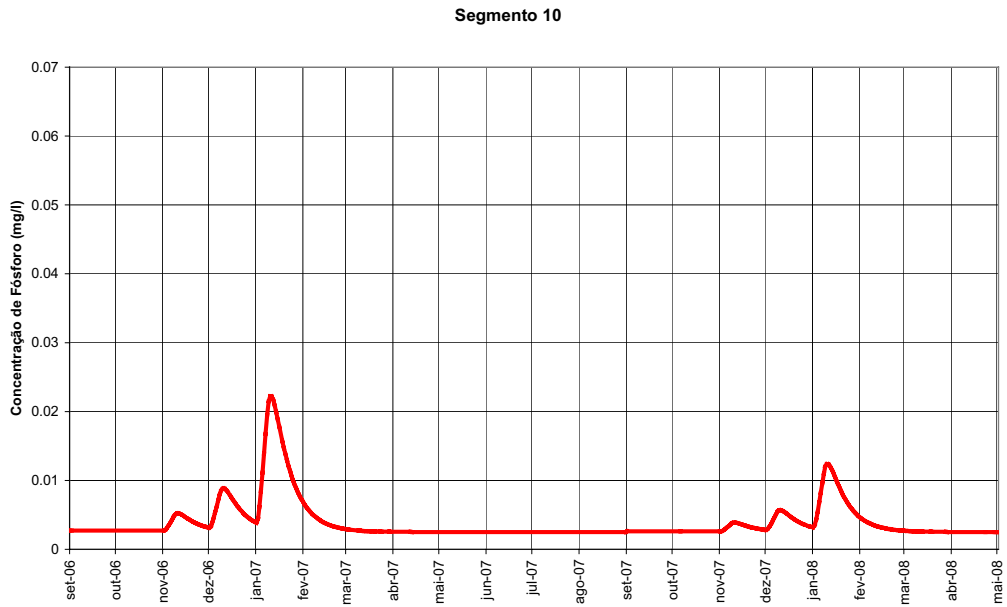
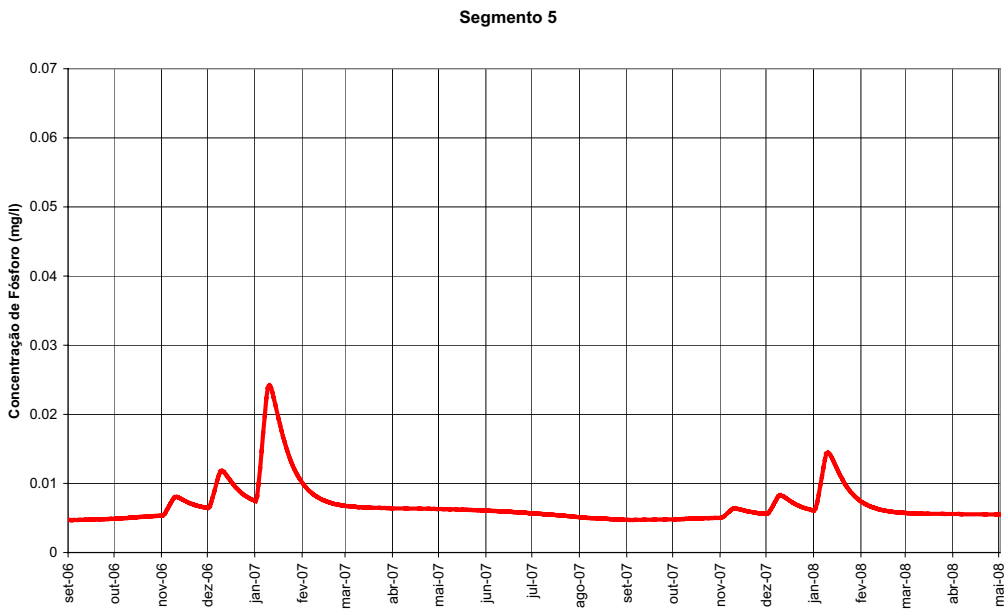


FIGURA 3.3.10 – Concentrações de Fósforo Orgânico no Segmento 5



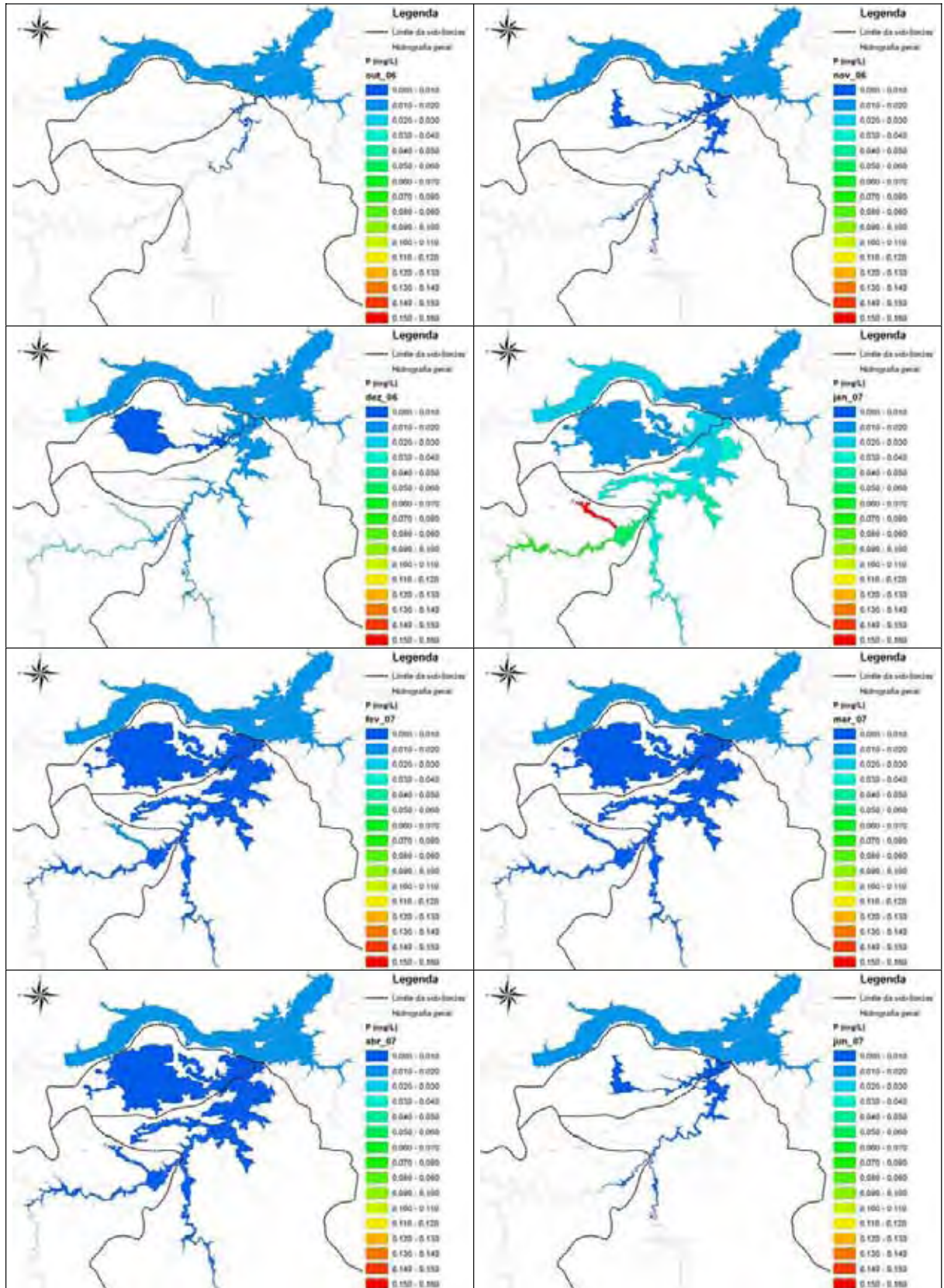
Da mesma forma que o procedido para o ciclo OD-DBO, foram preparados mapas ilustrativos da evolução mensal das concentrações de Fósforo Orgânico ao longo de todos os segmentos simulados. Estes mapas são apresentados nas Figuras ao final desse item, organizadas em ordem cronológica da esquerda para a direita e de cima para baixo.

Antes das figuras é apresentado o Quadro 3.3.6, a seguir, contendo os dados empregados na confecção dos mapas.

QUADRO 3.3.6 – Concentrações de Fósforo Orgânico (mg/l) nos Vários Segmentos Simulados no Primeiro Ano Hidrológico (Enchimento)

Data	Seg. 1	Seg. 2	Seg. 3	Seg. 4	Seg. 5	Seg. 6	Seg. 7	Seg. 8	Seg. 9	Seg. 10	Seg. 11	Seg. 12	Seg. 13
15/10/2006	0.013	0.013	0.013	0.014	0.005	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
15/11/2006	0.015	0.015	0.015	0.016	0.008	0.007	0.008	0.006	0.004	0.005	0.006	0.006	0.008
15/12/2006	0.017	0.017	0.017	0.018	0.011	0.011	0.014	0.010	0.007	0.008	0.010	0.012	0.016
15/1/2007	0.019	0.019	0.019	0.019	0.020	0.025	0.035	0.023	0.016	0.019	0.025	0.034	0.044
15/2/2007	0.017	0.018	0.018	0.018	0.008	0.006	0.006	0.005	0.004	0.004	0.005	0.005	0.006
15/3/2007	0.017	0.018	0.017	0.018	0.007	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
15/4/2007	0.017	0.017	0.017	0.018	0.006	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
15/5/2007	0.016	0.016	0.016	0.017	0.006	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002
15/6/2007	0.015	0.015	0.015	0.016	0.006	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002

Data	Seg. 14	Seg. 15	Seg. 16	Seg. 17	Seg. 18	Seg. 19	Seg. 20	Seg. 21	Seg. 22	Seg. 23	Seg. 24	Seg. 25	Seg. 26
15/10/2006	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.003	0.014	0.015	0.016	0.016	0.017	0.019
15/11/2006	0.007	0.007	0.008	0.008	0.010	0.026	0.019	0.016	0.017	0.017	0.018	0.019	0.020
15/12/2006	0.014	0.015	0.016	0.014	0.019	0.054	0.033	0.018	0.018	0.018	0.019	0.019	0.020
15/1/2007	0.038	0.040	0.042	0.036	0.052	0.156	0.078	0.019	0.020	0.020	0.020	0.021	0.021
15/2/2007	0.005	0.005	0.006	0.005	0.006	0.014	0.008	0.018	0.018	0.019	0.019	0.019	0.020
15/3/2007	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.018	0.018	0.019	0.019	0.019	0.019
15/4/2007	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.018	0.018	0.018	0.019	0.019	0.019
15/5/2007	0.002	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.017	0.017	0.018	0.018	0.019	0.019
15/6/2007	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.016	0.017	0.017	0.018	0.018	0.019



3.4 Comentários Finais

Analisando os resultados da simulação realizada percebe-se que o armazenamento lateral funciona com um atenuante da carga total lançada no rio Madeira, fazendo com que parte das reações se processem localmente, a partir do afogamento da vegetação, sendo a água com qualidade degradada liberada paulatinamente para o curso principal do rio, em função das vazões do afluente. O resultado final é uma introdução mais gradual da carga no corpo principal do rio Madeira.

Como a modelagem apresentada no EIA considerou o lançamento dessas cargas diretamente no corpo principal dos reservatórios, pode-se concluir que a qualidade da água liberada para jusante dos reservatórios formados será melhor que aquela simulada anteriormente, no EIA.

Localmente, todavia, as condições de redução no oxigênio dissolvido são severas, embora de curta duração. A redução de 50% da carga inicial, que foi o recurso usado para simular uma futura condição de atenuação de carga, devido à estabilização do sistema e à redistribuição de espécies vegetais nas áreas alagadas periodicamente, não modificou este quadro, indicando que uma remoção parcial da vegetação não é solução para este problema, pelo menos no Bolsão Lateral do Mutum.

De fato, a elevada carga orgânica e conseqüente redução dos teores de oxigênio dissolvido no rio Madeira são indicadores de que processos como o aqui simulado devem ocorrer naturalmente nos braços laterais afogados periodicamente durante as enchentes. Uma forma de evoluir nesta análise é a realização de monitoramento sistemático de corpos hídricos dessa natureza, como o Bolsão do Mutum. Este assunto será abordado mais adiante, nas recomendações do trabalho.

4. ESTUDO DO RIO JACI-PARANÁ

4.1 Descrição Geral

O objetivo de elaborar uma modelagem matemática específica para o rio Jaci-paraná foi caracterizar os impactos decorrentes da implantação dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio sobre a qualidade da água deste afluente, tendo em vista principalmente a ampliação da população na área urbana de Jaci-paraná durante o pico das obras e a decomposição da vegetação inundada durante o enchimento do reservatório.

Os estudos realizados abrangeram um estirão do rio Jaci-paraná desde a sua foz no rio Madeira até cerca de 58 km a montante. Nesse estirão o rio Jaci-paraná recebe seus principais afluentes: o rio Branco pela margem direita e o rio São Francisco pela margem esquerda. A Figura 4.1.1 apresenta os limites da bacia do rio Jaci-paraná.

A modelagem foi feita com o emprego do modelo unidimensional QUAL2E, que foi calibrado de forma a reproduzir as condições atuais observadas e, posteriormente, alimentado com as cargas decorrentes da vegetação a ser afogada com o enchimento do reservatório do AHE Santo Antonio e do aumento populacional em Jaci-paraná devido às obras.

Optou-se por empregar o modelo QUAL2E, por se tratar de um modelo versátil, de aplicação bastante difundida e de domínio público (Brown et al, 1987 e Lahlou et al, 1995), que permite

simular um número grande de constituintes de qualidade da água, considerando que estão completamente misturados ao escoamento.

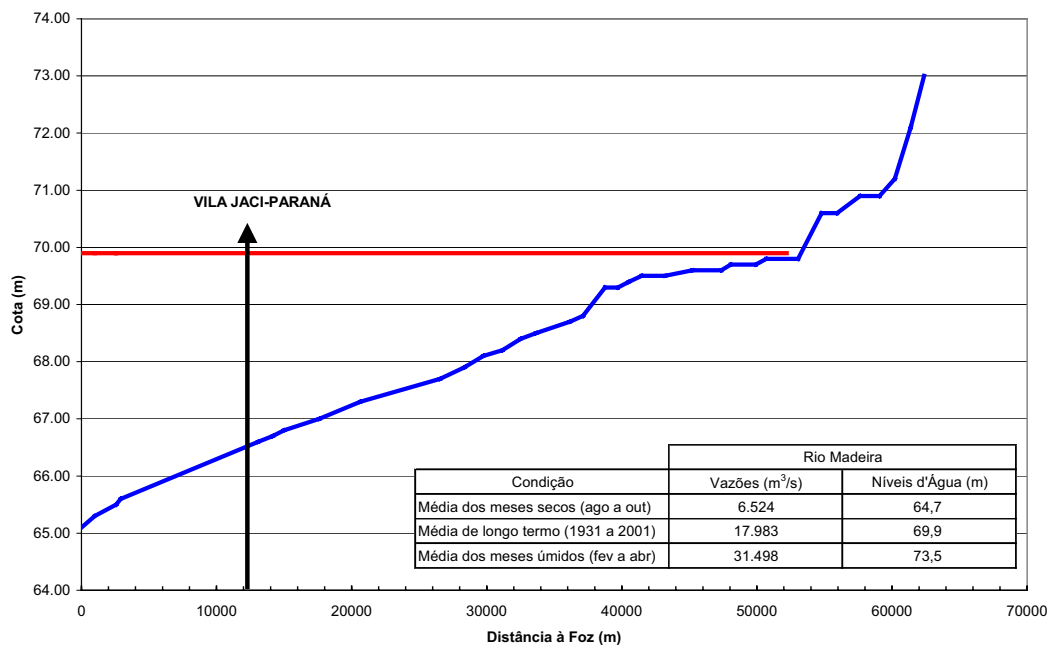
O QUAL2E pode simular as reações acopladas OD-DBO, considerando demandas carbonáceas e nitrogenadas, os processos de fósforo e nitrogênio, temperatura e proliferação de algas, além de constituintes conservativos ou com decaimento de primeira ordem.

Uma descrição do modelo encontra-se apresentada no Relatório Modelagem de Qualidade da Água dos Reservatórios do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira (maio de 2005), Anexo 2, volume 7/8 do EIA.

4.1.1 Segmentação do Estirão Fluvial

Com base na restituição aerofotogramétrica disponível (escala 10.000) foi elaborado um perfil de linha d'água do rio Jaci-paraná (Figura 4.1.2), utilizando os pontos cotados da linha d'água apresentados nas ortofotocartas planialtimétricas. O sobrevôo para essa restituição foi realizado em outubro de 2001, mês de seca nos rios Madeira e Jaci-paraná, de modo que o perfil, apresentado a seguir, representa essa condição com níveis d'água baixos nesses dois rios.

Figura 4.1.2 Perfil de Linha d'Água do Rio Jaci-paraná



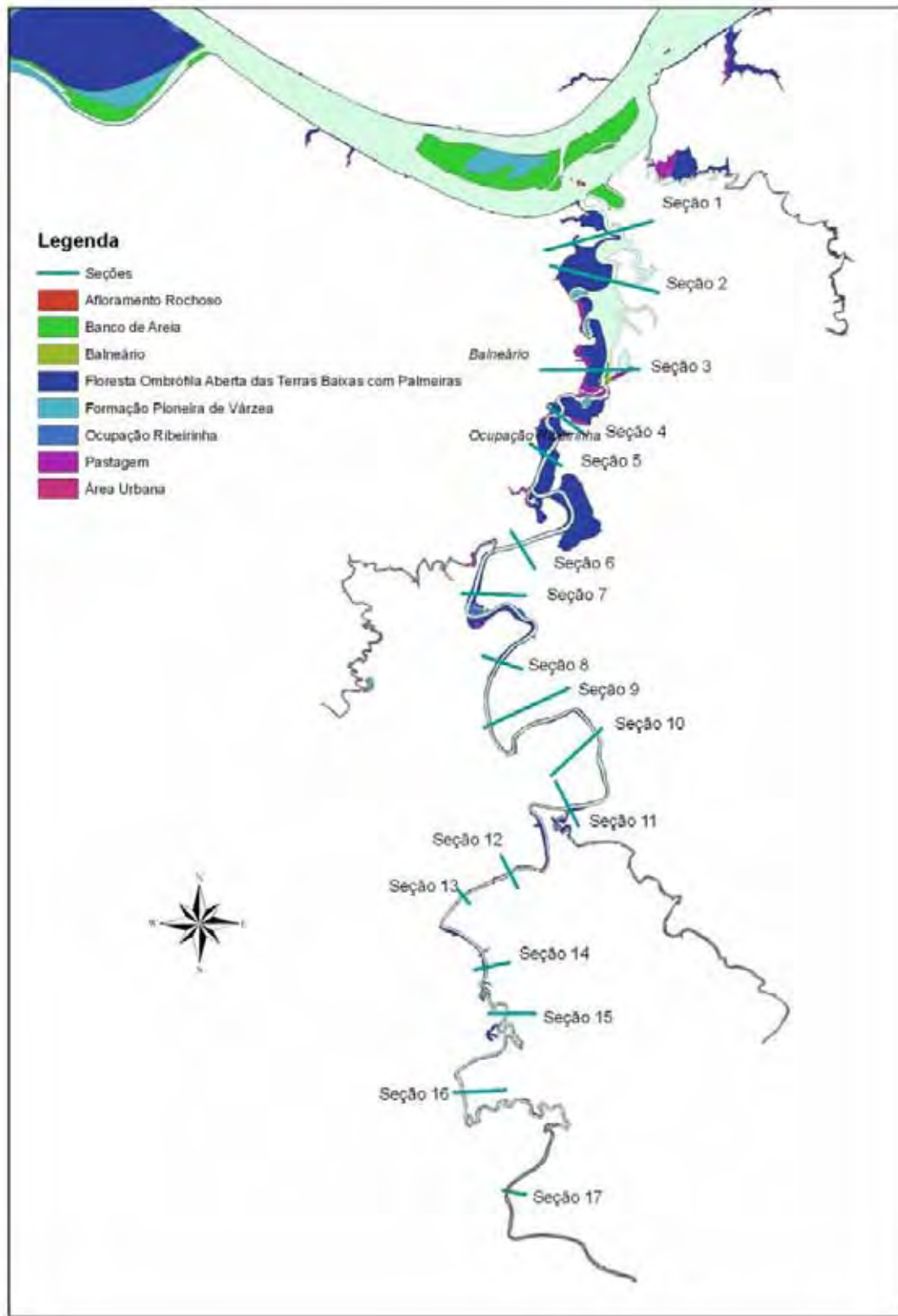
Esse perfil, utilizado para segmentação do estirão fluvial, permite verificar que anualmente, quando o rio Madeira próximo à foz do rio Jaci-paraná sobe a níveis superiores a 69,90m, provoca remanso em seu afluente, forçando seu extravasamento com conseqüente inundação de áreas florestadas.

O estirão fluvial simulado, de cerca de 58 km do rio Jaci-paraná, foi segmentado em 9 trechos, escolhidos por apresentarem características hidráulicas aproximadamente homogêneas. Nesta segmentação foi considerada ainda a localização dos principais afluentes que ocorrem no estirão.

A caracterização hidráulica de cada trecho foi feita com base em 17 seções transversais levantadas com o auxílio da restituição aerofotogramétrica disponível (escala 1:10.000) e em estudos de hidráulica fluvial e remanso do reservatório no rio Jaci-paraná realizados para esse fim.

A Figura 4.1.3 apresenta a localização das seções topográficas utilizadas para caracterização hidráulica do rio Jaci-paraná, lançadas sobre o mapa de vegetação e uso do solo apresentado no EIA.

Figura 4.1.3 – Localização das Seções Topográficas Utilizadas



Entre as diversas seções levantadas, foram escolhidas algumas como mais representativas, conforme apresentado no Quadro 4.1.1, a seguir.

QUADRO 4.1.1
Limites dos Trechos do Modelo QUAL2E e Seções Representativas

Trecho	Seção Representativa	Pk inicial (km)	Pk final (km)
1	S-17	51,2	58,8
2	S-16	45,2	51,2
3	S-16	39,2	45,2
4	S-16	33,2	39,2
5	S-9	25,2	33,2
6	S-6	21,2	25,2
7	S-6	16,0	21,2
8	S-5	8,0	16,0
9	S-3	0,0	8,0

Os trechos de 2 a 4, assim como os trechos 6 e 7, foram considerados semelhantes do ponto de vista das características hidráulicas.

4.2 Regime Hidráulico Atual

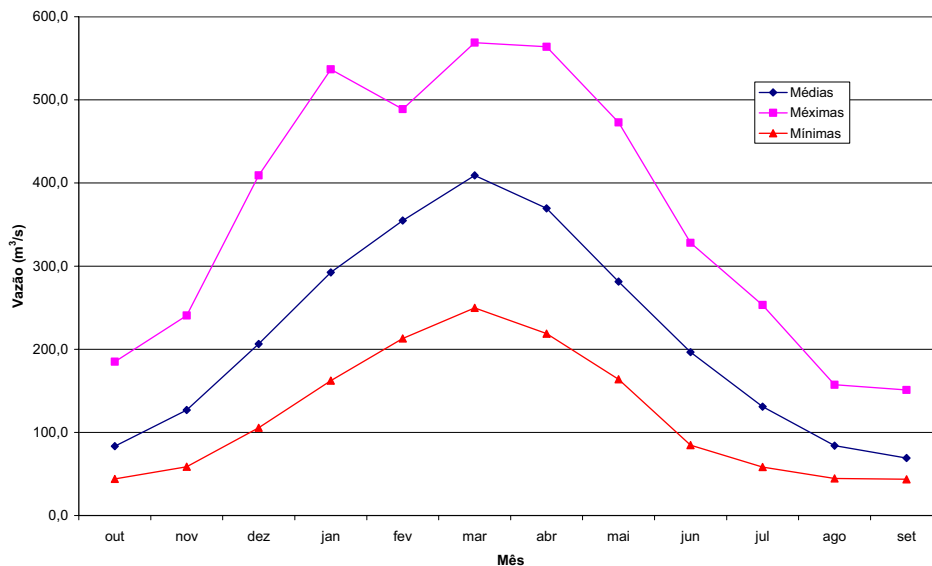
O regime hidrológico do rio Madeira e de seus afluentes brasileiros tem um marcante comportamento sazonal, que é caracterizado por um período de águas baixas, de julho a outubro, e um período de águas altas, de fevereiro a maio. As vazões mínimas do ano ocorrem com maior frequência em setembro, enquanto que as máximas verificam-se nos meses de março e abril.

O rio Jaci-paraná tem como seus principais afluentes os rios Branco (margem direita) e São Francisco (margem esquerda), que deságuam no estirão modelado. As áreas de contribuição das sub-bacias de interesse ao estudo são as seguintes:

- rio Madeira em Porto Velho = 988.997 km²;
- rio Jaci-paraná na foz = 11.847 km²;
- rio Branco na foz = 3.110 km²;
- rio São Francisco na foz = 2.240 km².

Para caracterizar o regime hidrológico do rio Jaci-paraná, foi utilizada uma série de vazões médias mensais gerada a partir das séries dos postos fluviométricos de Porto Velho e Abunã, ajustada por proporção entre as respectivas áreas de drenagem. A Figura 4.2.1, a seguir, ilustra o comportamento das vazões médias mensais durante o ano hidrológico (outubro a setembro).

Figura 4.2.1 – Comportamento das Vazões Médias Mensais do Rio Jaci-paraná (1931 a 2001)



Pode-se observar que as vazões médias mensais obtidas variaram entre 43,7 e 569 m³/s. No mês de março, as médias mensais variaram de 250 a 569 m³/s. No período de seca, em setembro, a vazão média é inferior a 150 m³/s, podendo chegar a 43,7 m³/s.

A vazão média de longo termo da série do rio Jaci-paraná é cerca de 215 m³/s, sendo a média dos meses mais secos (agosto a outubro) igual a 78,9. A média dos meses mais úmidos (fevereiro a abril) é aproximadamente 378 m³/s.

O Quadro 4.2.1 a seguir apresenta uma comparação entre vazões características dos rios Madeira e Jaci-paraná, no período 1931 a 2001.

Quadro 4.2.1
Vazões Características dos rios Madeira e Jaci-paraná

Condição	Vazão (m ³ /s)	
	Madeira	Jaci-paraná
Mês mais seco (set/94)	3.651	43,7
Média dos meses secos (ago a out)	6.524	78,9
Média de longo termo (1931 a 2001)	17.983	215
Média dos meses úmidos (fev a abr)	31.498	378
Mês mais úmido (mar/51)	47.492	569

Entre os períodos de seca e cheia, o nível do rio Madeira varia muito, cerca de 9m, conforme pode ser visto no Quadro 4.2.2, que apresenta a variação de níveis d'água do rio Madeira próximo à foz do rio Jaci-paraná, obtidos na modelagem da hidráulica fluvial do rio Madeira em condições naturais (PCE e Odebrecht, 2005).

Quadro 4.2.2
Níveis d'Água Característicos do Rio Madeira na Foz do Rio Jaci-paraná em Condições Naturais

Condição	Rio Madeira	
	Vazão (m ³ /s)	Níveis d'Água (m)
Média dos meses secos (ago a out)	6.524	64,7
Média de longo termo (1931 a 2001)	17.983	69,9
Média dos meses úmidos (fev a abr)	31.498	73,5

Durante as cheias, os níveis altos do rio Madeira provocam remanso no rio Jaci-paraná, fazendo com que suas águas extravasem da calha principal e inundem a vegetação existente, principalmente no trecho mais a jusante (Trecho 9) próximo à foz. Além disso, os níveis d'água associados à ocorrência da vazão média em condições naturais são próximos aos níveis que ocorrerão após a implantação do reservatório de Santo Antonio.

Para definição das características hidráulicas dos trechos de rio simulados, foram utilizados os dados resultantes de simulações com o modelo HEC-RAS, de hidráulica fluvial, descrito anteriormente no Relatório Final dos Estudos de Viabilidade (PCE/Odebrecht, 2005). Nessas simulações ficou evidente o acentuado controle exercido pelo rio Madeira no escoamento do rio Jaci-paraná em condições naturais, tanto durante os períodos de vazões médias quanto nos de vazões máximas.

No modelo QUAL2E, as características hidráulicas são representadas através de equações que relacionam velocidade média e vazão e profundidade média e vazão, conforme as seguintes relações:

$$v = c. Q^d$$

$$A_x = \frac{Q}{v}$$

$$h = a. Q^b$$

Onde:

- a, b, c e d - constantes determinadas a partir das relações entre a velocidade e a vazão e a profundidade e a vazão;
- v - velocidade média;
- A_x - área da seção transversal;
- h - profundidade média; e ,
- Q - vazão média no trecho.

Os coeficientes a, b, c e d para os 9 trechos estabelecidos no estirão simulado do rio Jaci-paraná estão apresentados no Quadro 4.2.3 a seguir. Esses coeficientes foram obtidos para a ocorrência de vazões médias em condições naturais, quando o nível d'água do rio Madeira está na cota 69,9m.

QUADRO 4.2.3
Coefficientes Empregados na Caracterização Hidráulica dos Trechos em Condições Naturais

Trecho	a	b	c	d
1	0,3746	0,4012	0,0729	0,4644
2	0,5683	0,2836	0,0373	0,5089
3	0,5683	0,2836	0,0373	0,5089
4	0,5683	0,2836	0,0373	0,5089
5	2,4573	0,0474	0,0052	0,8877
6	2,5552	0,0050	0,0024	0,9611
7	2,5552	0,0050	0,0024	0,9611
8	2,6119	0,0089	0,0010	0,9632
9	3,1192	0	0,0005	0,9999

4.3 Qualidade da Água Atual

Para a avaliação da qualidade das águas superficiais, havia sido elaborado o documento “Diagnóstico Ambiental do Sistema Fluvial do Rio Madeira no Trecho de Implantação das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio” (referência 1), para o qual foram realizadas cinco campanhas de campo entre novembro de 2003 e agosto de 2004, cada uma com duração aproximada de 10 dias.

Nessas campanhas, foram coletadas amostras de água para análises laboratoriais em oito estações ao longo do rio Madeira e seis estações em alguns tributários selecionados, entre eles o rio Jaci-paraná. Os resultados desse estudo fundamentaram o estabelecimento das condições atuais para efeito de calibração do modelo de qualidade da água. O Quadro 4.3.1 apresenta os resultados obtidos nas coletas do rio Jaci-paraná para os principais parâmetros de qualidade da água.

Quadro 4.3.1
Resultados das Campanhas no Rio Jaci-paraná
Estação de Coleta JAC-30, Localizada na Ponte da BR – 364

Parâmetro	Unidade	Enchente nov-03	Cheia-1 jan-04	Cheia-2 mar-04	Vazante mai-04	Seca jul-04
Temperatura Média da Água	°C	30,8	26,6	25,8	25,6	26,3
OD Oxigênio Dissolvido	mg/L	7,20	4,46	3,65	5,54	6,37
pH Potencial Hidrogeniônico	-	6,41	5,96	5,52	6,16	6,24
DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	1,76	1,08	0,80	1,27	1,15
SSF Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	78	22	13	10	49
SSV Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	25	68	82	57	44
Cloreto	mg/L	1,07	1,07	0,71	1,07	1,07
Sulfato	mg/L	0,15	0,30	1,00	0,30	1,37
Bicarbonato	mg/L	10,98	11,56	15,86	9,76	9,76
Concentração Iônica Total	eq/L	379,1	351,0	401,3	298,1	333,7
Ferro Total	mg/L	3,17	0,41	1,16	0,62	1,03
Ferro Dissolvido	mg/L	0,13	0,11	0,09	0,13	0,11
Fosfato	mg/L	0,004	0,001	0,002	0,000	0,001
Fósforo Total Dissolvido	mg/L	0,009	0,000	0,000	0,000	0,003
Fósforo Total	mg/L	0,022	0,000	0,005	0,018	0,019
Amônia	mg/L	0,16	0,08	0,19	0,00	0,11
Nitrato	mg/L	0,41	0,33	0,34	0,32	0,01
Nitrogênio Orgânico Total (Kjedahl)	mg/L	1,6	2,2	3,0	2,0	2,0
Carbono Orgânico Dissolvido	mg/L	8,3	9,1	16,6	5,8	3,4
Clorofila-a	g/L	5,6	1,1	3,5	4,9	9,0
Coliformes Fecais	NMP/100 mL	-	200	ND	600	<200
Coliformes Totais	NMP/100 mL	-	1100	ND	2100	600

Esses resultados indicam que a qualidade de água do rio Jaci-paraná nas condições atuais é boa, estando dentro dos limites estabelecidos para a Classe 2 pela Resolução CONAMA 357/05.

Tendo em vista que o objetivo de elaborar uma modelagem específica para o rio Jaci-paraná foi caracterizar os impactos decorrentes, principalmente, da ampliação da população na área urbana de Jaci-paraná, durante o pico das obras, e a decomposição da vegetação inundada, foram selecionados os seguintes parâmetros para análise: OD, DBO, Nitrogênio Orgânico, Fósforo Orgânico e Coliformes fecais.

A condição hidrológica selecionada para calibração do modelo QUAL2E foi a de vazões médias, cerca de 215 m³/s no rio Jaci-paraná. A vazão estimada para o período da campanha na vazante, em maio de 2005, é a mais próxima desse valor, de modo que seus resultados foram utilizados como referência na calibração do modelo.

No presente estudo foram considerados os dois principais afluentes do rio Jaci-paraná, rios Branco e São Francisco, representados no modelo como uma entrada pontual de despejo.

Analisando o mapa de uso do solo disponível, verificou-se que a bacia do rio Branco apresenta ainda grande área de Floresta, assim como a área a montante do ponto de cabeceira

da modelagem (Trecho 1). Já o rio São Francisco apresenta áreas antropizadas, principalmente próximo à sua foz. Dessa forma, as condições do rio Branco (concentrações de DBO, OD, Coliformes, N e P) foram consideradas semelhantes às da cabeceira, de melhor qualidade, enquanto as do rio São Francisco foram admitidas como mais alteradas.

Admitiu-se ainda o despejo do esgoto doméstico da população atual de Jaci-paraná, que gera uma vazão estimada em 4,5 L/s (120 L/hab.dia), com os mesmos fatores de emissão de poluentes adotados para os cenários futuros e apresentados adiante. O Quadro 4.3.2 apresenta as vazões adotadas no modelo para os diversos trechos.

Quadro 4.3.2
Vazões Adotadas nos Trechos do Modelo

Trecho	Extensão (m)	Número de Elementos	Entrada	Vazões (m ³ /s)
1	7.600	19		118
2	6.000	15		118
3	6.000	15		118
4	6.000	15		118
5	8.000	20	Rio Branco	174
6	4.000	10		174
7	5.200	13		174
8	8.000	20	Rio São Francisco	215
9	8.000	20	Cidade Jaci-paraná	215

Os parâmetros de qualidade da água resultantes da calibração do modelo são apresentados no Quadro 4.3.3 a seguir.

Quadro 4.3.3 – Parâmetros Obtidos na Calibração

Parâmetro	Descrição	Calibrado
K₁	Taxa de decomposição da DBO	0,1
K₂	Coefficiente de reaeração	0,3
3	Taxa de hidrólise do N orgânico em amônia	0,03
4	Taxa de sedimentação do N orgânico	0,01
1	Taxa de oxidação biológica de amônia para nitrito	0,8
3	Taxa de produção de amônia pelos bentos	0,1
2	Taxa de oxidação biológica de nitrito para nitrato	1,0
4	Taxa de decaimento de P orgânico para P dissolvido	0,15
5	Taxa de sedimentação do P orgânico	0,005
2	Taxa de produção de P dissolvido pelos bentos	0,01
K₅	Taxa de decaimento de coliformes	0,05
K₃	Taxa de sedimentação de DBO	0
K₄	Demanda de oxigênio dos sedimentos	0,5
5	Consumo de O ₂ por unidade de oxidação de amônia	3,5
6	Consumo de O ₂ por unidade de oxidação de nitrito	1,14

A seguir são apresentados, nas Figuras 4.3.1 a 4.3.5, gráficos ilustrativos do comportamento das principais variáveis de qualidade de água ao longo do estirão nas condições atuais, conforme o estágio atual da calibração do modelo QUAL2E para o rio Jaci-paraná.

Figura 4.3.1

Cenário Atual
Oxigênio Dissolvido (mg/L)

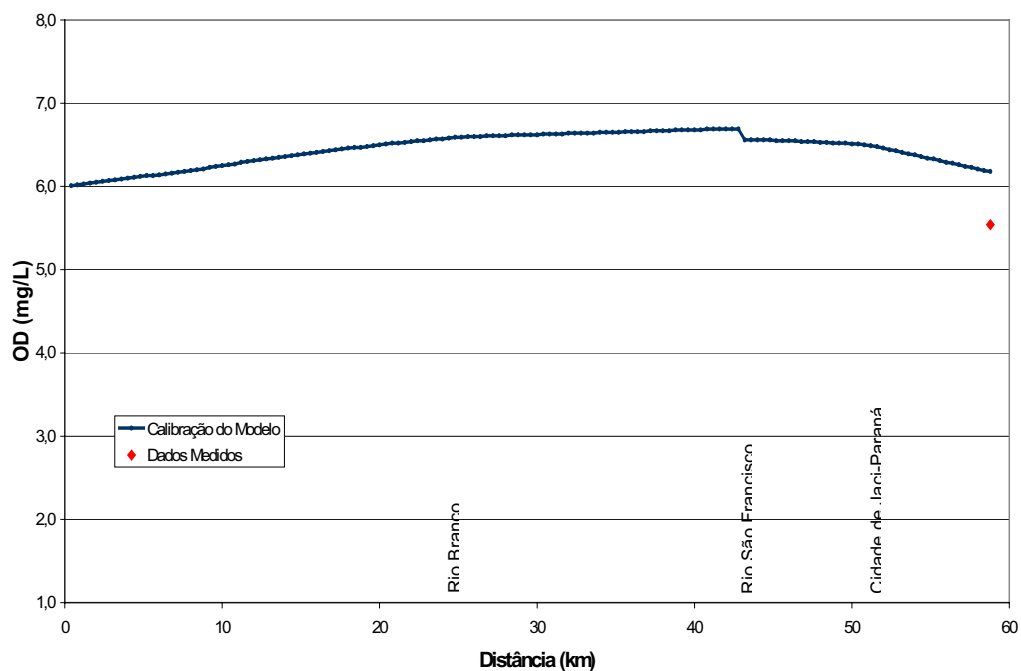


Figura 4.3.2

Cenário Atual
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)

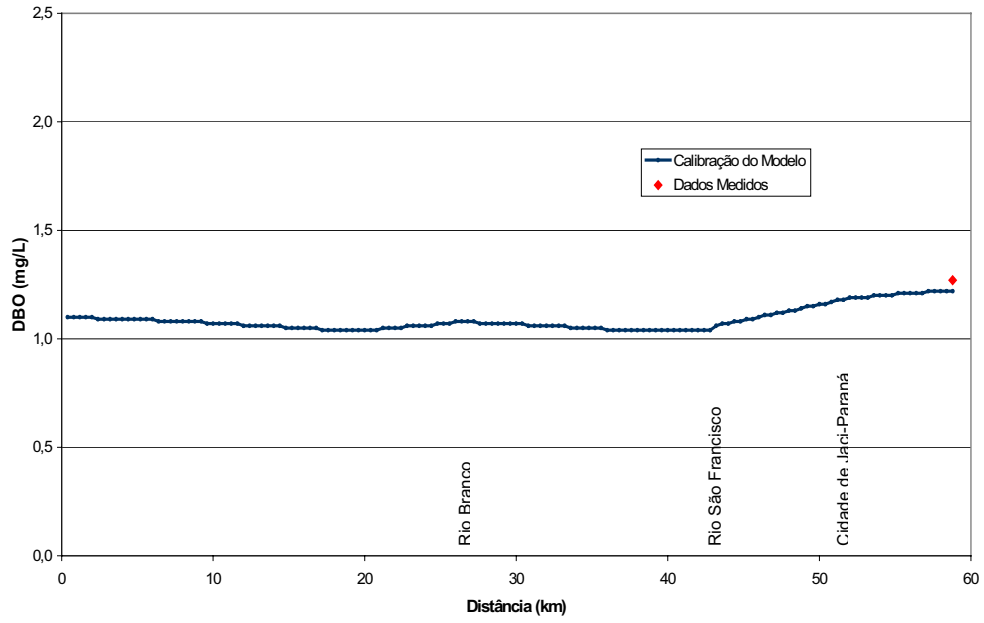


Figura 4.3.3

Cenário Atual
Coliformes Fecais (NMP/100mL)

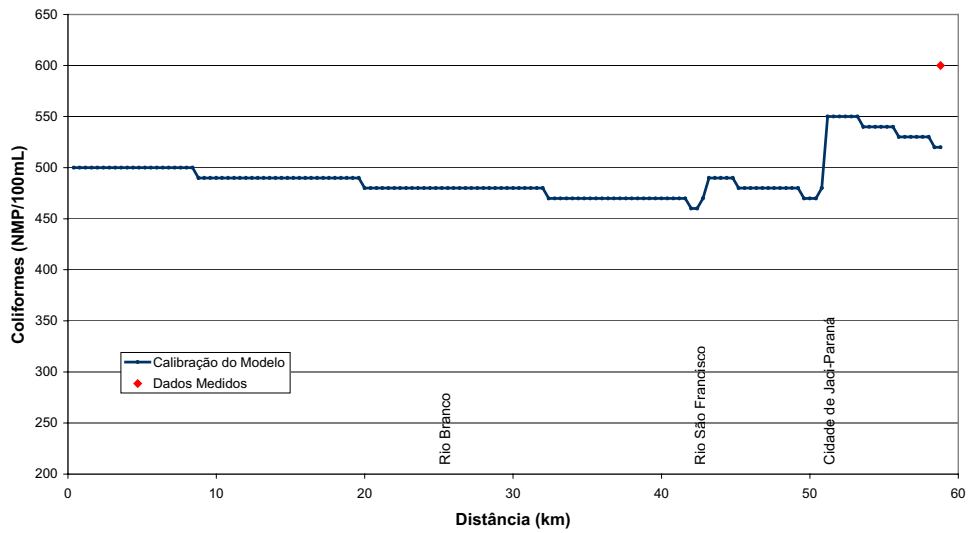


Figura 4.3.4

Cenário Atual
Nitrogênio Orgânico (mg/L)

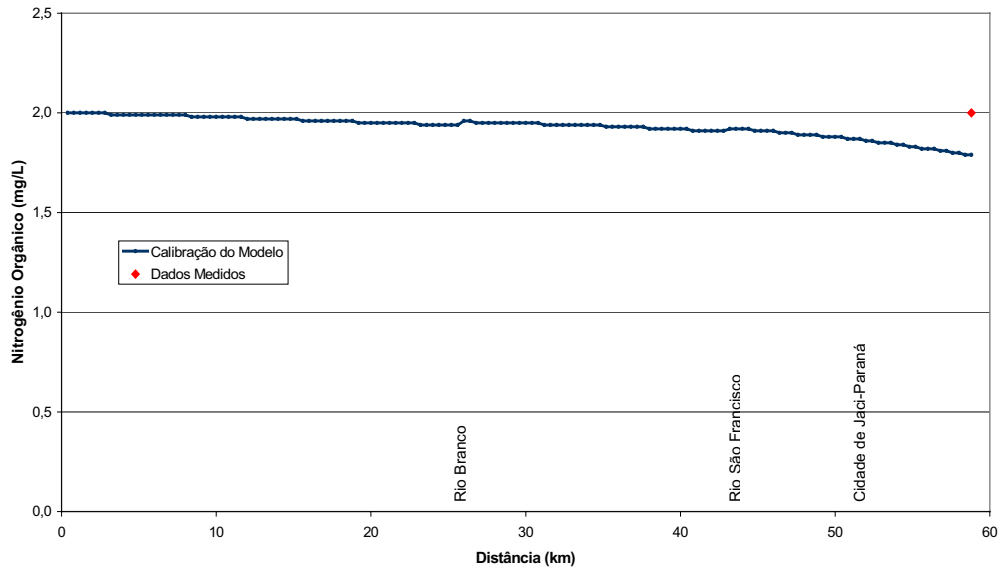
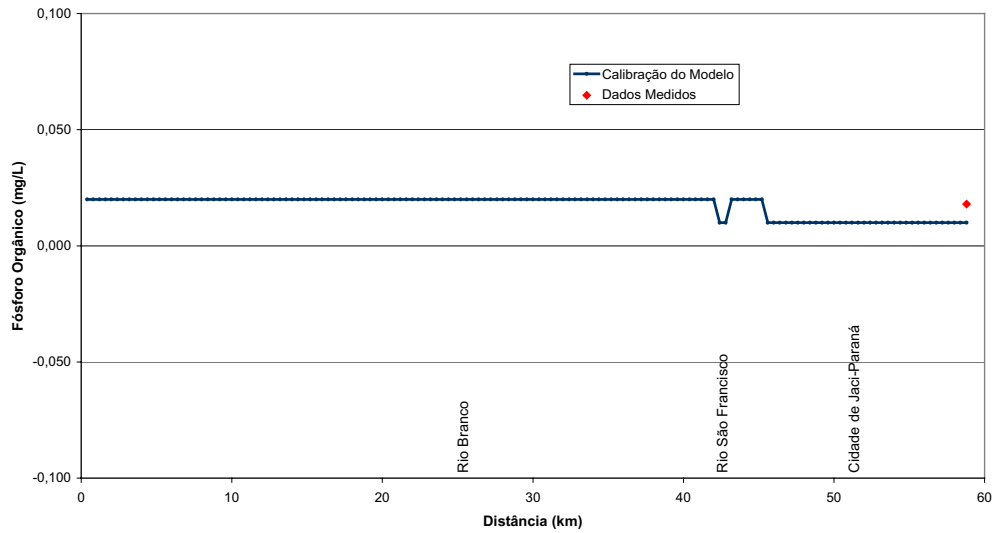


Figura 4.3.5

Cenário Atual
Fósforo Orgânico (mg/L)



4.4 Regime Hidráulico Futuro

A formação do reservatório de Santo Antonio ocasionará mudanças no curso d'água barrado, o rio Madeira, reduzindo também as velocidades médias de escoamento nos trechos próximos à foz de alguns afluentes, com reflexos sobre a qualidade da água.

A inundação da vegetação existente (ou remanescente) na área desses braços do reservatório é responsável por um dos impactos causados na qualidade da água pela implantação de reservatórios, pois, durante este processo, observa-se o desencadeamento de uma série de reações de natureza físico-química e biológica, que podem, por sua vez, acarretar impactos significativos no meio biótico.

A implantação do reservatório de Santo Antonio terá um braço em seu afluente Jaci-paraná, que poderá ser afetado também pelo aumento do esgoto doméstico produzido durante a realização das obras, devido à população atraída para o local.

Para a condição futura, os parâmetros do modelo de caracterização hidráulica foram também adaptados, buscando melhor representar as novas condições hidráulicas e de autodepuração reinantes após o enchimento. Foram, então, realizadas novas simulações utilizando o modelo HEC-RAS, para níveis d'água associados à ocorrência das vazões médias, quando o nível d'água do reservatório é aproximadamente 71,65m, junto à foz do rio Jaci-paraná.

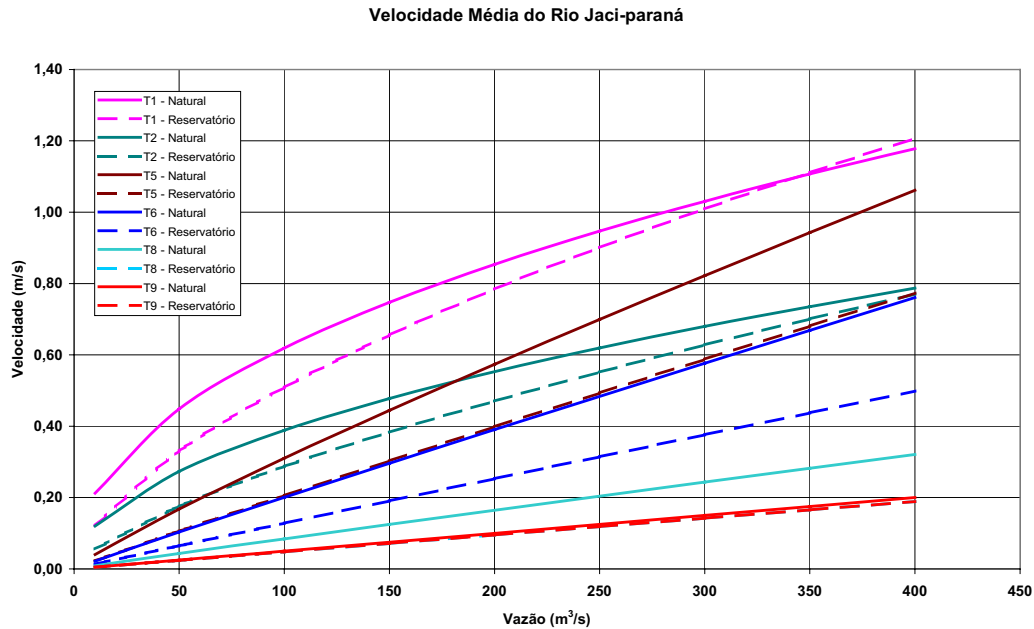
Os novos coeficientes a, b, c e d adotados para o estirão simulado do rio Jaci-paraná estão apresentados no Quadro 4.4.1 a seguir.

QUADRO 4.4.1 Coeficientes Empregados na Caracterização Hidráulica dos Trechos com o Reservatório de Santo Antonio

Trecho	a	b	c	d
1	0,7990	0,2710	0,0289	0,6229
2	1,1640	0,1661	0,0108	0,7123
3	1,1640	0,1661	0,0108	0,7123
4	1,1640	0,1661	0,0108	0,7123
5	3,4340	0,0139	0,0025	0,9572
6	3,0060	0,0125	0,0014	0,9806
7	3,0060	0,0125	0,0014	0,9806
8	3,9960	0,0013	0,0005	0,9905
9	2,8370	0,0000	0,0008	0,9664

O gráfico apresentado na Figura 4.4.1 a seguir ilustra o comportamento das velocidades do rio Jaci-paraná nas condições naturais e com o reservatório de Santo Antonio implantado, para os diversos trechos (T1 a T9) estabelecidos para o modelo de qualidade de água.

Figura 4.4.1 Velocidade Média do Rio Jaci-paraná



Para os níveis d'água do rio Madeira próximo à foz do rio Jaci-paraná nas duas condições (com e sem reservatório), foram adotados os níveis correspondentes à ocorrência da vazão média de longo termo. Em condições naturais, o N.A. nesse local seria aproximadamente 69,90m e com o reservatório ficaria em 71,65m.

Pode-se observar que, em todos os trechos, a implantação do reservatório de Santo Antonio provoca redução nas velocidades de escoamento. De modo geral, essas reduções são pequenas, sendo que as maiores alterações das velocidades ocorrem nos Trechos 5 e 6.

No estirão mais a jusante, Trecho 9, a alteração é muito pequena, de modo que as curvas de velocidade coincidem para as condições natural e com reservatório. A curva de velocidade do Trecho 8 com reservatório também coincide com essas duas, ficando oculta no gráfico.

Outro aspecto relevante está relacionado com os tempos de residência da água nesse braço do reservatório. A partir das ortofotocartas planialtimétricas (escala 1:10.000), foi elaborada uma curva cota-volume do braço do reservatório no rio Jaci-paraná, tendo sua foz como limite a jusante. Foram, então, estimados os volumes totais de água no braço, para diversos níveis d'água na foz conforme a época do ano hidrológico, e seus respectivos tempos de residência da água.

Em condições naturais, para a vazão média de longo termo ($215 \text{ m}^3/\text{s}$) e N.A. na foz de 69,90m, o volume total do braço é cerca de 35 hm^3 e o tempo de residência da água no braço aproximadamente 1,9 dias.

Com a implantação do reservatório, os níveis d'água ficam mais altos alterando os tempos de residência, de modo que para a mesma vazão média e N.A. de 71,65m, na foz, o volume de água no braço aumenta para 98 hm^3 e o tempo de residência passa para 5,3 dias, como pode ser visto no Quadro 4.4.2, a seguir.

Quadro 4.4.2 Tempos de Residência da Água no Rio Jaci-paraná

Condição	Vazão (m ³ /s)		Nível d'Água na foz (m)	Volume do braço (hm ³)	Tempo de residência (dias)
	Média	Alta			
Natural	Média	215	69,90	35	1,9
Reservatório	Baixa	78,9	70,14	35	5,1
Reservatório	Média	215	71,65	98	5,3
Reservatório	Alta	378	73,95	185	5,7

No quadro, pode-se observar ainda que os tempos de residência da água, após a implantação do reservatório, variam em torno de 5 dias, para as diversas condições analisadas.

4.5 Qualidade da Água Futura

As simulações realizadas contemplaram quatro cenários futuros:

- Condições naturais, ainda sem o reservatório de Santo Antonio, mas com a população de Jaci-paraná prevista para o pico das obras (21.469 hab);
- Com o reservatório de Santo Antônio implantado, a população de Jaci-paraná prevista para permanecer depois das obras (9.023 hab) e a ocorrência de vazão média no rio Jaci-paraná;
- Com o reservatório de Santo Antônio implantado, a população de Jaci-paraná prevista para permanecer depois das obras (9.023 hab) e a ocorrência de vazão baixa no rio Jaci-paraná;
- Com o reservatório de Santo Antônio implantado antes da desmobilização completa da mão de obra em Jaci-paraná, considerando uma média entre a população no pico de obras e a população permanente, durante a ocorrência de vazão baixa no rio Jaci-paraná.

O Quadro 4.5.1 apresenta um resumo dos cenários simulados e o Quadro 4.5.2 a vazão de esgoto doméstico correspondente a cada cenário de população.

Quadro 4.5.1
Cenários de Simulação do Rio Jaci-paraná

Cenário	Estação	Vazão	Condições	População (hab)	
Atual	Vazante	Média	Naturais	Atual	3.250
Jaci A	Vazante	Média	Naturais	Pico da obra	21.469
Jaci B	Vazante	Média	Reservatório	Permanente	9.023
Jaci C	Seca	Baixa	Reservatório	Permanente	9.023
Jaci D	Seca	Baixa	Reservatório	Parcial	15.246

FIGURA 1 - Quadro 4.5.2
Vazões de Esgoto Doméstico da Localidade de Jaci-paraná

Condição	População (hab)	Vazão de esgoto	
		L/hab.dia	L/s
Atual	3.250	120	4,51
Pico da obra	21.469	120	29,82
Durante a desmobilização	15.246	120	21,18
Com reservatório	9.023	120	12,53

As cargas foram estimadas a partir de fatores de emissão de poluentes apresentados na literatura técnica, apresentados no Quadro 4.5.3.

FIGURA 2 -Quadro 4.5.3
Fatores de Emissão e Cargas de Poluentes no Esgoto

Parâmetro	Fator	Carga
DBO	54,0 g/hab.dia	450,0 mg/L
N orgânico	4,2 g/hab.dia	35,0 mg/L
N amoniacal	6,0 g/hab.dia	50,0 mg/L
P orgânico	0,6 g/hab.dia	5,0 mg/L
P inorgânico	1,2 g/hab.dia	10,0 mg/L
Coliformes fecais	4,8 x 10 ⁹ colí fecal/hab.dia	4,0 x 10 ⁶ colí/100mL

Fontes: Metcalf & Eddy, INC., 1984; Thomann, 1974

Para avaliação da biomassa afogada pelos reservatórios e determinação das principais cargas a ela associadas, foi tomado como base o Mapa de Uso da Terra e da Cobertura Vegetal do Reservatório de Santo Antônio. No Quadro 4.5.4 estão apresentadas as áreas inundadas no rio Jaci-paraná após a implantação do AHE Santo Antônio. As parcelas que contribuem com biomassa afogada encontram-se enfatizadas, nesse quadro.

Quadro 4.5.4
Áreas de Vegetação e Uso do Solo nas Áreas Inundadas (ha)

Cobertura Vegetal e Uso do Solo	Área (ha) em cada Trecho								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Floresta Ombrófila Aberta (*)	21,3	26,4	27,3	101,2	39,0	11,0	50,2	389,0	355,4
Ocupação Ribeirinha	1,6	0,5	1,7	3,2	3,3	0,5	19,3	1,8	
Formação Pioneira de Várzea			1,9					4,2	16,6
Pastagem							4,4	29,5	47,3
Banco de Areia									3,5
Balneário									3,2
Área Urbana									3,0
Afloramento Rochoso			2,1						

(*) Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas com Palmeiras

A seguir são apresentados, nas Figuras 4.5.1 a 4.5.20, gráficos ilustrativos do comportamento das principais variáveis de qualidade de água, ao longo do estirão calibrado do rio Jaci-paraná, para os quatro cenários simulados (cinco figuras para cada cenário).

Figura 4.5.1

Cenário Jaci A
Oxigênio Dissolvido (mg/L)

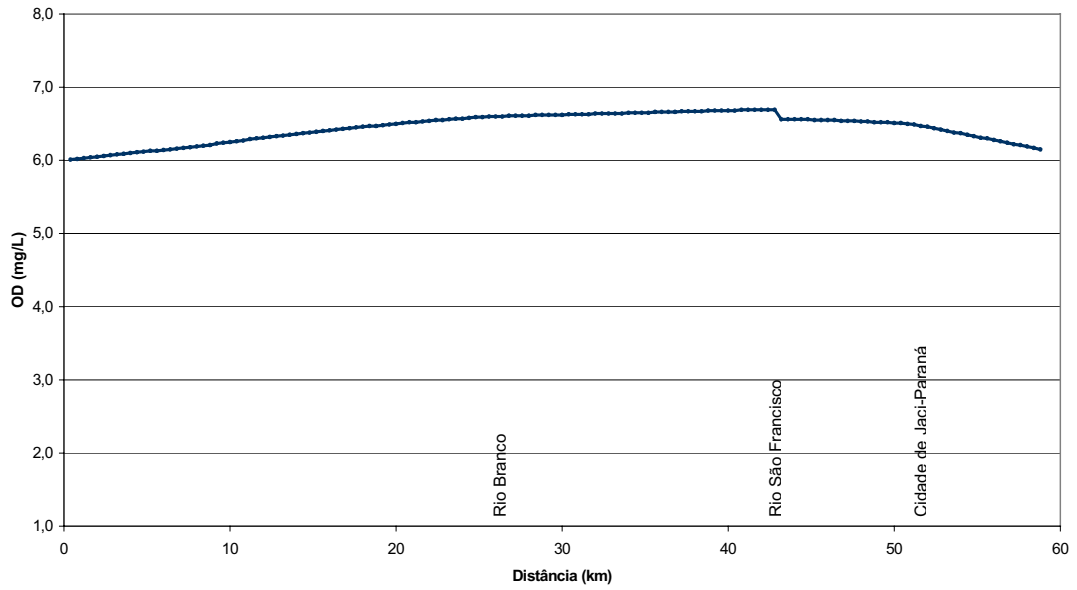


Figura 4.5.2

Cenário Jaci A
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)

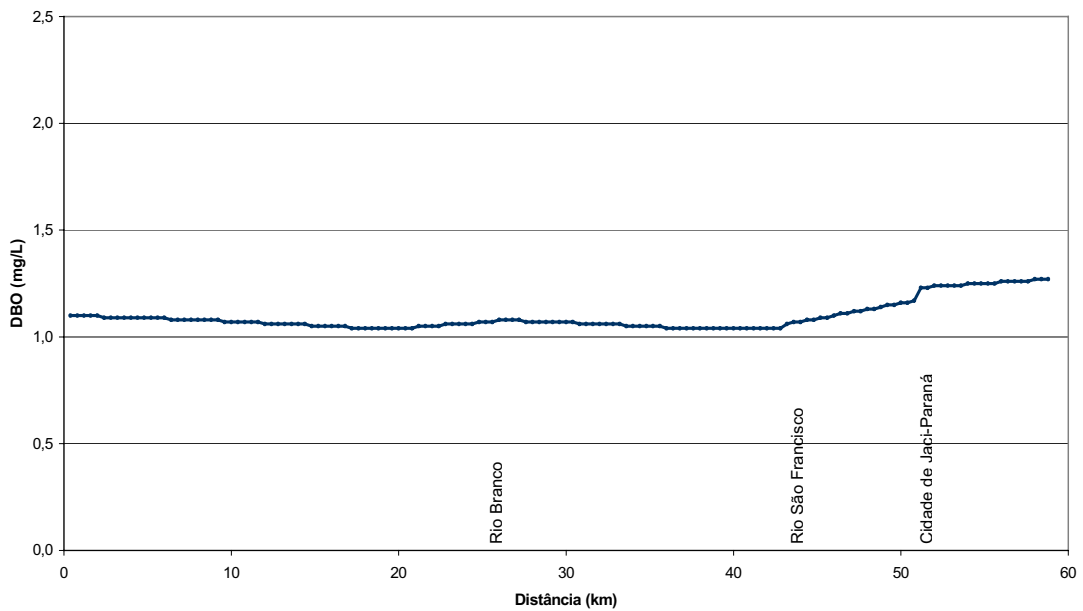


Figura 4.5.3

Cenário Jaci A
Coliformes Fecais (NMP/100mL)

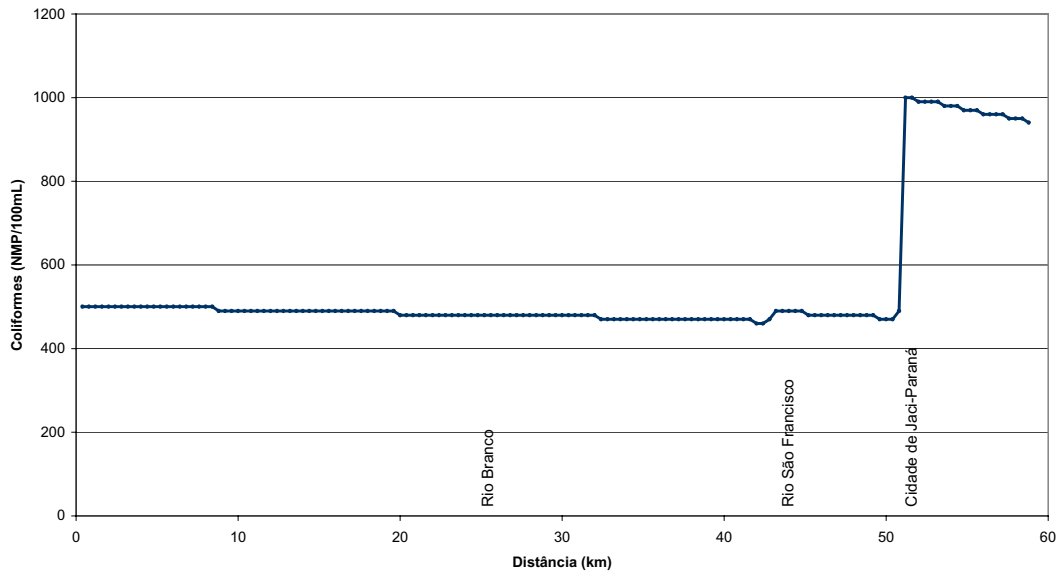


Figura 4.5.4

Cenário Jaci A
Nitrogênio Orgânico (mg/L)

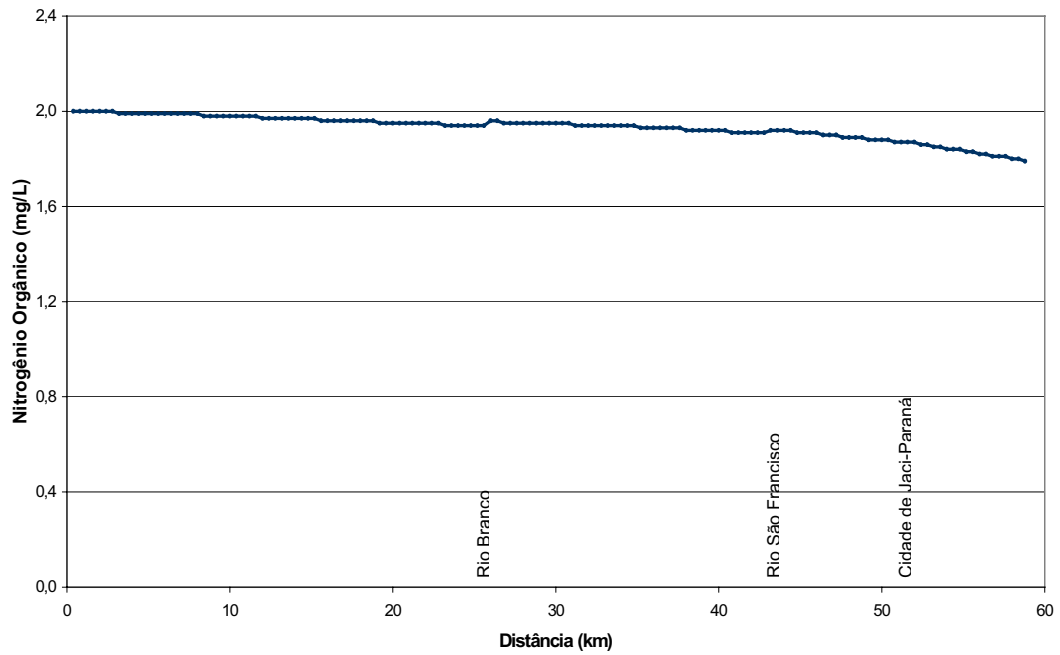


Figura 4.5.5

Cenário Jaci A
Fósforo Orgânico (mg/L)

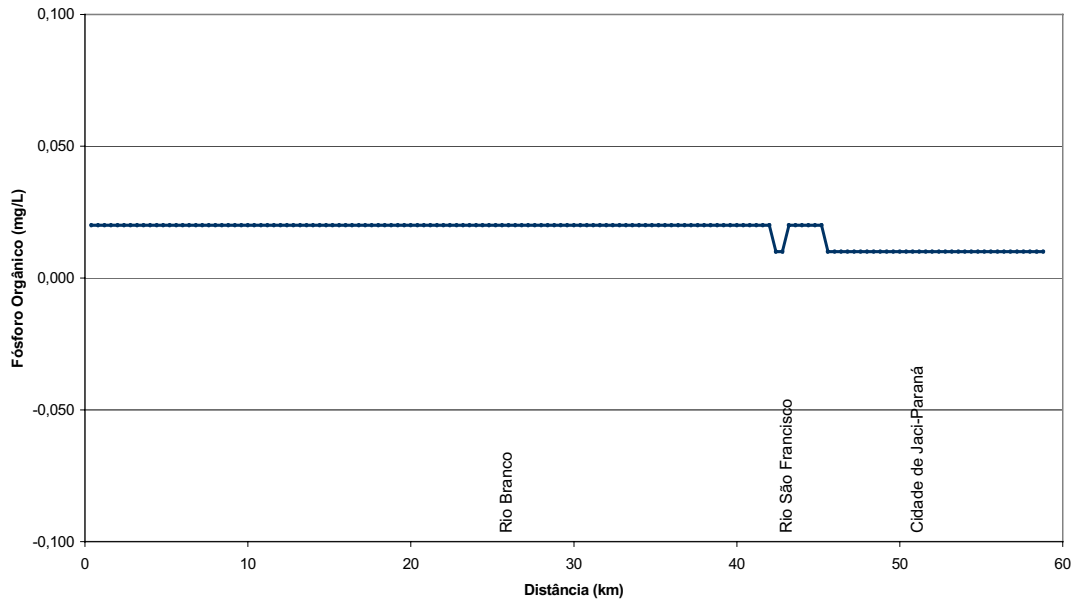


Figura 4.5.6

Cenário Jaci B
Oxigênio Dissolvido (mg/L)

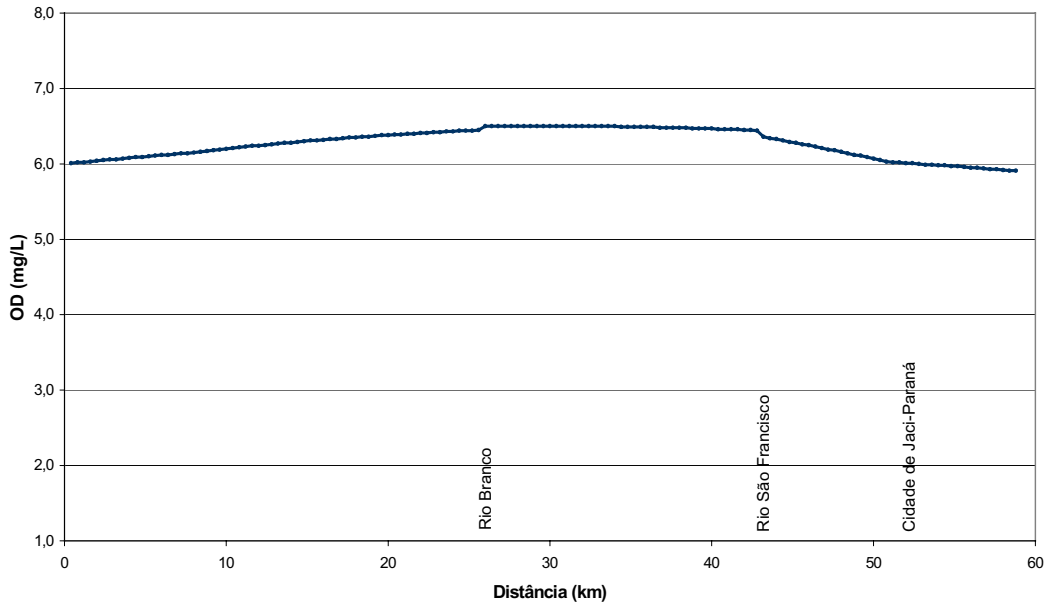


Figura 4.5.7

Cenário Jaci B
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)

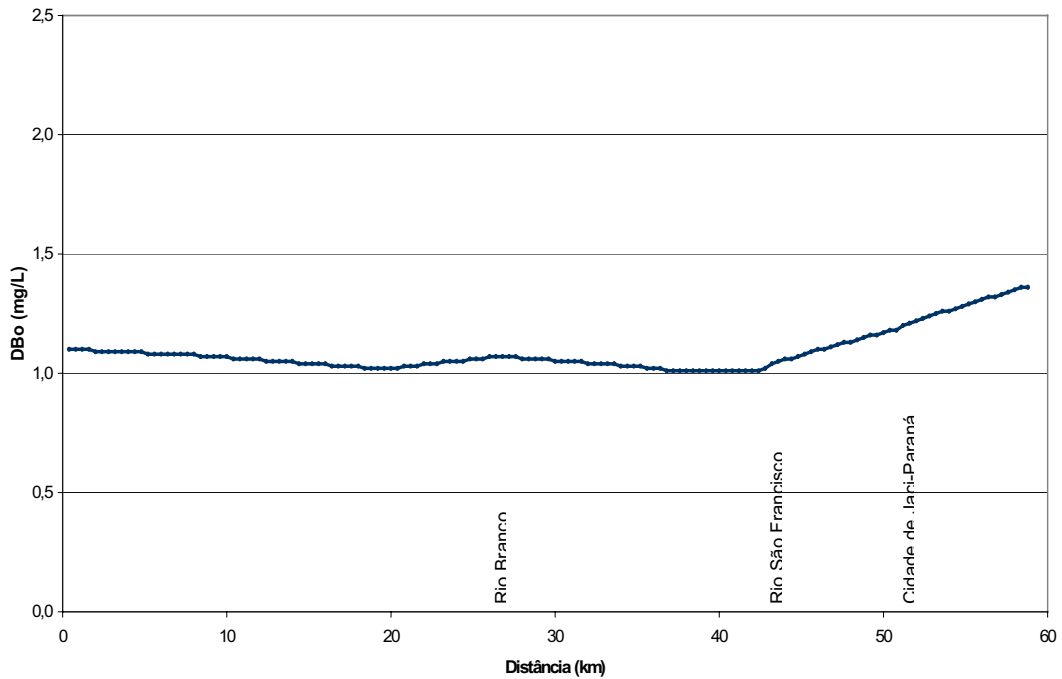


Figura 4.5.8

Cenário Jaci B
Coliformes Fecais (NMP/100mL)

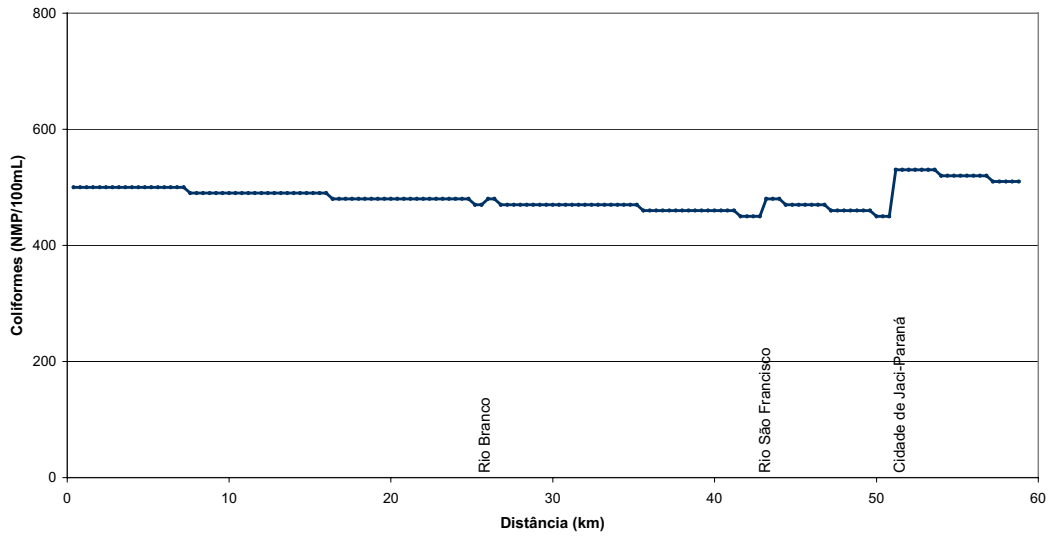


Figura 4.5.9

Cenário Jaci B
Nitrogênio Orgânico (mg/L)

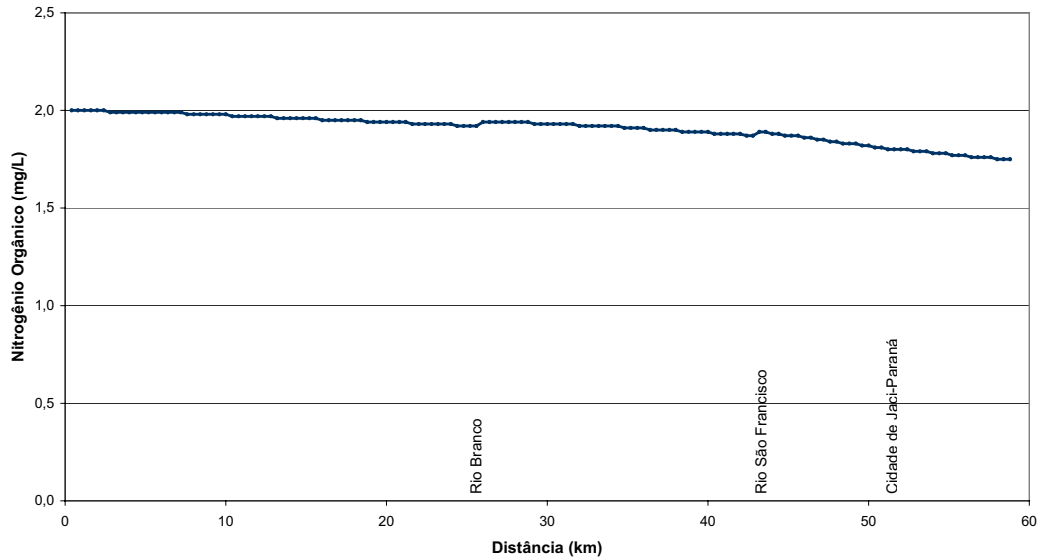


Figura 4.5.10

Cenário Jaci B
Fósforo Orgânico (mg/L)

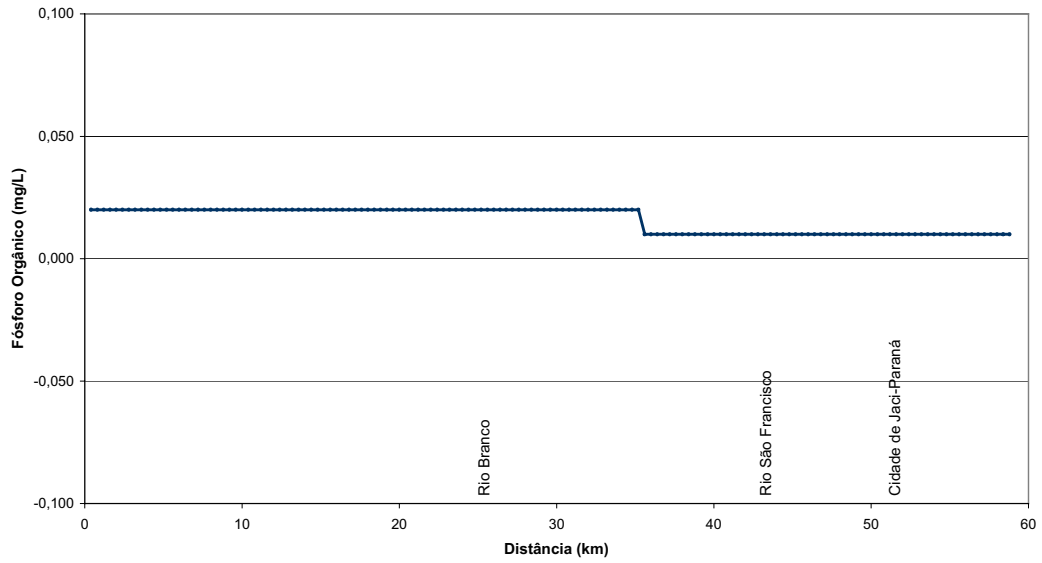


Figura 4.5.11

Cenário Jaci C
Oxigênio Dissolvido (mg/L)

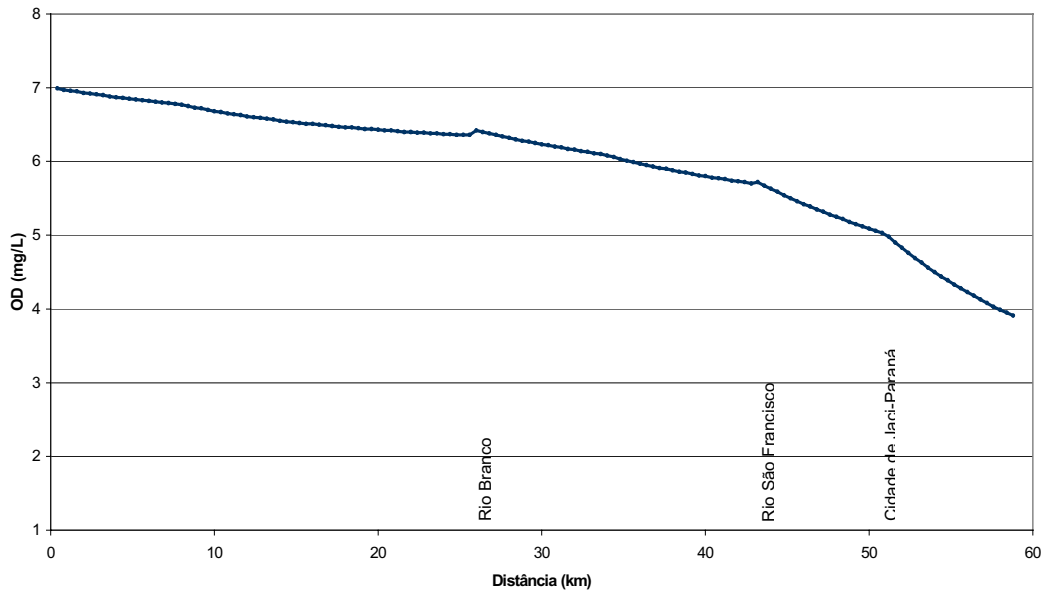


Figura 4.5.12
Cenário Jaci C
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)

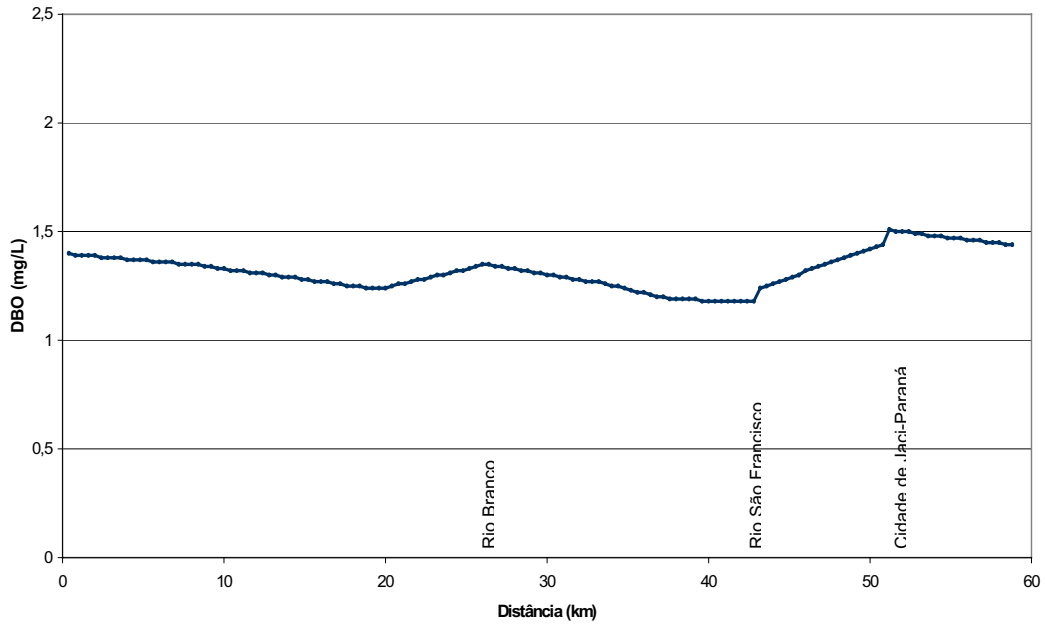


Figura 4.5.13
Cenário Jaci C
Coliformes Fecais (NMP/100mL)

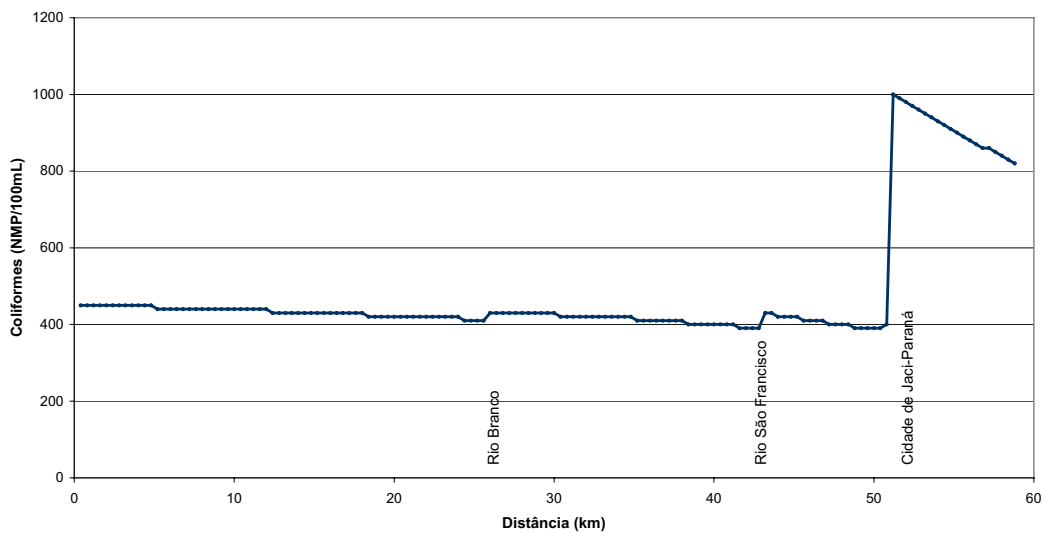


Figura 4.5.14
Cenário Jaci C
Nitrogênio Orgânico (mg/L)

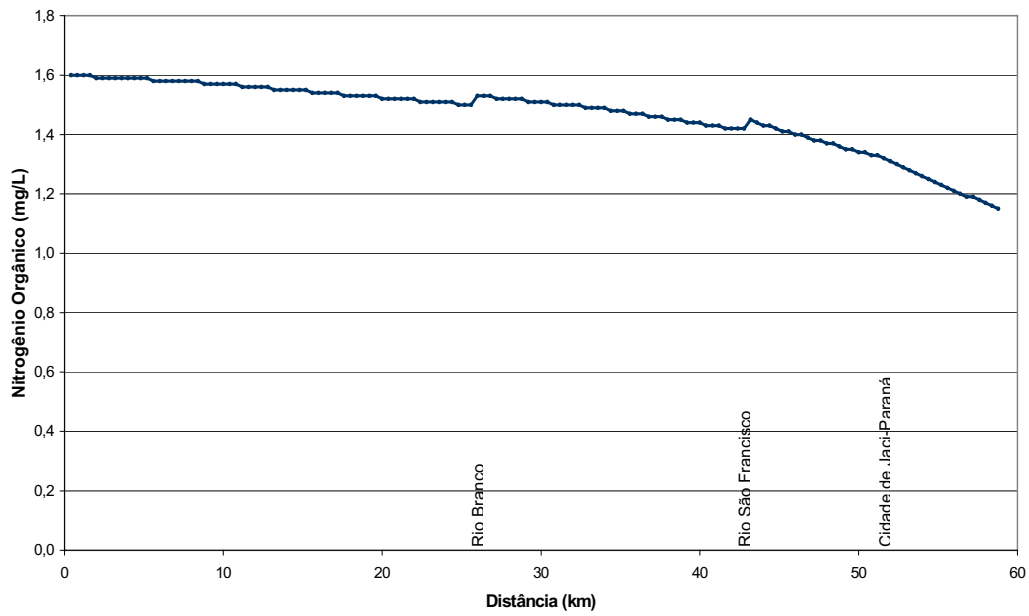


Figura 4.5.15
Cenário Jaci C
Fósforo Orgânico (mg/L)

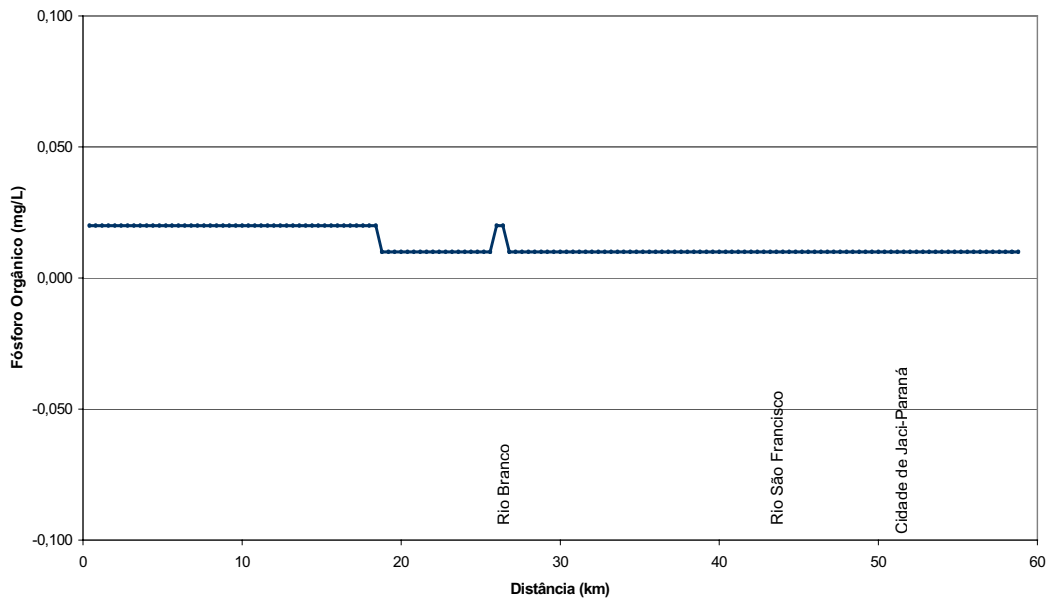


Figura 4.5.16

Cenário Jaci D
Oxigênio Dissolvido (mg/L)

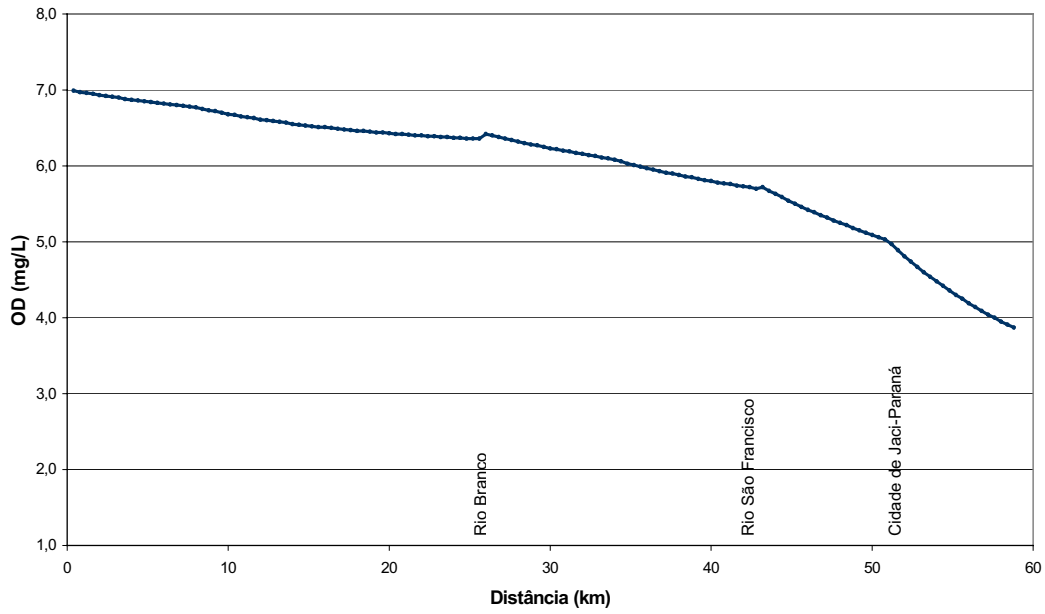


Figura 4.5.17

Cenário Jaci D
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)

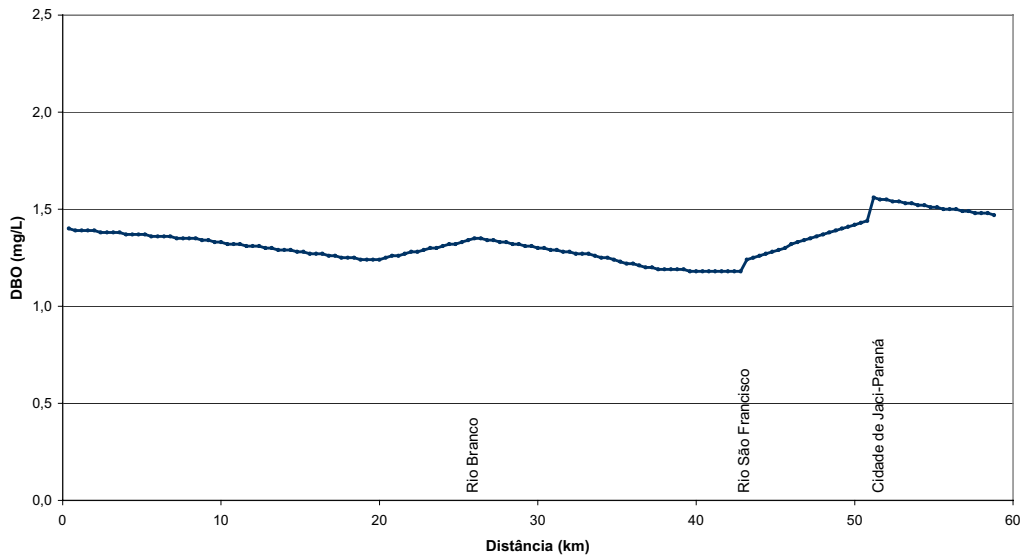


Figura 4.5.18

Cenário Jaci D
Coliformes Fecais (NMP/100mL)

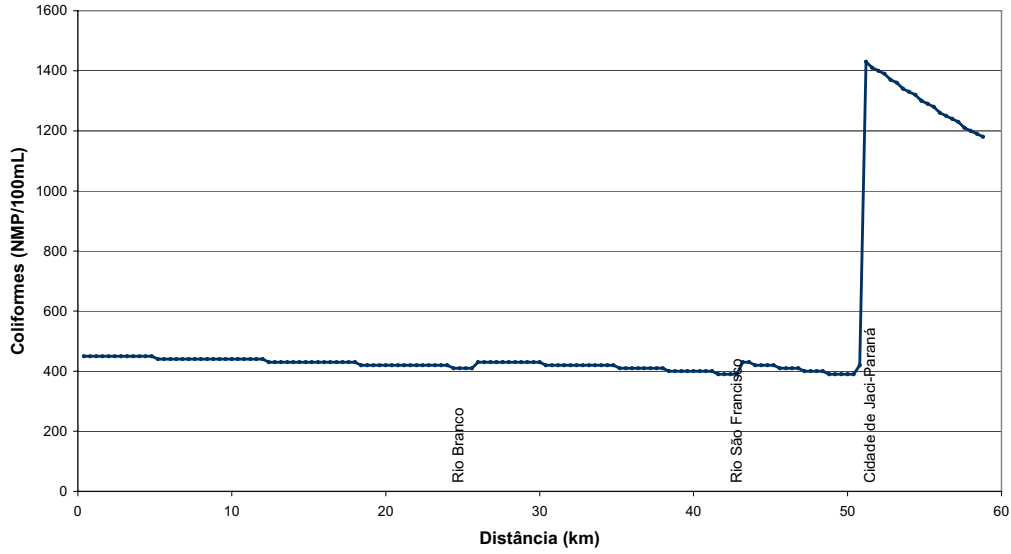


Figura 4.5.19

Cenário Jaci D
Nitrogênio Orgânico (mg/L)

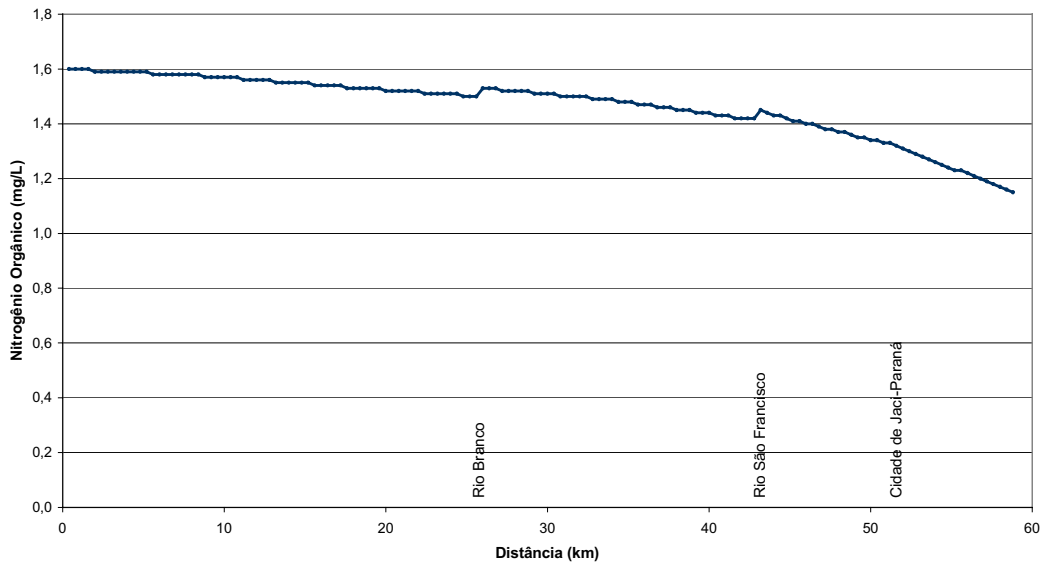
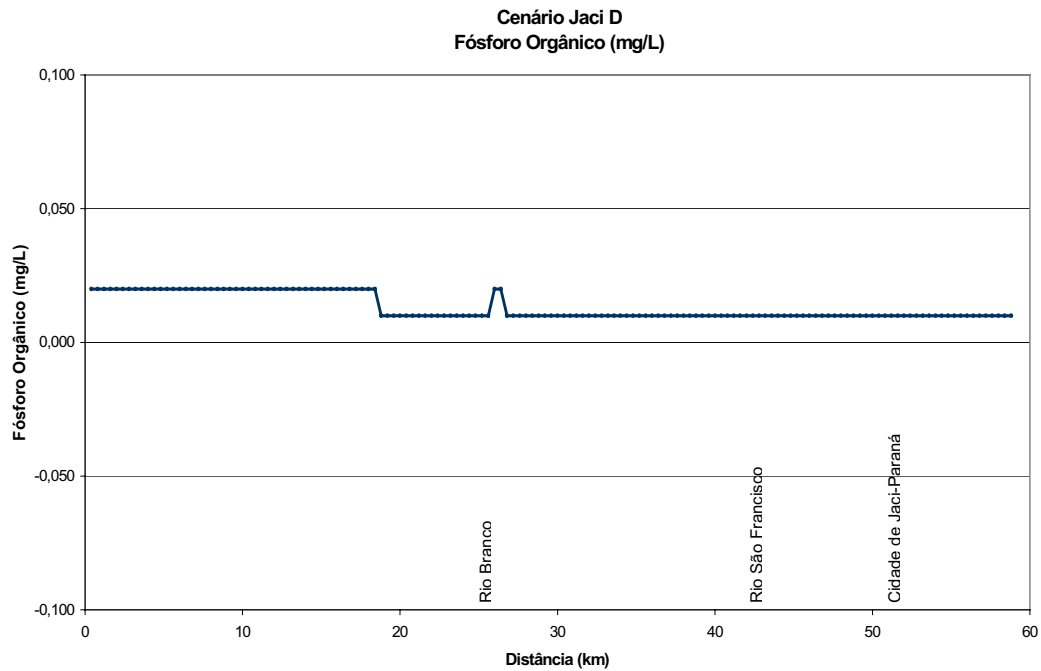


Figura 4.5.20



4.6 Análise dos Resultados

As simulações realizadas, a partir do estágio atual de calibração do modelo, permitem formular algumas observações sobre as alterações provocadas pela implantação dos Aproveitamentos de Jirau e Santo Antônio sobre a qualidade da água do rio Jaci-paraná.

Um importante resultado das análises realizadas diz respeito às alterações esperadas no regime hidráulico do rio Jaci-paraná com a implantação do reservatório. Verificou-se que em condições naturais o escoamento no rio Jaci-paraná é represado pelo rio Madeira sazonalmente, de uma forma tal que os níveis d'água no período de cheias são muito próximos daqueles que ocorrerão após o início de operação da usina. Isso ocorre porque o reservatório de Santo Antonio apresenta grandes profundidades apenas a jusante da cachoeira de Salto Teotônio. A montante desse local, onde ocorre a confluência com o Jaci-paraná, o regime dentro do reservatório é fluvial, com níveis d'água apenas ligeiramente superiores aos níveis naturais do rio Madeira.

Naturalmente, esta característica é refletida também no comportamento da qualidade da água. O afogamento de vegetação que será provocado pelo enchimento do reservatório já ocorre todos os anos durante a enchente, de modo que será apenas intensificado (os níveis d'água após a implantação do reservatório serão um pouco mais altos) e ocorrerá durante todo o ano e não apenas no período de cheia.

Por outro lado, o tempo de residência médio da água no estirão passará de cerca de 1,9 para 5,3 dias.

Os resultados das simulações de Coliformes, DBO e OD foram ilustrados em forma de mapas, tal como apresentado anteriormente para o Mutum-Paraná, empregando-se uma gradação de cores para visualizar a variação das concentrações calculadas ao longo do estirão do rio Jaci em estudo. Estes mapas estão apresentados de forma agrupada (quatro cenários por figura) ao final desse item: Figura 4.6.1 (Coliformes Fecais), Figura 4.6.2 (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e Figura 4.6.3 (Oxigênio Dissolvido).

Dos cenários simulados, a partir do estágio atual da calibração, o que apresentou os piores resultados foi o Jaci D, que reflete uma situação hipotética e transitória, na qual a população máxima associada ao pico da obra ainda não teria sido inteiramente desmobilizada no momento do enchimento do reservatório. A vila apresentaria, então, uma população, nesse momento, superior à população futura permanente, prevista nos estudos demográficos.

Nesse cenário, as concentrações de oxigênio dissolvido cairiam, junto à confluência com o rio Madeira, a valores próximos aos 4 mg/L, com demanda bioquímica de oxigênio superior a 1,5 mg/L. Embora os valores de DBO sejam ainda compatíveis com os padrões estabelecidos para a Classe 2 de uso da água, segundo a Resolução CONAMA 357/05, os índices de OD violam o limite inferior dessa classe. Além disso, os índices de coliformes fecais alcançariam, nesse cenário, valores superiores a 1500 coli/100ml, violando também o limite máximo da classe.

Os baixos índices de OD junto à confluência se repetem para o cenário Jaci C, associado a vazões baixas e população definitiva. Nos demais cenários, apenas os índices de coliformes continuam a apresentar valores limítrofes.

Esses resultados, apesar de preliminares, sugerem a necessidade de tratamento total ou parcial dos esgotos domésticos da Vila de Jaci-paraná, considerando o acréscimo populacional previsto em decorrência das obras.

5. ESTUDO DO IGARAPÉ JATUARANA

5.1 Descrição Geral

O Igarapé Jatuarana é um pequeno tributário do rio Madeira, pela margem esquerda, que aflui logo a jusante do Salto Teotônio. Será afetado pela implantação do reservatório de Santo Antônio, já que seu leito, junto à confluência, situa-se em torno da cota 50,0m. O objetivo de elaborar uma modelagem matemática específica para o rio Jatuarana foi caracterizar as condições futuras de qualidade da água no braço de reservatório que se formará ao longo do seu leito, tendo em vista a decomposição da vegetação inundada durante o enchimento do reservatório.

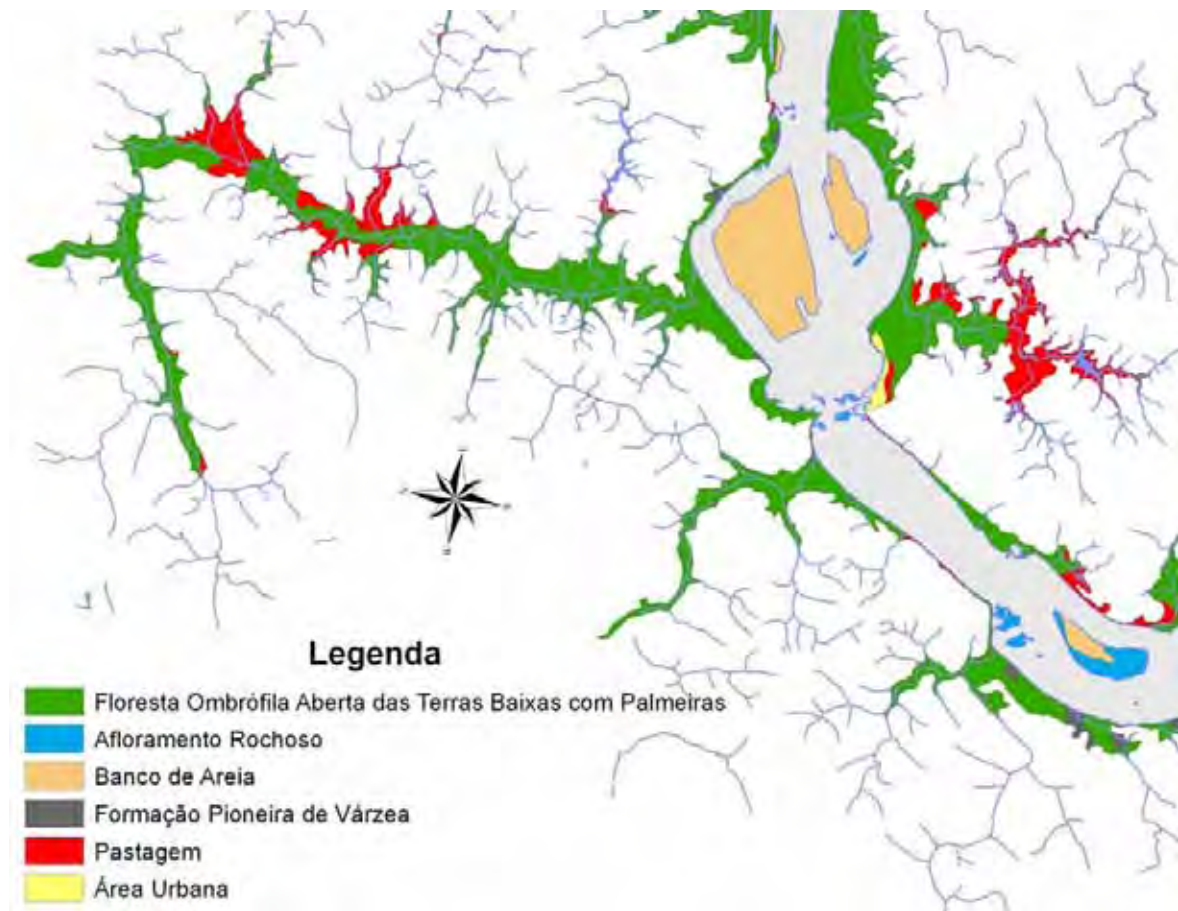
Os estudos realizados abrangeram um estirão do Igarapé Jatuarana desde sua foz Madeira até cerca de 17 km a montante, quase nas suas nascentes. A Figura 5.1.1 apresenta a bacia do Igarapé Jatuarana, mostrando ainda as manchas de vegetação e uso do solo identificadas na área a ser alagada pelo futuro reservatório.

A modelagem foi feita com o emprego do modelo unidimensional QUAL2E, que foi estabelecido inicialmente com o emprego de coeficientes obtidos da literatura técnica e depois adaptado para representar parâmetros de qualidade da água observados em outros afluentes do rio Madeira durante a campanha de monitoramento realizada, já que não se dispunha de

monitoramento de qualidade da água no próprio Igarapé. Posteriormente, o modelo foi alimentado com as cargas decorrentes da vegetação a ser afogada com o enchimento do reservatório do AHE Santo Antonio, estimada com base no mapa de uso do solo e cobertura vegetal disponível.

Optou-se por uma modelagem unidimensional por ser mais compatível com a geometria do futuro braço de reservatório, que terá um formato alongado, tendo-se escolhido o modelo QUAL2E pelos motivos descritos anteriormente no item 4.1.

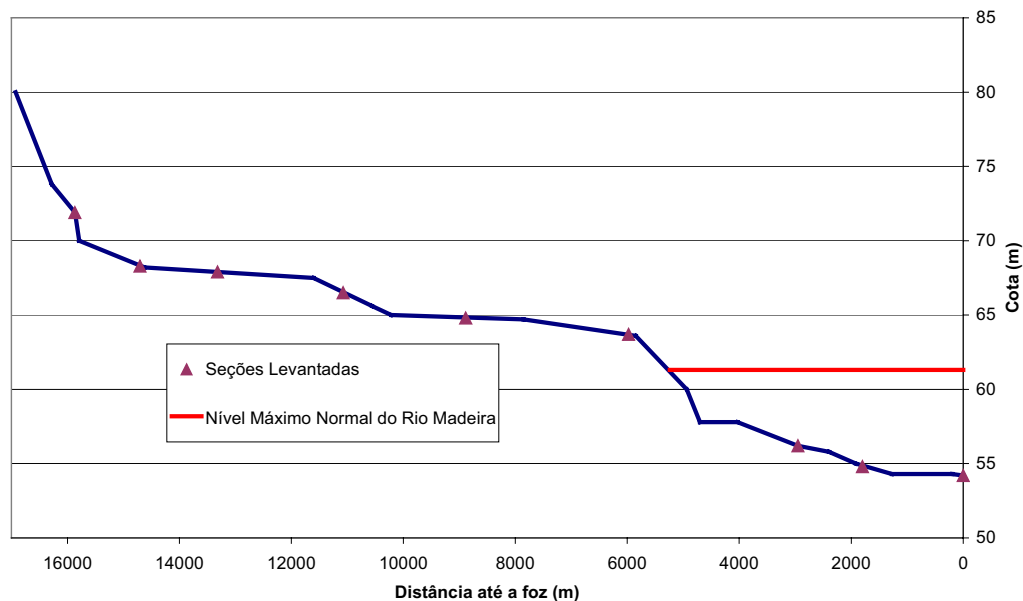
Figura 5.1.1 – Bacia do Igarapé Jatuarana



5.1.1 Segmentação do Estirão Fluvial

Com base na restituição aerofotogramétrica disponível (escala 10.000) foi elaborado um perfil de linha d'água do Igarapé Jatuarana (Figura 5.1.2), utilizando os pontos cotados da linha d'água apresentados nas ortofotocartas planialtimétricas. O sobrevôo para essa restituição foi realizado em outubro de 2001, mês de seca na região, de modo que o perfil, apresentado a seguir, representa essa condição com níveis d'água baixos nesses dois rios. A Figura 5.1.2 mostra também os pontos onde foram levantadas seções transversais para estabelecimento do modelo.

Figura 5.1.2 Perfil de Linha d'Água do Igarapé Jatuarana



Esse perfil, utilizado para segmentação do estirão fluvial, permite verificar que anualmente, durante as cheias, o rio Madeira alcança a cota 61,30 m, em média, provocando remanso no Jatuarana ao longo de cerca de 5 km, forçando seu extravasamento com conseqüente inundação de áreas florestadas.

O estirão fluvial simulado, de cerca de 17 km do Igarapé Jatuarana, foi segmentado em 6 trechos, escolhidos por apresentarem características hidráulicas aproximadamente homogêneas.

A caracterização hidráulica de cada trecho foi feita com base em 9 seções transversais levantadas com o auxílio da restituição aerofotogramétrica disponível (escala 1:10.000) e em estudos de hidráulica fluvial e remanso do reservatório no Igarapé Jatuarana realizados para esse fim. A localização das seções assim levantadas está indicada na Figura 5.1.2.

Entre as diversas seções levantadas, foram escolhidas algumas como mais representativas, conforme apresentado no Quadro 4.1.1, a seguir.

QUADRO 4.1.1
Limites dos Trechos do Modelo QUAL2E e Seções Representativas

Trecho	Seção Representativa	Pk inicial (km)	Pk final (km)
1	1	21,6	20,4
2	3	20,4	16,4
3	4	16,4	14,0
4	5	14,0	9,6
5	7	9,6	6,8
6	8	6,8	4,0

5.2 Regime Hidráulico Atual

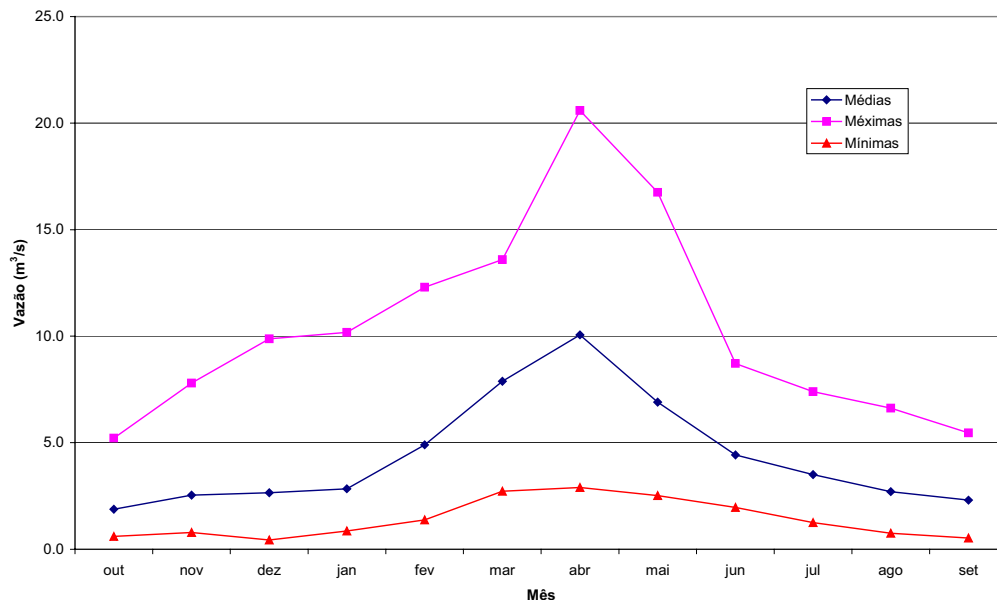
O regime hidrológico atual do Igarapé Jatuarana, que foi descrito sumariamente nos itens 2.2 e 2.3, é caracterizado por um período de águas baixas, de agosto a novembro, e um período de águas altas, de fevereiro a maio. As vazões mínimas do ano ocorrem com maior frequência em setembro e outubro, enquanto que as máximas verificam-se nos meses de março e abril.

Para caracterizar o regime hidrológico do Igarapé Jatuarana, foi utilizada uma série de vazões médias mensais gerada a partir das séries dos postos fluviométricos de Porto Velho e Abunã, ajustada por proporção entre as respectivas áreas de drenagem. A Figura 5.2.1, a seguir, ilustra o comportamento das vazões médias mensais durante o ano hidrológico (outubro a setembro).

Pode-se observar que as vazões médias mensais obtidas variaram entre 1,9 e 10,1 m³/s. No mês de abril, as médias mensais variaram de 2,9 a 10,1 m³/s. No período de seca, em outubro, a vazão média é inferior a 5,2 m³/s, podendo chegar a 0,6 m³/s.

A vazão média de longo termo da série do Igarapé Jatuarana é cerca de 4,4 m³/s, sendo a média dos meses mais secos (agosto a outubro) igual a 2,2. A média dos meses mais úmidos (fevereiro a abril) é aproximadamente 8,3 m³/s.

Figura 5.2.1 – Comportamento das Vazões Médias Mensais do Igarapé Jatuarana (1977 a 2001)



Para definição das características hidráulicas dos trechos do Igarapé simulados, foram utilizados os dados resultantes de simulações com o modelo HEC-RAS, de hidráulica fluvial, descrito anteriormente no Relatório Final dos Estudos de Viabilidade (PCE/Odebrecht, 2005). As características hidráulicas foram representadas através das equações descritas anteriormente, no item 4.2. Os coeficientes a, b, c e d são apresentados no Quadro 5.2.2, para cada trecho do estirão simulado, considerando o escoamento em condições naturais.

QUADRO 5.2.2
Coefficientes Empregados na Caracterização Hidráulica dos Trechos em Condições Naturais

Trecho	a	b	c	d
1	0,0865	0,3892	0,8662	0,2216
2	0,1134	0,3971	0,1201	0,2768
3	0,0647	0,3991	0,8012	0,2018
4	0,2514	0,3256	0,0697	0,3709
5	0,1043	0,3955	0,9888	0,2091
6	1,0653	0,0133	0,0094	0,9787

5.3 Qualidade da Água Atual

Não se dispunha de dados de monitoramento local para caracterização da qualidade da água do Igarapé Jatuarana em condições atuais. Visando aferir os parâmetros do modelo QUAL2E, foram empregados os dados do monitoramento realizado ao longo do próprio rio Madeira e de alguns afluentes, apresentado no documento “Diagnóstico Ambiental do Sistema Fluvial do Rio Madeira no Trecho de Implantação das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio”, já mencionado anteriormente.

Este monitoramento contemplou apenas um igarapé da margem esquerda do rio Madeira, o Igarapé São Simão (Estação de Coleta SSM-10), afluente do trecho superior do futuro reservatório de Jirau, muito distante do local de interesse. O afluente mais próximo contemplado naquele monitoramento foi o Rio Jaci-Paraná, cujas características são distintas do Igarapé Jatuarana.

Na falta de melhor recurso, os dados desses dois monitoramentos foram considerados no ajuste do modelo para as condições atuais. O Quadro 5.3.1, a seguir, apresenta as concentrações de diversos constituintes medidas no Igarapé São Simão, para os períodos de enchente, cheia, vazante e estiagem. As características do Jaci-Paraná (mais próximo) foram apresentadas e discutidas no item 4.3.

Quadro 5.3.1
 Resultados das Campanhas no Igarapé São Simão

Parâmetro	Unidade	Enchente nov-03	Cheia-1 jan-04	Cheia-2 mar-04	Vazante mai-04	Seca jul-04
Temperatura Média da Água	°C	26,7	24,9	25,0	23,9	23,9
OD Oxigênio Dissolvido	mg/L	6,42	4,31	5,25	6,14	6,35
DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L	1,01	1,77	1,51	2,25	0,67
Fosfato	mg/L	0,000	0,004	0,002	0,002	0,000
Fósforo Orgânico	mg/L	0,000	0,018	0,013	0,005	0,005
Amônia	mg/L	0,02	0,12	0,08	0,01	0,03
Nitrato	mg/L	0,47	0,33	0,30	0,25	0,07
Nitrogênio Orgânico Total (Kjedahl)	mg/L	1,9	2,5	3,3	0,9	2,2
Carbono Orgânico Dissolvido	mg/L	8,8	10,3	8,8	3,6	3,7

Tendo em vista que o objetivo de elaborar uma modelagem específica para o Igarapé Jatuarana foi caracterizar os impactos decorrentes da decomposição da vegetação inundada,

foram selecionados os seguintes parâmetros para análise: OD, DBO, Nitrogênio Orgânico e Fósforo Orgânico.

O Quadro 5.3.2, a seguir, apresenta os parâmetros considerados na modelagem, para as condições naturais do Igarapé Jatuarana, obtidos na calibração realizada para o rio Jaci-Paraná.

Quadro 5.3.2 – Parâmetros Adotados Para as Condições Naturais

Parâmetro	Descrição	Adotado
K₁	Taxa de decomposição da DBO	0,1
K₂	Coeficiente de reaeração	Fórmula
3	Taxa de hidrólise do N orgânico em amônia	0,03
4	Taxa de sedimentação do N orgânico	0,01
1	Taxa de oxidação biológica de amônia para nitrito	0,8
3	Taxa de produção de amônia pelos bentos	0,1
2	Taxa de oxidação biológica de nitrito para nitrato	1,0
4	Taxa de decaimento de P orgânico para P dissolvido	0,15
5	Taxa de sedimentação do P orgânico	0,005
2	Taxa de produção de P dissolvido pelos bentos	0,01
K₃	Taxa de sedimentação de DBO	0
K₄	Demanda de oxigênio dos sedimentos	0,5
5	Consumo de O ₂ por unidade de oxidação de amônia	3,5
6	Consumo de O ₂ por unidade de oxidação de nitrito	1,14

A seguir são apresentados, nas Figuras 5.3.1 a 5.3.4, gráficos ilustrativos do comportamento das principais variáveis de qualidade de água ao longo do estirão do Igarapé Jatuarana nas condições atuais, admitindo os coeficientes acima.

Figura 5.3.1

Cenário Atual
Oxigênio Dissolvido (mg/l)

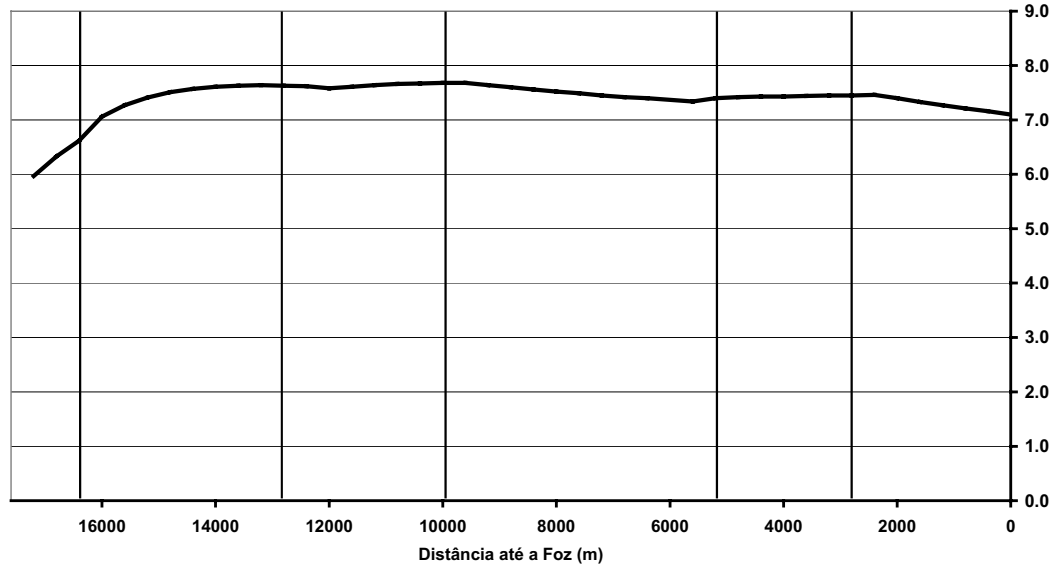


Figura 4.3.2

Cenário Atual
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/l)

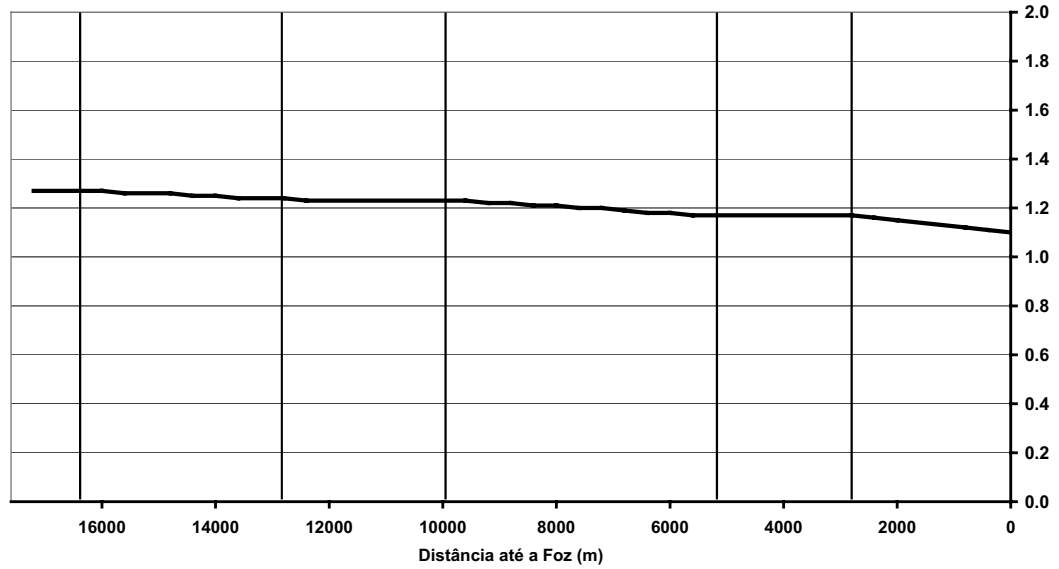


Figura 4.3.3

Cenário Atual
Nitrogênio Orgânico (mg/l)

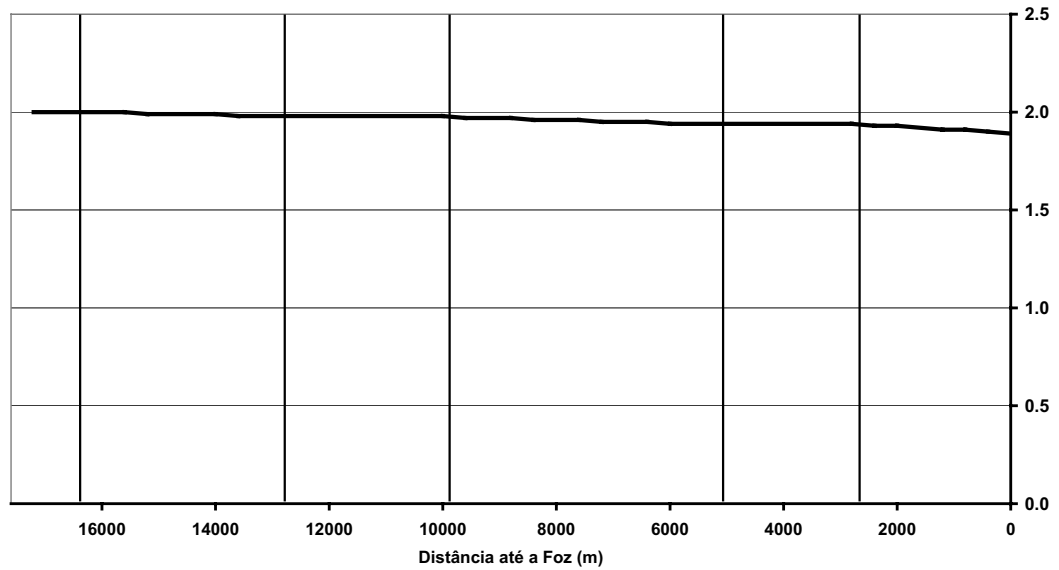
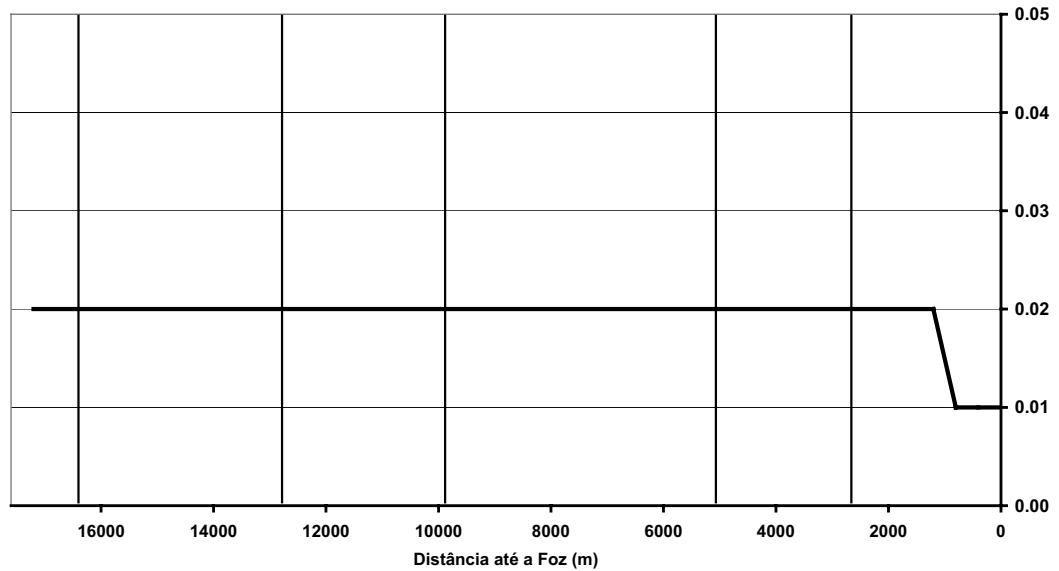


Figura 4.3.4

Cenário Atual
Fósforo Orgânico (mg/l)



5.4 Regime Hidráulico Futuro

Com a formação do reservatório de Santo Antonio o Igarapé Jatuarana, bem como os demais braços laterais, todos de dimensões menores (exceto o rio Jaci), será invadido pelas águas do rio Madeira, que irão penetrar até quase suas nascentes. A inundação da vegetação existente

(ou remanescente) na área desses braços do reservatório é responsável por um dos impactos causados na qualidade da água pela implantação do reservatório.

Para a condição futura, os parâmetros do modelo de caracterização hidráulica foram adaptados, buscando melhor representar as novas condições hidráulicas e de autodepuração reinantes após o enchimento. Foram, então, realizadas novas simulações utilizando o modelo HEC-RAS, para níveis d'água associados à ocorrência das vazões médias, quando o nível d'água do reservatório é praticamente constante, em torno da cota 70,00m.

Os novos coeficientes a, b, c e d adotados para o estirão simulado do rio Jaci-paraná estão apresentados no Quadro 5.4.1 a seguir. Foi acrescentado também um novo trecho a jusante, representativo do rio Madeira, para permitir avaliar o efeito da grande interface de troca formada após o enchimento do reservatório, com a inundação do Jatuarana. As características desse trecho foram idênticas às definidas nos estudos apresentados no EIA, na "Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatórios do Complexo Hidrelétrico do Madeira, maio de 2005", Anexo 2, volume 7/8.

QUADRO 5.4.1
Coefficientes Empregados na Caracterização Hidráulica dos Trechos do Igarapé Jatuarana, Após a Implantação do Reservatório de Santo Antonio

Trecho	a	b	c	d
1	0,0865	0,3892	0,8662	0,2216
2	0,2299	0,2024	0,0373	0,6072
3	1,1751	0,0	0,0024	1,0009
4	3,7067	0,0	0,0007	0,9950
5	7,3545	0,0	0,0003	0,9974
6	9,4503	0,0	0,0002	1,0173
7	0,0140	0,6249	0,5837	0,0499

De uma maneira geral, apenas o trecho 1 não foi afetado pelo reservatório. À medida que se caminha para jusante, o coeficiente *b* tende a zero (profundidade constante com a vazão). Os coeficientes *c* também decrescem, indicando queda acentuada da velocidade para jusante devido ao efeito do reservatório.

Outro aspecto relevante está relacionado com os tempos de residência da água no braço do Jatuarana, após o enchimento do reservatório de Santo Antônio. As oscilações de nível do reservatório serão negligenciáveis, já que o aproveitamento irá operar ao fio d'água. Conforme apresentado no item 2.4, o tempo de residência poderá alcançar de 6 a 8 meses na maior parte do ano, caindo para a faixa de 2 a 3 meses apenas nos meses de cheia. Isso indica que as águas do Jatuarana somente serão renovadas com águas de suas próprias nascentes nos meses de cheia de anos úmidos.

5.5 Qualidade da Água Futura

Foram simulados dois cenários de qualidade da água futura do braço do Igarapé Jatuarana:

- Situação crítica durante o enchimento do reservatório, quando o braço é completamente preenchido com águas provenientes do rio Madeira, afogando a vegetação existente; e

- Situação estabilizada, após a primeira renovação completa do volume armazenado com águas do próprio Igarapé, o que deverá ocorrer ao final da primeira cheia de maior magnitude na região.

5.5.1 Cenário 1 – Situação Crítica Durante o Enchimento

Para o primeiro cenário, foram adotadas como condições iniciais os parâmetros de qualidade da água do rio Madeira, utilizando-se como referência o ponto de amostragem MAD-60, a montante da cachoeira de Salto Teotônio. No rio Madeira, as condições utilizadas correspondem ao período de enchente (mês de novembro). O ponto MAD-60 foi escolhido, em detrimento do MAD-80, situado mais próximo do Jatuarana, porque o Salto Teotônio, situado entre ambos e que será afogado durante o enchimento, altera algumas características importantes de qualidade da água, tais como oxigênio dissolvido e Fósforo dissolvido, devido à reaeração localizada. Assim, foram consideradas as condições de montante, mais críticas.

Para o segundo cenário, tomaram-se como referência os parâmetros de qualidade da água do Igarapé São Simão, para simular o efeito da renovação das águas do Igarapé.

Para avaliação da biomassa afogada pelo reservatório e determinação das principais cargas a ela associadas, foi tomado como base o Mapa de Uso da Terra e da Cobertura Vegetal do Reservatório de Santo Antônio. Foram identificadas apenas duas feições de cobertura vegetal na área estudada: floresta ombrófila aberta de terras baixas com palmeiras e pastagens. De acordo com o inventário florestal realizado (os cálculos estão apresentados em detalhe no relatório “Modelagem de Qualidade da Água dos Reservatórios do Rio Madeira”, Anexo 2, volume 7/8 do EIA) as cargas de carbono rapidamente oxidável associadas a estas feições são, respectivamente, 7,49 ton/ha e 0,8 ton/ha.

Admitiu-se uma taxa de solubilização do carbono de 0,08/dia, tendo sido empregado o modelo de cargas descrito no item 3.2 para estimar as cargas diárias transferidas à massa líquida. Para simulação da qualidade da água, considerou-se como carga crítica a máxima média de sete dias consecutivos. Finalmente, o carbono solubilizado foi transformado em carga equivalente de DBP, N e P através de relações estequiométricas.

O Quadro 5.5.1 apresenta a estimativa de carga decorrente da fitomassa afogada pelo reservatório de Santo Antônio dentro do braço do Igarapé Jatuarana.

Quadro 5.5.1
Carga de Carbono Rapidamente Degradável Associada à Vegetação Afogada no Braço do Igarapé Jatuarana

Trechos	Rio Jatuarana		Carga de Carbono Rapidamente Degradável (ton)	Carga Crítica Transferida			
	Área (km ²)			Carbono (ton/dia)	DBO (ton/dia)	N (ton/dia)	P (ton/dia)
	Floresta Pluvial	Pastagem					
1		0.004	0				
2	1.137	0.044	855	45.0	121.4	1.10	0.134
3	1.171		877	46.1	124.5	1.13	0.137
4	1.791	1.784	1484	78.0	210.7	1.92	0.232
5	2.014	0.232	1527	80.3	216.8	1.97	0.239
6	1.960	0.081	1475	77.6	209.4	1.90	0.230

A seguir são apresentados, nas Figuras 5.5.1 a 5.5.4, gráficos ilustrativos do comportamento das principais variáveis de qualidade de água, ao longo do braço do Igarapé Jatuarana afogado pelo reservatório de Santo Antônio, nas condições críticas que podem ocorrer durante o enchimento.

Figura 5.5.1

**Igarapé Jatuarana
Perfil Crítico de Concentração de Oxigênio Dissolvido Durante o Enchimento**

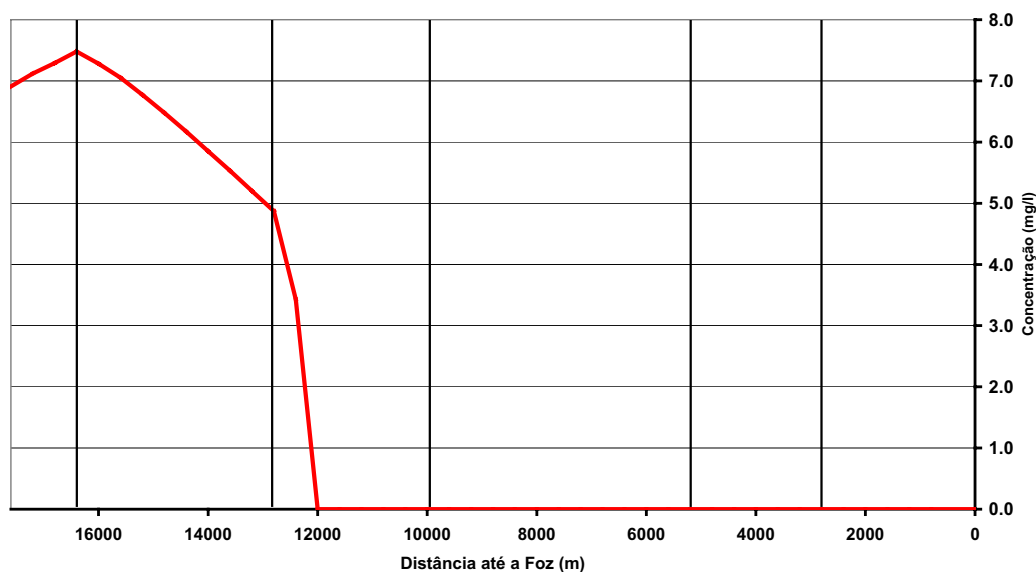


Figura 5.5.2

**Igarapé Jatuarana
Perfil Crítico de Demanda Bioquímica de Oxigênio Durante o Enchimento**

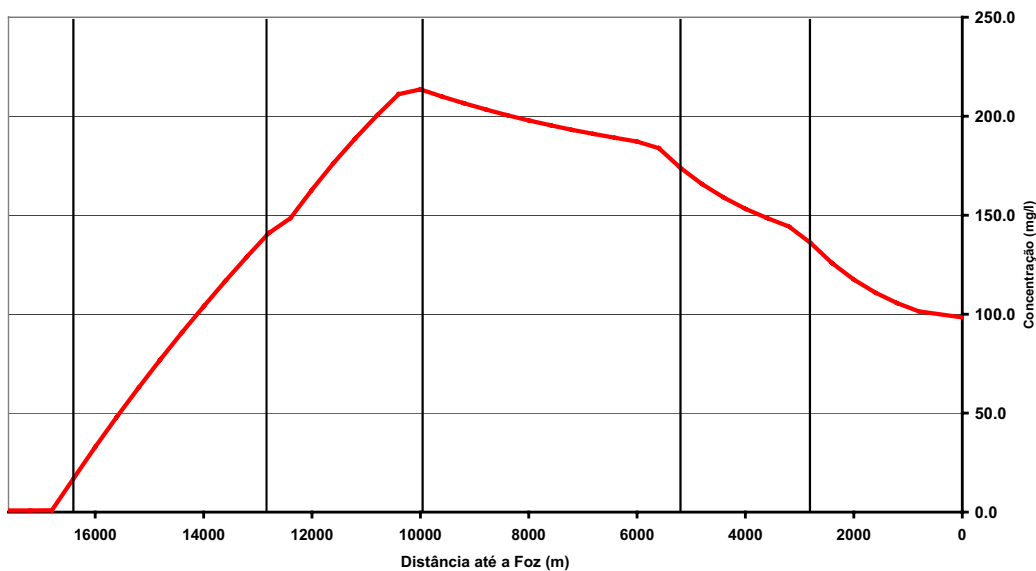


Figura 5.5.3

**Igarapé Jatuarana
Perfil Crítico de Nitrogênio Orgânico Durante o Enchimento**

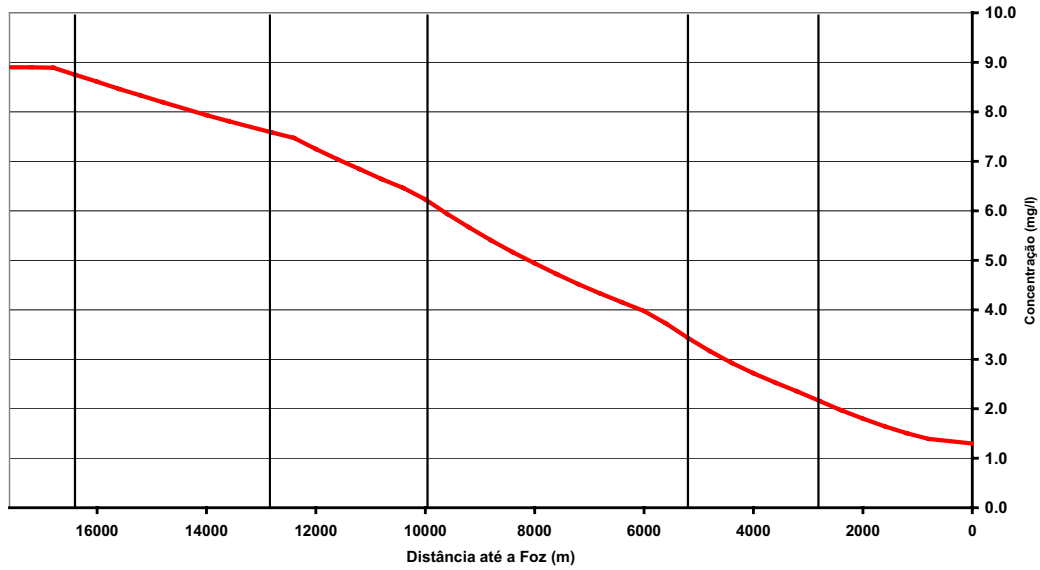
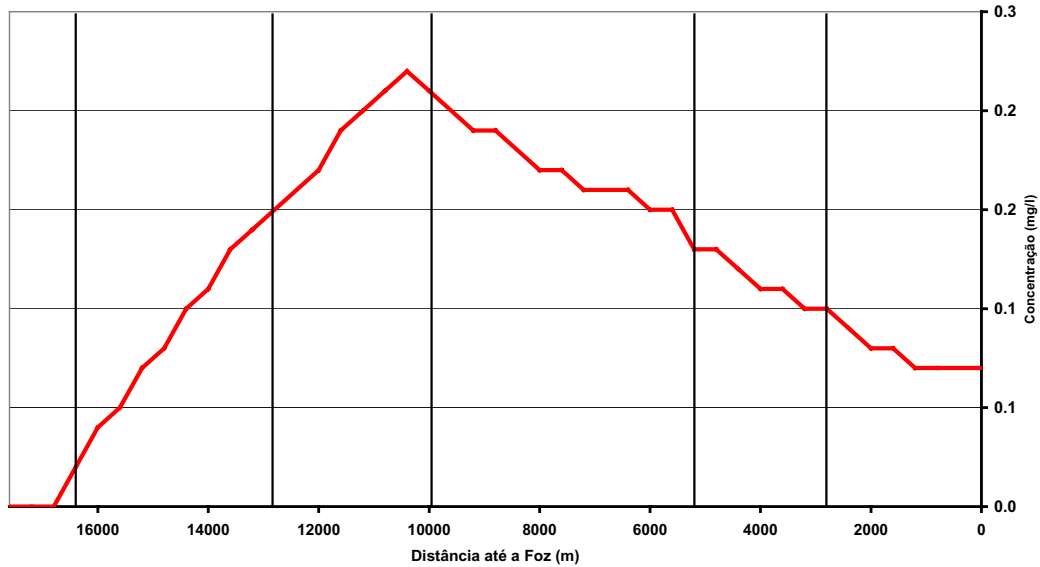


Figura 5.5.4

**Igarapé Jatuarana
Perfil Crítico de Fósforo Orgânico Durante o Enchimento**



A anoxia ao longo de um trecho de 12 km é o resultado mais significativo da simulação realizada.

As Figuras 5.5.5 e 5.5.6, a seguir, ilustram esses resultados críticos com relação a Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido, através de dois mapas (um para cada constituinte).

Figura 5.5.5
Braço do Jatuarana – DBO – Condição Crítica Durante o Enchimento

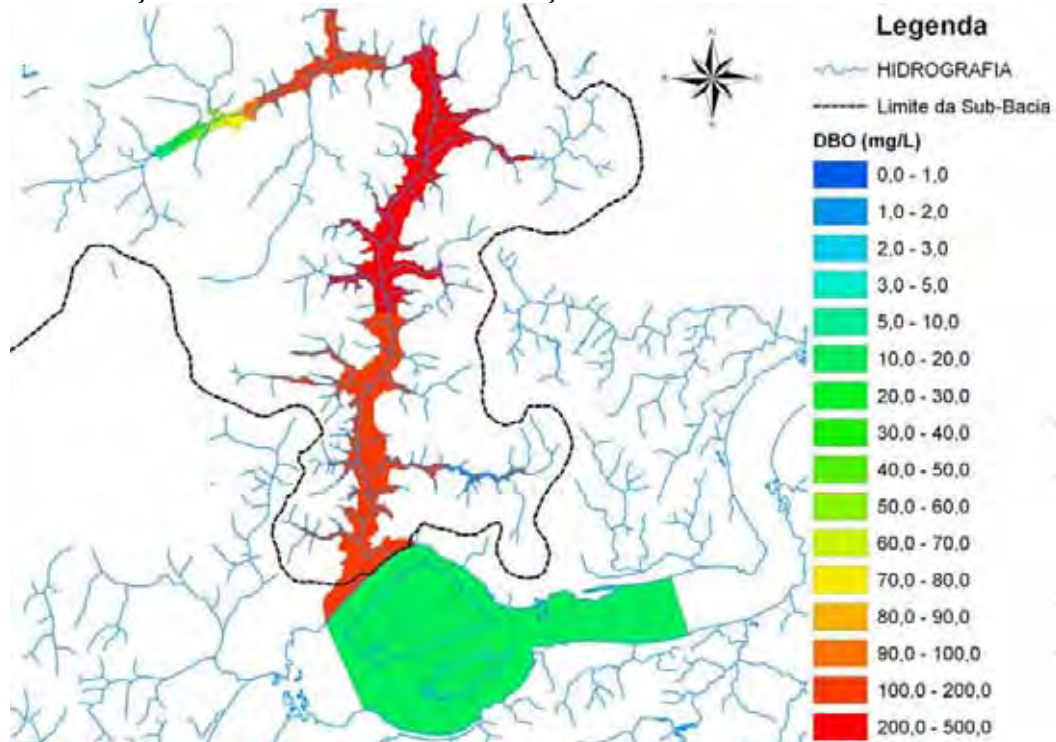
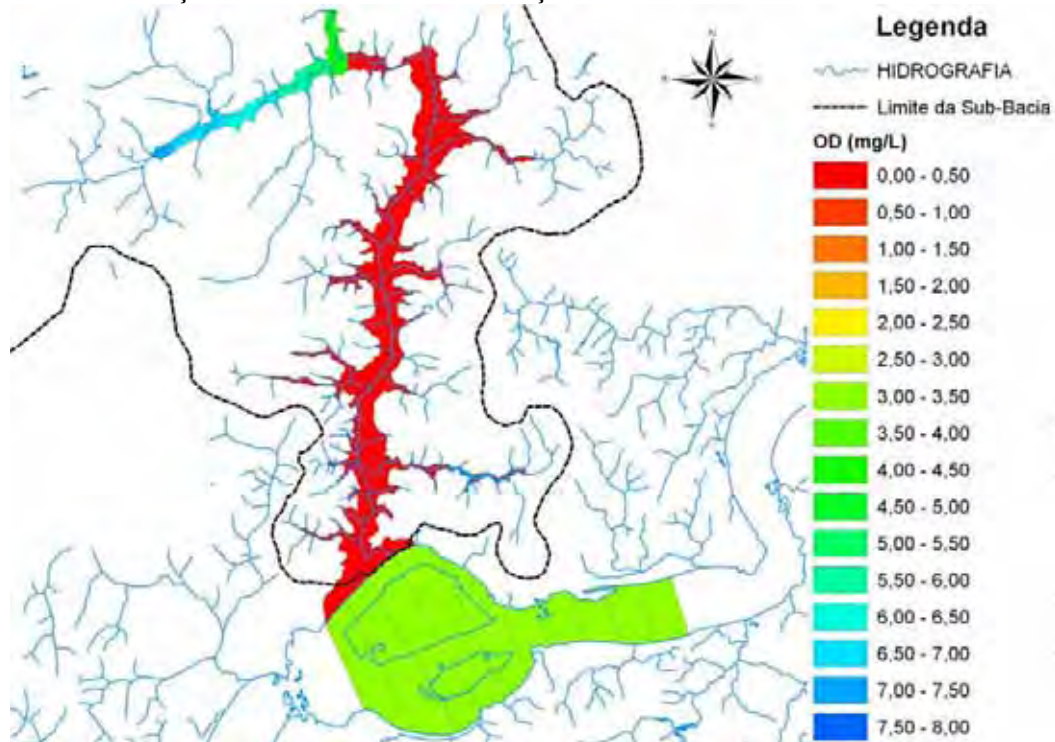


Figura 5.5.6
Braço do Jatuarana – OD – Condição Crítica Durante o Enchimento



5.5.2 Cenário 2 – Situação Estabilizada

Conforme comentado anteriormente, em anos mais úmidos, a água do Braço do Jatuarana poderá ser completamente renovada em dois ou três meses de cheia, criando uma condição mais favorável por duas razões: (1) as águas do Igarapé Jatuarana apresentam melhores condições que as do Madeira, diferença que é mais marcante nas cheias, e (2) toda a fitomassa rapidamente degradável já terá sido decomposta, restando apenas uma carga decorrente da fitomassa de lenta degradação e a carga natural da vegetação ripariana, ou seja, um ambiente de menores cargas orgânicas.

Este cenário foi simulado, então, considerando as condições de contorno correspondentes ao monitoramento realizado no Igarapé São Simão. Para formar uma sensibilidade, e também para considerar uma eventual situação futura de re-enchimento com águas do rio Madeira, foi realizada uma simulação tomando as mesmas condições de contorno do Cenário 1, ditadas pelas características do ponto amostral MAD-60.

Os resultados da simulação desse Cenário 2 são apresentados nas Figuras 5.5.7 e 5.5.8, que mostram os perfis de DBO e de OD ao longo do braço do Jatuarana. O perfil azul corresponde às condições estabilizadas com as águas do braço sendo renovadas pelas águas do próprio Igarapé Jatuarana, enquanto que o perfil vermelho corresponde a uma condição alternativa, admitindo-se um re-enchimento (após um esvaziamento proposital) com águas do rio Madeira.

Figura 5.5.6

Igarapé Jatuarana
Concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio - Reservatório Estabilizado

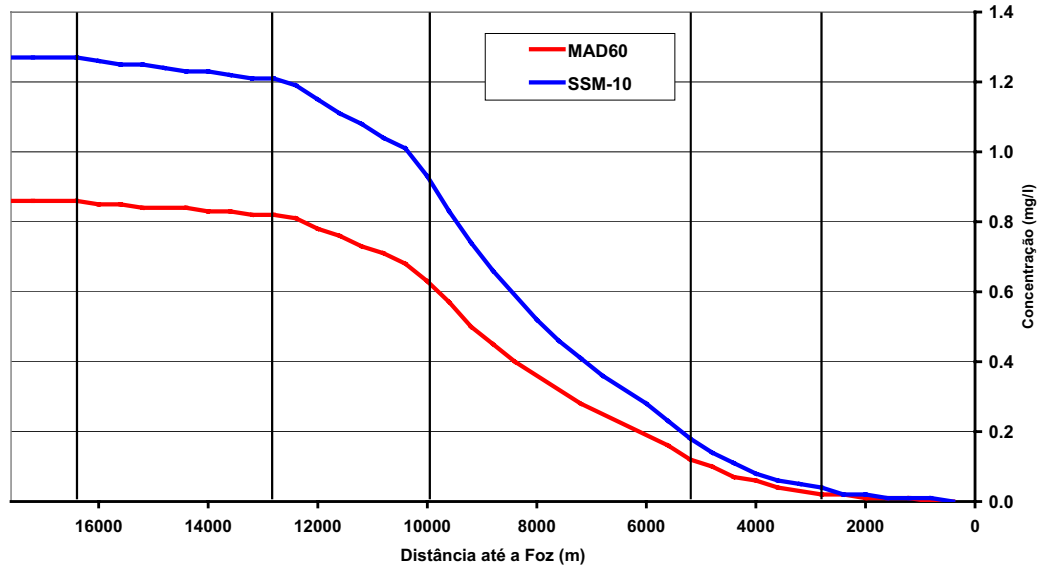
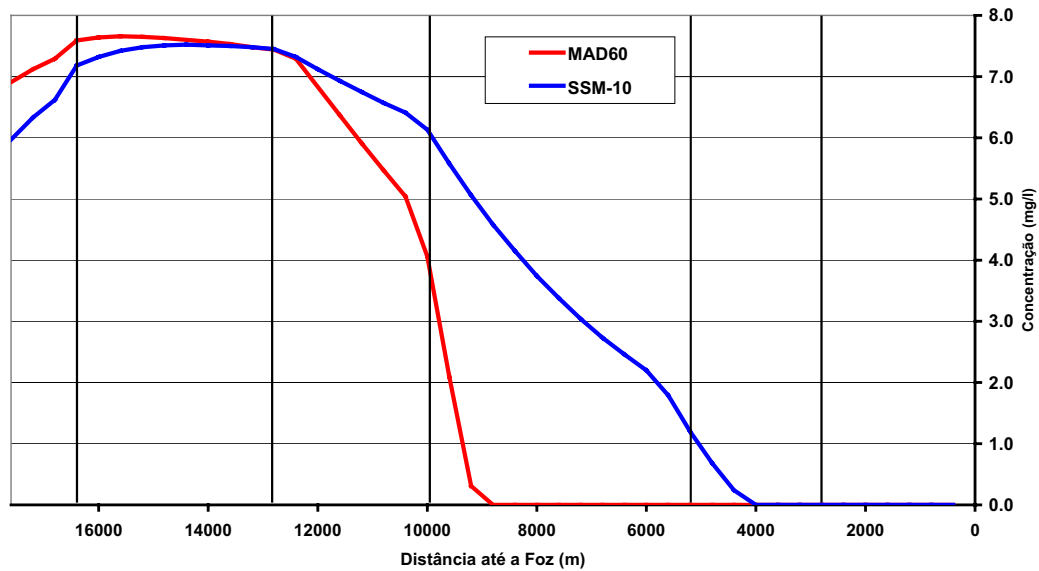


Figura 5.5.7

Igarapé Jatuarana
Concentração de Oxigênio Dissolvido - Reservatório Estabilizado



Estes resultados mostram que, mesmo depois de estabilizado o reservatório há uma expectativa de existência de um trecho anóxico no braço do Jatuarana, no parte de jusante onde as profundidades são maiores e as velocidades extremamente baixas.

Os processos hidráulicos, físico-químicos e biológicos que podem ocorrer neste trecho do braço, entretanto, são mais complexos que os processos considerados na modelagem realizada, de forma que a análise desses resultados deve ser feita com cautela.

Por exemplo, não foi considerada a aeração natural adicional decorrente do grande aumento de superfície de contacto água-ar no trecho mais de jusante do braço. Também não foram consideradas as correntes advectivas que ocorrerão na confluência com o rio Madeira, devido ao gradiente vertical de densidade da massa líquida represada no braço e à aceleração imposta pelas velocidades do próprio rio Madeira. Estes aspectos afetam favoravelmente a qualidade da água no trecho de jusante do braço, justamente o mais crítico.

5.5.3 Análise de Sensibilidade da Condição Crítica

Buscando formar uma sensibilidade quanto ao comportamento do braço do Jatuarana durante o enchimento do reservatório de Santo Antônio, foram feitas algumas simulações adicionais considerando sucessivas reduções nas cargas decorrentes de introdução de cargas de fitomassa. Esta variação tanto pode ser atribuída a uma retirada prévia de fitomassa como a uma estimativa menos crítica das cargas (já que a hipótese considerada no cálculo dessas cargas é declaradamente conservadora).

As Figuras 5.5.8 e 5.5.9 mostram os resultados desse ensaio, para DBO e OD.

Figura 5.5.8

Igarapé Jatuarana
Perfil de Demanda Bioquímica de Oxigênio Durante o Enchimento - Sensibilidade

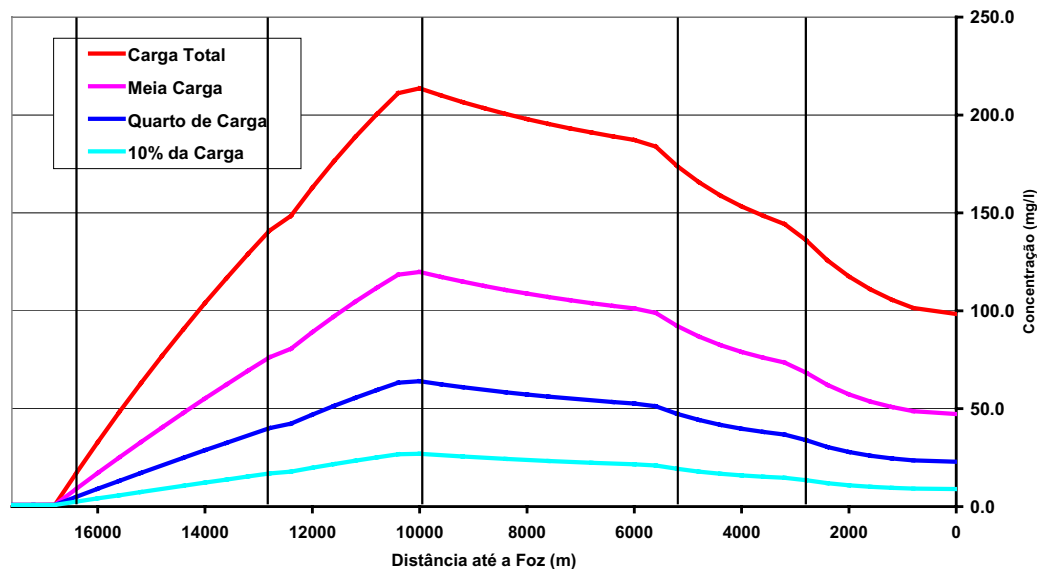
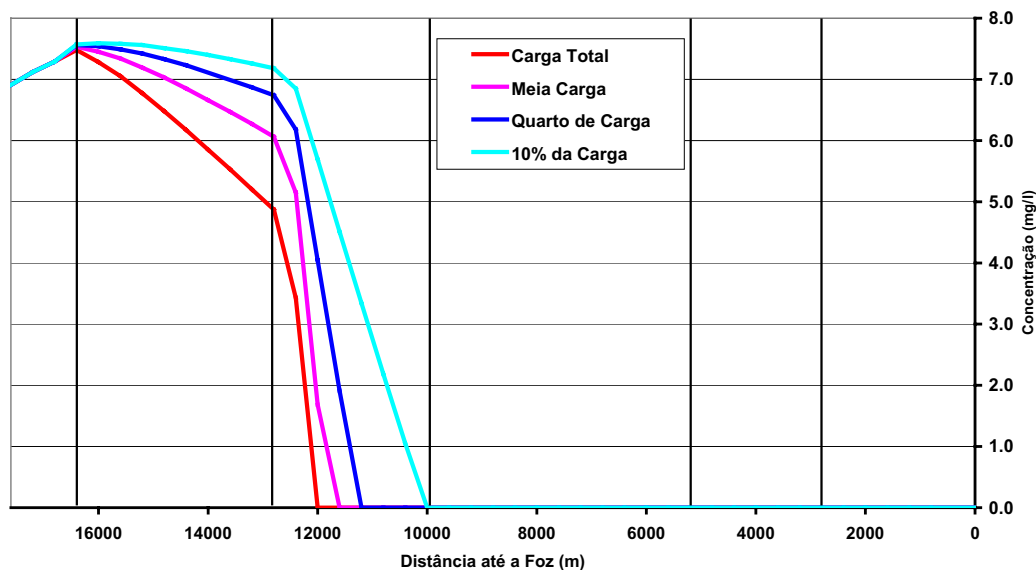


Figura 5.5.9

Igarapé Jatuarana
Perfil de Concentração de Oxigênio Dissolvido Durante o Enchimento - Sensibilidade



Percebe-se, nesses resultados, que mesmo uma redução drástica das cargas não elimina a condição anóxica que havia sido simulada com a carga calculada originalmente. Apenas a extensão do trecho afetado pela anoxia é reduzida.

4.6 Análise dos Resultados

As simulações de qualidade da água do braço do Igarapé Jatuarana foram realizadas com base em parâmetros adaptados daqueles obtidos por calibração nas modelagens do próprio rio Madeira e do Jaci-Paraná, pois não foi realizado monitoramento específico no Igarapé Jatuarana. As condições iniciais foram estabelecidas com base no monitoramento realizado no Igarapé São Simão, localizado na margem esquerda do Madeira na altura do reservatório de Jirau.

Um importante resultado das análises realizadas diz respeito às alterações esperadas no regime hidráulico do Igarapé com a implantação do reservatório de Santo Antônio. O escoamento, hoje afetado sazonalmente pelas enchentes do rio Madeira, em uma extensão de cerca de 5 km, passará a ser represado pelo reservatório na cota 70,0m, numa extensão de cerca de 15 km, até quase suas nascentes. O tempo médio de residência das águas do braço do Jatuarana será da ordem de seis meses, somente sendo possível uma renovação completa nos meses de cheia, em anos especialmente úmidos.

Naturalmente, esta característica é refletida também no comportamento da qualidade da água, pois, nessas condições, as velocidades de escoamento caem drasticamente ao longo de pelo menos 6km, dificultando o processo de aeração, que passa a depender praticamente das trocas superficiais afetadas pelos ventos, na falta de turbulência.

Ao contrário do que ocorre, por exemplo, com o Jaci-paraná e com os braços do reservatório de Santo Antônio situados a montante do Salto Teotônio, a maior parte da vegetação afogada com o enchimento do reservatório fica fora do alcance das cheias naturais do rio Madeira. O afogamento de vegetação que será provocado pelo enchimento do reservatório já ocorre todos os anos durante a enchente, de modo que será apenas intensificado (os níveis d'água após a implantação do reservatório serão um pouco mais altos) e ocorrerá durante todo o ano e não apenas no período de cheia.

Buscando um prognóstico das futuras condições de qualidade da água do braço do Jatuarana, foram simulados dois cenários: o primeiro deles, considerado crítico, para as condições durante o enchimento do reservatório e o segundo, estabilizado, para condições futuras, quando a carga de fitomassa afogada inicialmente estivesse consumida.

O primeiro cenário indicou uma condição de anoxia ao longo de 12 km, no trecho inferior do braço. A análise de estabilidade realizada mostrou que uma redução da carga não iria alterar este quadro, causado pelas condições desfavoráveis de circulação, afetando apenas o comprimento do trecho anóxico. Ao fim, para as condições estabilizadas, restaria ainda um trecho de 4 km em condições anóxicas.

Como não há uma forma de eliminar esta condição, já que ela ocorre mesmo sem a carga adicional da vegetação, resta a alternativa de mitigar seus efeitos indesejáveis, através de monitoramento da qualidade da água, realizando uma renovação forçada do volume armazenado no braço através de gestão adequada do reservatório.

À guisa de exemplo, um deplecionamento de apenas 3m no reservatório drena quase a metade de todo o volume armazenado no braço do Jatuarana, constituindo, portanto, uma forma de acelerar a renovação de suas águas no caso de ocorrência de algum efeito indesejado, como supercrescimento de macrófitas ou excessiva floração de algas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Resumo dos Principais Resultados Obtidos

A adequação da modelagem apresentada no EIA, solicitada pelo IBAMA através do através do ofício no. 135/2006 – DILIQ/IBAMA, de 24 de fevereiro de 2006, foi realizada através da identificação e caracterização de corpos laterais aos reservatórios de Jirau e Santo Antônio, escolhendo-se para aprofundamento dos estudos, através de modelagem matemática, aqueles considerados mais representativos, cujo comportamento poderia ser estendido aos demais corpos laterais a serem afetados pela implantação dos reservatórios.

Foram destacados sete corpos hídricos mais representativos nas faixas marginais dos dois reservatórios do Complexo do Madeira: dois bolsões laterais e o rio Mutum-Paraná, juntamente com seu bolsão lateral, no reservatório de Jirau, e dois braços laterais no reservatório de Santo Antônio, além do rio Jaci-Paraná, também afluente desse reservatório.

Os dois corpos laterais do reservatório de Jirau, associados aos igarapés Caiçara e Jirau, situam-se nas proximidades da barragem e apresentam características de áreas laterais ao reservatórios ou de reentrâncias nas margens. Além disso, encontram-se sob a influência direta do reservatório, ou seja, seu nível d'água depende quase que exclusivamente dos níveis

operacionais do reservatório. Ressalta-se que o rio Madeira já provoca, hoje, significativas oscilações sazonais de nível d'água nesses dois bolsões.

Já o rio Mutum-Paraná e seu bolsão lateral situam-se aproximadamente na metade do reservatório de Jirau, sendo afetados pelos níveis operativos e pelas condições hidrológicas do rio Madeira. O Bolsão lateral do Mutum, é formado anualmente pelas cheias normais do rio Madeira, devendo este efeito apenas ser intensificado pela presença do reservatório de Jirau.

Os dois braços laterais do reservatório de Santo Antônio situam-se nas proximidades da barragem, a jusante do Salto Teotônio, apresentando maiores profundidades e geometria alongada. Além disso, sofrem hoje pequena influência do rio Madeira, por ocasião das cheias, e passarão a ser completamente represados pelo reservatório a ser implantado na cota 70,00m. Ao contrário do que irá acontecer com os corpos laterais do reservatório de Jirau, esses dois braços laterais do Santo Antônio passarão por profunda modificação em seu comportamento hidrodinâmico, o que irá se refletir em suas condições de qualidade da água.

Finalmente, o rio Jací-Paraná situa-se no terço superior do reservatório de Santo Antônio, local onde o escoamento natural do rio Madeira já provoca elevações significativas em seus afluentes. A implantação do reservatório de Santo Antônio irá implicar apenas numa pequena intensificação desses efeitos, mas em proporções bem inferiores ao que irá ocorrer, por exemplo, com os corpos laterais do reservatório de Jirau.

Na presente Nota Técnica foram analisados em maior detalhe os dois corpos hídricos julgados mais característicos: os chamados bolsões do Mutum-Paraná, afluente do reservatório de Jirau, e o rio Jací-Paraná, afluente do reservatório de Santo Antonio.

Resume-se, em seguida, os principais resultados obtidos nos estudos realizados e suas conseqüências para as condições de qualidade da água do rio Madeira, cujo prognóstico havia sido apresentado nos estudos de modelagem da qualidade da água dos reservatórios desenvolvidos anteriormente (PCE e Odebrecht (2005). Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatórios do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira, maio de 2005. Anexo 2, volume 7/8 do EIA).

Rio Mutum-Paraná e Seu Bolsão Lateral

Podem ser destacadas as seguintes conclusões quanto ao rio Mutum-Paraná e seu Bolsão Lateral:

- Em condições naturais, o rio Mutum-Paraná é inundado anualmente, em média até a cota 88,41 m, o que equivale a uma área inundada de 20,5 km² e a um volume acumulado de 40,6 hm³.
- Este alagamento é feito com águas provenientes do próprio Mutum-Paraná e de seu afluente, o rio Cotia. Apenas excepcionalmente águas do rio Madeira invadem o bolsão, o que somente ocorre em períodos de cheia intensa (duas ocorrências no período histórico).
- Em condições naturais, o Bolsão Lateral do Mutum (que é uma área baixa de campinarana, marginal ao rio Mutum-Paraná) só é inundado quando ocorrem vazões no rio madeira superiores a 23.000 m³/s, normalmente no período de janeiro a maio.

- Após a implantação do reservatório, o Bolsão do Mutum passará a ser inundado no período de novembro a julho. As inundações posteriores à implantação do reservatório serão, portanto, mais prolongadas e profundas, além de afetar maiores áreas.
- Em cheias excepcionais, o rio Madeira pode ultrapassar uma sela existente em sua margem direita, e se comunicar diretamente com o Bolsão do Mutum por montante, formando uma ilha temporária. De acordo com os estudos de remanso, isso pode ocorrer, em condições naturais, para vazões superiores a 40.000 m³/s. Após a implantação do reservatório, este galgamento será mais freqüente, ocorrendo para vazões superiores a 30.000 m³/s.
- As velocidades médias nos diversos segmentos do bolsão do Mutum-Paraná, para condições críticas de enchimento do reservatório (mês de janeiro, vazões com 90% de garantia) são baixas. A circulação das águas se dá principalmente ao longo do curso normal dos rios Mutum-Paraná e Cotia, ficando as reentrâncias laterais com velocidades praticamente nulas, fato que propicia condições anóxicas, mesmo depois de uma estabilização do sistema.
- O curso principal rios Mutum Paraná e Cotia apresentam tempos de residência pequenos, da ordem de 10 dias no máximo, não apresentando tendência à estratificação ou à criação de zonas anóxicas, a não ser durante o enchimento do reservatório, por curto período.
- Já o Bolsão Lateral do Mutum tem sua circulação totalmente associada à variação de níveis do rio Madeira. Após a implantação do reservatório, estas variações ficarão reduzidas no período de janeiro a abril, quando o reservatório opera em seu nível máximo, criando condições desfavoráveis para a qualidade da água. Esta situação é interrompida anualmente ao final do período de cheias, quando o bolsão é totalmente esvaziado devido ao deplecionamento do reservatório.
- Mesmo durante sua existência, no período de cheias (janeiro a abril), o Bolsão do Mutum apresenta tempos de residência elevadíssimos e qualidade da água deteriorada devido à grande quantidade de vegetação submersa e à pequena magnitude das vazões afluentes. Não há prognóstico de estratificação apenas devido à pequena profundidade reinante, com valores máximos de 5,0 m junto ao Mutum-Paraná.

Rio Jaci-Paraná

Com relação ao regime hidrodinâmico do rio Jaci-Paraná, afetado pela implantação do reservatório de Santo Antônio, podem ser destacadas as seguintes observações:

- Entre os períodos de seca e cheia, o nível do rio Madeira varia muito, no local da confluência com o rio Jaci-Paraná, podendo subir cerca de 9m entre a estiagem e a cheia. Durante as cheias, os níveis altos do rio Madeira provocam remanso no rio Jaci-paraná, fazendo com que suas águas extravasem da calha principal e inundem a vegetação existente, principalmente no trecho mais a jusante, próximo à foz.
- Os níveis d'água associados à ocorrência da vazão média do rio Madeira em condições naturais, no local da confluência do Jaci-Paraná, são próximos aos níveis que ocorrerão após a implantação do reservatório de Santo Antonio. Assim, as condições de remanso do rio Madeira sobre o Jaci-Paraná deverão se modificar, com o reservatório, mais em freqüência e amplitude do que em intensidade.
- A implantação do reservatório de Santo Antonio irá provocar pequena redução nas velocidades de escoamento. De modo geral, essas reduções são pequenas, sendo que as maiores alterações das velocidades ocorrem nos trechos intermediários, próximo à Vila de Jaci. No estirão mais a jusante, junto à foz, a alteração é muito pequena.

- Em condições naturais, para a vazão média de longo termo (215 m³/s) e N.A. na foz de 69,90m, o volume total do braço do Jaci-Paraná estudado é cerca de 35 hm³. Nessas condições, o tempo de residência da água no braço é de aproximadamente 1,9 dias.
- Com a implantação do reservatório, os níveis d'água ficam mais altos, alterando os tempos de residência, de modo que para a mesma vazão média e N.A. de 71,65m na foz, o volume de água no braço aumenta para 98 hm³ e o tempo de residência passa para 5,3 dias.
- Como o nível d'água do rio Madeira na foz do Jaci-Paraná continua passando por variações sazonais, mesmo após a implantação do reservatório, O volume do braço remansado também se altera, de forma que os tempos de residência nas condições futuras apresentam variações entre 5,1 e 5,7 dias, dependendo das condições hidrológicas.

Com relação à qualidade da água do rio Jaci-Paraná, podem ser destacadas as seguintes observações:

- Como consequência de seu regime hidrodinâmico ser pouco afetado, a qualidade da água não deverá experimentar condições demasiadamente severas após a implantação do reservatório. Concorre para isso a grande vazão natural do rio Jaci-paraná, que prepondera sobre os efeitos do rio Madeira e também, futuramente, sobre os efeitos do reservatório de Santo Antônio.
- Mesmo para o pior cenário simulado, a qualidade da água do rio Jaci-paraná se manteve dentro dos parâmetros aceitáveis para rios de Classe 2, com exceção apenas do número de coliformes fecais, que ultrapassa os limites permitidos caso não seja realizado o tratamento do esgoto doméstico da Vila de Jaci, admitindo-se uma população remanescente, ao final das obras, da ordem de 15.000 pessoas (superior, portanto, à população prognosticada).
- Como este quadro foi estabelecido para um mês de seca, em períodos normais não há expectativa de problemas de qualidade da água no rio Jaci-paraná, associados à ocupação urbana de suas margens.
- A vegetação situada abaixo da cota 70,00m, que fica hoje exposta durante os meses de julho a dezembro, passará a ficar permanentemente afogada. No primeiro mês de julho após o enchimento, quando esta condição alterada puder se manifestar diante das baixas vazões do rio Jaci, a fitomassa disponível para rápida decomposição que ocupa esta faixa de terra já estará estabilizada.

Braço do Igarapé Jatuarana

O braço do Igarapé Jatuarana, que será formado a partir da completa inundação do igarapé até quase suas nascentes, representa a mais profunda modificação que a implantação do reservatório de Santo Antônio irá provocar. Dos estudos realizados para este braço, podem ser destacadas as seguintes observações:

- O braço de reservatório formado ao longo do Igarapé Jatuarana será longo, cerca de 15 km, e apresentará profundidades superiores a 10,0m ao longo de cerca de 5 km, com velocidades de escoamento muito baixas nesse trecho inferior.
- O tempo de residência médio será da ordem de 6 meses, contrastando com um regime francamente fluvial hoje existente. Como consequência, irá apresentar condições propícias à estratificação.

- Durante o enchimento do braço, a carga resultante da fitomassa afogada irá provocar condições de anoxia num trecho que pode alcançar 12 km a partir da foz. Esta situação pode ser agravada com a estratificação, que é esperada nessas condições.
- Mesmo diante de uma redução de 90% da carga atuante, a condição de anoxia se manteve, indicando não ser de grande eficácia a remoção da vegetação, já que a situação do enchimento é transitória.
- Nas condições estabilizadas foi verificada a tendência de condições anóxicas no trecho inferior do braço, com extensão de cerca de 5 km. Esta situação, aliada a ocorrência de estratificação, poderá favorecer uma infestação de macrófitas e a floração de algas.
- Para mitigar este efeito, será necessária uma gestão adequada da área em torno desse braço, com controle eficaz do uso, de modo a minimizar o aporte de nutrientes ao reservatório. Esta medida, aliás deve ser estendida a todos os braços laterais que apresentarem condições semelhantes ao Jatuarana (por exemplo o Mucuí e todos os braços da metade inferior do reservatório de Santo Antônio).
- As águas do braço do Jatuarana podem ser renovadas em regime forçado, através de deplecionamentos programados no reservatório, caso seja verificada alguma situação mais crítica na qualidade da água, através de monitoramento específico.

Extensão dos Estudos Realizados a Outros Corpos Laterais

Os corpos hídricos estudados no presente documento são representativos da totalidade dos corpos laterais que irão se formar pela implantação dos reservatórios de Jirau e Santo Antônio, no rio Madeira.

Duas condições básicas foram verificadas: (1) os corpos laterais que receberão influências sazonais, mesmo após a implantação dos reservatórios, apresentando uma dinâmica de escoamento similar à natural, embora modificada, e (2) os corpos d'água que estarão sujeitos a profundas modificações de escoamento e, em consequência, de qualidade da água.

No primeiro caso se enquadram todos os corpos laterais do reservatório de Jirau e aqueles situados na metade superior do reservatório de Santo Antônio, situação que ocorre com cinco dos sete corpos laterais tratados no presente documento. No segundo caso se enquadram os corpos laterais situados na metade inferior do reservatório de Santo Antônio, particularmente aqueles que afluem a jusante do Salto Teotônio.

As condições futuras dos corpos hídricos pertencentes ao primeiro grupo não deverão se afastar muito daquelas condições que se verificam atualmente. Espera-se que este afastamento se dê apenas no período de enchimento do reservatório e ao longo do primeiro ano hidrológico. Em seguida, as condições de qualidade da água desses corpos deverão se aproximar daquelas que são observadas hoje, com grande quantidade de fitomassa em decomposição sendo assimilada durante a enchente do rio Madeira (ou elevação do nível do futuro reservatório) e, em consequência, elevadas concentrações de matéria orgânica no corpo d'água.

O Bolsão do Mutum, estudado em maior detalhe no presente documento, é um caso extremo e único, porque associa o comportamento acima descrito com uma área alagável extensa. Por outro lado, trata-se de uma área que seca completamente após o período de cheias, mesmo depois da implantação do reservatório.

Para os corpos hídricos do primeiro grupo, o efeito da implantação dos reservatórios, portanto, deverá ser restrito aos primeiros anos, esperando-se um novo equilíbrio ocorrendo em uma faixa de níveis d'água superior e mais estreita que a atual.

As condições futuras dos corpos hídricos pertencentes ao segundo grupo serão profundamente alteradas com a criação de um novo ambiente definitivamente lântico, em lugar do ambiente atual, lótico.

Todos esses corpos deverão ser acompanhados cuidadosamente, através de monitoramento de qualidade da água e de controle efetivo do uso do solo em suas bacias de drenagem, além de preservação da vegetação nas suas margens. O controle do aporte de nutrientes nesses corpos laterais lânticos será fundamental para a manutenção de condições aceitáveis de qualidade das suas águas.

Efeito do Comportamento dos Corpos Laterais Sobre a Qualidade da Água do Rio Madeira

Os estudos de modelagem de qualidade da água do rio Madeira, antes e depois da implantação dos reservatórios do Complexo Hidrelétrico do Madeira, foram realizados anteriormente e apresentados no relatório “Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatórios do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira” (maio de 2005, Anexo 2, volume 7/8 do EIA). Naquele trabalho foi feita a hipótese simplificadora de que toda a carga decorrente do afogamento da vegetação na área dos reservatórios seria disponibilizada imediatamente, a uma taxa de transferência de 8% ao dia.

Esta hipótese, que é a comumente adotada em estudos dessa natureza, pode ser considerada conservadora porque:

- A vegetação não é afogada instantaneamente pelo reservatório, mas aos poucos, à medida que o nível d'água vai subindo;
- Durante este processo, a transferência da carga decorrente da fitomassa afogada vai sendo processada, de forma a carga de uma determinada área nunca se sobrepõe completamente à carga de outra área mais alta; e, finalmente,
- A carga decorrente do afogamento da vegetação dos bolsões laterais é processada, inicialmente, dentro desses bolsões, sendo transferida ao corpo principal do reservatório através das vazões defluentes dos bolsões, carregadas com as concentrações resultantes do processo em andamento.

Em alguns casos, como nos bolsões a jusante de Salto Teotônio, durante todo o período de enchimento do lago as vazões defluentes dos bolsões são negativas (as águas do rio Madeira estão invadindo os braços laterais). Quando o reservatório fica cheio, o processo se inverte e tem início a introdução no reservatório das cargas “armazenadas” nos bolsões laterais, cujo processo de decomposição já está em curso. Mais ainda: esta carga será transferida através de baixíssimas vazões (lembrar como são elevados os tempos de retenção das águas desses braços), levando muito tempo para serem totalmente incorporadas ao reservatório (e não cerca de 30 dias, que é o resultado prático da aplicação da taxa de transferência de 8% ao dia).

Ou seja, na prática, a carga resultante do afogamento da vegetação dos bolsões não irá participar do mesmo processo que a carga decorrente do afogamento da vegetação das margens do rio Madeira ou de corpos menos afastados das mesmas.

Os corpos laterais funcionam, portanto, como “dosadores”, que assimilam as cargas de sua área inundada e a transferem ao corpo do reservatório lentamente, na medida de sua vazão natural afluyente, e somente depois de terem sido parcialmente processadas. O principal efeito dessas cargas, portanto, ocorre dentro do próprio corpo lateral.

Assim, as condições de qualidade da água do rio Madeira, durante o enchimento dos reservatórios do Complexo Hidrelétricos, deverão ser melhores que as prognosticadas no estudo anterior mencionado. Como naquele trabalho não foi prognosticado nenhum efeito comprometedor da qualidade da água no corpo principal do rio Madeira, os resultados obtidos no presente estudo confirmam o prognóstico anterior, com maior ênfase.”