

ÍNDICE

Item	Assunto	Págin
1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	1.1
1.1 1.2 1.3.	Introdução Justificativa do Trabalho e Abordagem Geral Organização do Relatório	1.2 1.3 1.5
2.	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO MADEIRA E DO ESTIRÃO EM ESTUDO	2.1
2.1. 2.2. 2.3.	DESCRIÇÃO GERAL DA BACIA REGIME FLUVIAL DO RIO MADEIRA COMPORTAMENTO SEDIMENTOLÓGICO DO RIO MADEIRA	2.2 2.4 2.8
	Aspectos Gerais Aspectos Geomorfológicos	2.8 2.10
2.4.	VIAGEM DE INSPEÇÃO – DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA	2.13
3.	ESTUDOS ANTERIORES E DADOS PRODUZIDOS	3.1
3.1. 3.2. 3.3. 3.4.	DEFINIÇÃO DA SÉRIE DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS DO RIO MADEIRA MEDIÇÕES DE DESCARGA SÓLIDA E ELABORAÇÃO DE CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTO ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTO NA BACIA CARACTERIZAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO SEDIMENTO DO RIO MADEIRA	3.2 3.4 3.8 3.10
4.	CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO ESTIRÃO FLUVIAL DE INTERESSE	4.1
4.1. 4.2. 4.3. 4.3.1 4.3.2		4.2 4.3 4.5 4.6 4.6
	SIMULAÇÃO DOS PERFIS DE LINHA D'ÁGUA NOS DOIS TRECHOS SIMULADOS Perfis do Trecho Correspondente ao Reservatório de Santo Antônio Perfis do Trecho Correspondente ao Reservatório de Jirau	4.7 4.8 4.13
4.5.	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO COM E SEM RESERVATÓRIO	4.18
5.	AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO DOS RESERVATÓRIOS	5.1
5.1.2.	INTRODUÇÃO Dados Básicos Metodologia Aplicação do Modelo	5.2 5.2 5.5 5.6



5.2.2.	ESTUDO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DE SANTO ANTÔNIO Cálculo do Volume Assoreado Cálculo do Volume Assoreado no Pé da Barragem Análise dos Resultados	5.9 5.9 5.10 5.13
5.3.2.	ESTUDO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DE JIRAU Cálculo do Volume Assoreado Cálculo do Volume Assoreado no Pé da Barragem Análise dos Resultados	5.15 5.15 5.19 5.25
6.	MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DO RIO MADEIRA	6.1
6.1.2. 6.1.3.	DESCRIÇÃO DO MODELO HEC-6 Introdução Bases Teóricas Para os Cálculos Hidráulicos Bases Teóricas Para os Cálculos Sedimentométricos Resultados Fornecidos Pelo Modelo HEC-6	6.2 6.2 6.3 6.5 6.9
6.2.1. 6.2.2. 6.2.3. 6.2.4.	DADOS DISPONÍVEIS PARA SIMULAÇÃO Seções Transversais Parâmetros Hidráulicos Condições de Contorno Dados de Transporte de Sedimento – Curva-Chave de Sedimentos Caracterização do Material do Leito	6.9 6.12 6.12 6.13 6.15
6.3. 6.4. 6.5. 6.5.1 6.5.2.	PROCEDIMENTOS PARA AJUSTE DO MODELO DESCRIÇÃO DOS CASOS SIMULADOS RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES Simulações Considerando um Condição Estabilizada de Produção de Sedimento no Rio Madeira Simulações Considerando um Crescimento de 2% ao Ano na Produção de Sedimento no Rio Madeira	6.17 6.20 6.21 6.23
6.6.2. 6.6.3.	Análise dos Resultados Tendência Natural do Rio Madeira no Trecho em Estudo Balanço Sedimentológico Evolução do Sedimento Junto às Barragens Granulometria do Material Depositado	6.47 6.49 6.51 6.52
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	7.1
8.	BIBLIOGRAFIA	8.1

ii



1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO



1.1 INTRODUÇÃO

A presente Nota Técnica tem por objetivo consolidar os estudos sedimentológicos realizados para caracterização dos impactos decorrentes da implantação dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio sobre o regime fluvial e sedimentológico do rio Madeira.

Os estudos realizados cobriram todo o estirão do rio Madeira desde sua confluência com o rio Beni, a montante dos futuros reservatórios, até a confluência com o rio Jamarí, cerca de 50 Km a jusante da barragem de Santo Antônio. Inserem-se em uma programação de trabalho mais abrangente, formulada com o objetivo de responder a três questões propostas no âmbito dos Estudos de Meio Ambiente, a saber:

- Espacialização dos sedimentos no reservatório Elaboração de uma carta temática que localize no reservatório os pontos mais importantes de acúmulo de sedimentos, indicando também os quantitativos destas deposições.
- 2. Tipos de sedimentos predominam nos pontos notáveis de deposição Complementando o item anterior, indicar a faixa granulométrica predominante em cada depósito.
- 3. Depósitos identificados: sazonais e permanentes Considerando os dois itens anteriores, estimar quais deposições são permanentes, não sendo removidas para jusante em virtude do ciclo hidrológico e de operação.

O confronto dessas questões com a base de dados disponível indicou ser necessário abordar o problema por etapas, tendo sido estabelecida uma programação geral, distribuindo o trabalho em três etapas sucessivas, conforme descrito a seguir:

Primeira etapa – realizada com base nos dados e levantamentos disponíveis propiciados pelo Inventário Hidrelétrico do Rio Madeira e nos Estudos de Viabilidade do AHE Jirau e Santo Antônio, visando a: caracterização hidráulica e sedimentológica geral do trecho de interesse, empregando ferramentas compatíveis com as informações disponíveis.

Segunda etapa – realização de uma campanha complementar de levantamentos de campo, cuja programação será definida como resultado da primeira etapa dos estudos. Essa campanha, voltada para subsidiar os estudos da terceira etapa, deverá ser centrada no levantamento de novas seções topobatimétricas e perfis longitudinais do leito do rio, além da realização de medições de descarga líquida e sólida e análises granulométricas para caracterização do material do leito.

Terceira etapa – a ser desenvolvida após a realização da campanha complementar: serão realizados estudos mais aprofundados, objetivando caracterizar os processos fluviais de forma mais precisa. Para tanto, deverá ser empregado um modelo hidrodinâmico acoplado a modelo de transporte de sedimento, ambos desenvolvidos com base nos dados coletados.



Apenas a primeira etapa da programação acima é abordada no presente documento, sendo apresentada, ao final, algumas sugestões e recomendações com relação às duas etapas seguintes dos estudos.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO E ABORDAGEM GERAL

A construção de uma barragem e a formação de um reservatório ocasiona mudanças significativas num curso d'água, reduzindo as velocidades médias do escoamento e criando bolsões sem escoamento que propiciam a deposição de sedimentos que antes eram carreados para jusante. Com isso, o equilíbrio sedimentológico do estirão fluvial é quebrado, trazendo reflexos a montante e a jusante da barragem, cuja magnitude depende do grau de modificação de regime introduzido pelo barramento.

De uma forma geral, é de se esperar, quando se implanta uma barragem em um curso d'água, que a redução de velocidades dentro do reservatório formado dê início a um processo de assoreamento, com o sedimento mais grosso se depositando logo na entrada do reservatório, enquanto que as partículas mais finas se depositam ao longo do mesmo, preferencialmente nos locais de menor velocidade ou de água estagnada.

Ao mesmo tempo, a água liberada a jusante da barragem conduz uma quantidade menor de sedimentos, devido à parcela que ficou retida no reservatório, apresentando por isso uma "sobra" de energia, que acaba resultando em trabalhos de erosão a jusante do barramento.

Com o tempo, espera-se que esta situação evolua para um novo regime de equilíbrio. Dentro do reservatório, à medida que o assoreamento vai evoluindo, as velocidades voltam a aumentar, reduzindo assim, paulatinamente, a parcela de sedimento que se deposita. Costuma-se dizer que a capacidade de retenção de sedimentos do reservatório diminui com o tempo.

De forma equivalente, o desequilíbrio sedimentológico no estirão a jusante da barragem tende a diminuir, porque o material erodido imediatamente a jusante acaba se depositando mais adiante, reduzindo aos poucos a declividade média do trecho, até um novo perfil de equilíbrio se estabeleça.

O processo de assoreamento dos reservatórios pode trazer diversos impactos importantes, tais como:

- Diminuição da capacidade de armazenamento do reservatório, com reflexos na regularização de vazões e, no caso de usinas hidrelétricas, possíveis perdas na produção energética;
- Intensificação dos efeitos de remanso, com elevação gradual dos níveis d'água na região da entrada (montante) do reservatório;
- Em casos extremos, quando o sedimento alcança o pé da barragem e a região da Tomada d'Água da Usina, podem ocorrer danos aos equipamentos hidromecânicos e, às vezes, interrupção da geração.



Pelo seu turno, o desequilíbrio sedimentológico que ocorre a jusante da barragem pode acarretar:

- Erosão do leito fluvial e das margens imediatamente a jusante da barragem;
- Deposição de sedimento erodido um pouco mais a jusante, com o risco de surgimento de bancos de areia ou ilhas;
- Interferência com a navegação.

Por estes motivos, é muito importante a realização de avaliações qualitativas e quantitativas do processo de assoreamento dos reservatórios e da evolução do leito a jusante das barragens.

Nos estudos de Viabilidade de Usinas Hidrelétricas, constitui prática normal a realização de estudos de Remanso e de Vida Útil dos reservatórios formados. Na grande maioria dos casos, estes estudos permitem uma análise adequada dos impactos decorrentes da quebra do equilíbrio sedimentológico do estirão afetado pelo empreendimento. Naturalmente, estes estudos foram realizados durante a elaboração dos Estudos de Viabilidade das Usinas Hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira, e serão parcialmente reproduzidos no presente trabalho.

Considerando que o rio Madeira caracteriza-se por apresentar elevadíssimas concentrações de sedimentos em suspensão, alcançando valores que se destacam quando comparados com outros cursos d'água no Brasil e no mundo, é natural que se dispense um cuidado especial na análise do desequilíbrio sedimentológico provocado pela introdução das barragens de Jirau e Santo Antônio. Este cuidado conduziu ao desenvolvimento dos trabalhos aqui apresentados, cuja metodologia passa a ser descrita.

A metodologia empregada no presente estudo foi orientada no sentido de identificar os principais desequilíbrios esperados, através da análise dos estudos realizados durante o Projeto de Viabilidade das duas usinas, para em seguida aprofundar as análises através do emprego de um modelo de hidráulica fluvial com fundo móvel, o modelo HEC-6, capaz de quantificar a evolução da calha fluvial através da realização de balanços sedimentológicos por trechos.

Assim, num primeiro momento foram analisados os resultados dos estudos de remanso, buscando identificar os trechos do rio Madeira que apresentam maiores reduções no regime de velocidade, após a implantação dos reservatórios. Estes trechos são mais propícios à deposição de sedimentos transportados pelo rio em suspensão ou por arraste. Essa análise foi realizada com auxílio do modelo HEC-RAS – River Analysis System, desenvolvido pelo U. S. Corps of Engineers.

Em seguida, foram analisados os resultados dos estudos de vida útil do reservatório, realizados durante o Projeto de Viabilidade, que apresentam avaliações quantitativas dos volumes de sedimento depositados nos reservatórios ao longo do tempo. Estas estimativas são feitas por métodos empíricos, de uso consagrado na literatura técnica, e permitem também uma avaliação da evolução da cota dos sedimentos junto à barragem,



informação de grande importância para o correto posicionamento e proteção das estruturas de geração.

Finalmente, foi aplicada uma abordagem mais abrangente, com o emprego do modelo HEC-6, que permite avaliar a evolução da geometria das seções da calha fluvial em todo o estirão modelado, tanto a montante quanto a jusante dos barramentos.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O presente relatório está organizado da seguinte forma:

Item 1 – esta nota introdutória, que justifica e descreve a abordagem geral do trabalho;

Item 2 – apresentação de uma caracterização geral da bacia do rio Madeira e do estirão fluvial de interesse aos estudos, com base em trabalhos realizados anteriormente;

Item 3 – apresentação dos estudos realizados anteriormente e dos dados que serviram de base para realização dos trabalhos.

Item 4 – Caracterização hidráulica do estirão fluvial em estudo, com aplicação do modelo HEC-RAS. São feitas as análises de velocidades médias, identificação de trechos de quebra de declividade, etc.

Item 5 – Quantificação dos volumes de sedimentos retidos nos reservatórios com base nos estudos de vida útil;

Item 6 – Modelagem sedimentológica conjunta de todo estirão, realizada com base no modelo HEC-6.

Item 7 – Análise conjunta dos resultados obtidos, apresentação das conclusões e recomendações.



2. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO MADEIRA E DO ESTIRÃO EM ESTUDO



Neste item são descritas as principais características da bacia do rio Madeira e do estirão em estudo, tomando por base estudos existentes, informações obtidas nos Projetos de Viabilidade dos aproveitamentos de Santo Antônio e Jirau e as impressões colhidas durante a viagem de reconhecimento realizada em dezembro de 2004.

2.1. DESCRIÇÃO GERAL DA BACIA

O rio Madeira é um dos maiores afluentes do rio Amazonas, drenando, segundo a ANA – Agência Nacional de Águas uma área de 1.420.000 km², que se desenvolve em territórios do Brasil, Bolívia e Peru. O Desenho PJ-0532-V3-GR-DE-0003 apresenta a planta da bacia Hidrográfica do rio Madeira.

É formado pela confluência dos rios Mamoré e Beni, ambos apresentando suas nascentes na Cordilheira dos Andes. Pelas suas características físicas, pode-se dividir o curso total do sistema hidrográfico do Madeira em três trechos distintos:

- · Alto Madeira, constituído praticamente por seus formadores;
- Trecho das cachoeiras, entre Guajará Mirim e a cachoeira de Santo Antônio;
- Baixo Madeira, a jusante da cachoeira de Santo Antônio.

Denomina-se Alto Madeira a grande ramificação dos seus formadores, sendo difícil determinar qual deles pode ser considerado como o tronco principal do rio Madeira. O maior em comprimento é o rio Mamoré, porém o mais caudaloso é o rio Beni. Todos eles nascem em altitudes elevadas e correm inicialmente com acentuada declividade em leitos encachoeirados. Descendo aos terrenos planos, tornam-se tortuosos, com aumentos locais de declividade decorrentes da presença de pequenas corredeiras, bancos de areia e ilhas de aluvião que diminuem as suas seções transversais.

O trecho das cachoeiras no rio Madeira, de grande importância para o presente trabalho, inicia-se logo a jusante da cidade de Guajará-Mirim e termina a montante de Porto Velho, na chamada Cachoeira de Santo Antônio. O comprimento deste trecho, incluindo um trecho de 20 km ainda no rio Mamoré, é da ordem de 360 km, com um desnível total de 70 m, ao longo do qual apresenta 18 cachoeiras ou corredeiras.

A bacia, no trecho a jusante da foz do rio Abunã, não recebe contribuições significativas pela margem esquerda, onde se resume a uma faixa insignificante com uma largura média inferior a 100 km.

Pela margem direita a contribuição afluente ao trecho não é também muito significativa, pois o único rio de porte que nele deságua é o Jaciparaná, que drena uma área da ordem de 12.000 km², muito pequena quando comparada a bacia do rio Madeira na foz do rio Jaciparaná.

O Baixo Madeira inicia-se na Cachoeira de Santo Antônio e estende-se até sua foz no rio Amazonas. A extensão desse trecho é da ordem de 1.100 km, com um desnível total aproximado de apenas 19 m. Sua foz no Amazonas é constituída por dois canais,



desaguando o primeiro a cerca de 50 km a montante da cidade de Itacoatiara, e o segundo, que se liga ao rio Maués, desaguando a montante de Parintins.

Apresenta-se a seguir uma breve descrição dos principais formadores do rio Madeira: rios Guaporé, Mamoré, Beni / Madre de Dios e Abunã.

. Rio Guaporé

O Rio Guaporé ou rio Iténez, como também é denominado na Bolívia, nasce a cerca de 1.800 metros de altitude, na Chapada dos Parecis, no Estado de Mato Grosso, com uma extensão total de cerca de 1.700 km escoando no sentido Oeste a Noroeste.

Após percorrer cerca de 340 km em território brasileiro, passa ser a divisão entre Brasil e Bolívia nas imediações de Catamarca, na Bolívia. A partir daí, desenvolve por mais 850 km até desaguar no rio Mamoré nas vizinhanças das cidades de Colocação da Surpresa em território brasileiro e Capitanía de Puerto Abaroa em território boliviano. O rio Guaporé é navegável por cerca de 1.180 km, desde sua foz no Mamoré até a cidade de Vila Bela da Santíssima Trindade, no Estado do Mato Grosso.

A época de estiagem compreende os meses de maio a dezembro enquanto que os meses de maior precipitação estendem-se entre janeiro e abril. As máximas vazões ocorrem entre os meses de janeiro e março.

Rio Mamoré

O rio Mamoré tem sua origem na confluência dos rios Chapare e Ichilo em território boliviano e é tido como o eixo fluvial mais importante da Bolívia. As nascentes desses cursos d'águas localizam-se nos Andes — Cordilheira Oriental, a cerca de 5.400 m de altitude. Desenvolve-se predominantemente no sentido Norte e é um rio internacional de curso contíguo, que divide os territórios de Brasil e Bolívia por uma extensão de cerca de 230 Km.

A época de estiagem compreende os meses de maio a outubro e os meses de maior precipitação estendem-se entre novembro e fevereiro. As máximas vazões ocorrem entre janeiro e março.

· Rio Beni

O rio Beni é um dos grandes afluentes do rio Madeira e sua bacia, com cerca de 283.350 km² de área de drenagem, desenvolve-se em território Boliviano e Peruano, com direção predominante Norte e Nordeste. Suas nascentes localizam-se nos Andes - Cordilheira Oriental, onde nasce com o nome de rio Tallija, na província Tapacarí do departamento de Cochabamba, a cerca de 4.000 m de altitude.

Seu curso médio apresenta declividades acentuadas, que juntamente com a conformação geológica, dão lugar às cachoeiras e cânions que constituem restrições à navegação.



O rio Beni propriamente dito tem seu início na confluência dos rios Alto Beni e Kaka, nas proximidades de Puerto Pando, Departamento de La Paz. Tem uma extensão de cerca de 1.010 Km até sua confluência com o rio Mamoré, próximo a Villa Bella, para formar o rio Madeira.

A época de estiagem compreende os meses de maio a novembro, enquanto que os meses de maior precipitação se estendem entre os meses de dezembro e março. As vazões máximas ocorrem entre janeiro e março.

Rio Madre de Diós

O rio Madre de Dios, chamado antes Amaru-Mayu, nasce em território peruano e ingressa na Bolivia, nas proximidades de Puerto Heath. Escoa predominantemente na direção nordeste, até desembocar no rio Beni, próximo a cidade de Riberalta.

É um rio internacional, de curso sucessivo e compreende desde seu ingresso na Bolívia até sua afluência no rio Beni uma extensão de 483 Km.

Este rio caracteriza-se por sua enorme riqueza em ouro aluvionar depositado em seu leito, razão pela qual é bastante significativa a atividade de garimpo através de dragagens do leito. Seu curso é navegável em todo tramo boliviano servindo como via de interconexão entre as populações ribeirinhas bolivianas e peruanas.

A época de estiagem compreende os meses de maio a dezembro enquanto os meses de maior precipitação ocorrem entre janeiro e abril. As vazões máximas ocorrem entre janeiro e março.

. Rio Abunã

O rio Abunã é também um rio internacional, constituindo parte da divisa entre Bolívia e os estados de Rondônia e Acre, no Brasil. Tem sua origem na confluência dos rios Chipamanu e Kharamanu, nas imediações da província Nicolás Suárez na Bolívia. Sua extensão é de 375 km, até desembocar no rio Madeira a cerca de 6 km a jusante da Vila do Abunã.

O rio Abunã é também uma importantes via navegável em território boliviano, não existindo grandes obstáculos em seu curso. A época de estiagem compreende os meses de maio a dezembro e os meses de maior precipitação estendem-se entre janeiro e abril. As máximas vazões ocorrem entre janeiro e março.

2.2. REGIME FLUVIAL DO RIO MADEIRA

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.



Em Porto Velho, o trimestre com maior vazão compreende os meses de fevereiro a abril. O mês com maior freqüência de ocorrência do pico de cheia é o mês de março com 63 %. (20 ocorrências em 32 eventos), seguido de abril com 34% (11 ocorrências em 32 eventos). Há registro de apenas um pico de cheia observado em fevereiro, no ano de 1987.

O trimestre com menor vazão compreende os meses de agosto a outubro, com as mínimas vazões ocorrendo predominantemente no mês de setembro.

A vazão média no período histórico (1967 a 2001) é cerca de 19.000 m³/s, enquanto que a vazão máxima diária registrada atingiu a 48.570 m³/s em 14 de abril de 1984. A vazão mínima registrada ocorreu em setembro de 1995 atingindo cerca de 3.145 m³/s.

A Figura 2.1 apresenta uma ilustração do regime de vazões médias mensais do rio Madeira em Porto Velho.

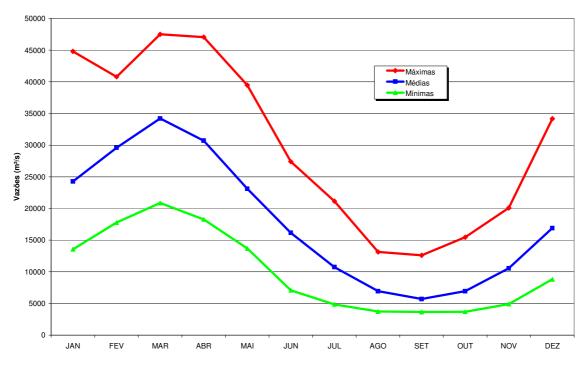


Figura 2.1 Vazões Médias Mensais no Rio Madeira em Porto Velho

Em Guajará-Mirim, o rio Mamoré tem um comportamento fluvial um pouco diferenciado com os picos de cheia ocorrendo mais freqüentemente durante o mês de abril, portanto defasados em relação ao pico de vazões do rio Madeira em Porto Velho, situado a jusante. Este fato permite concluir que são os picos de vazões nos rios Beni / Madre de Dios que determinam os picos de vazões no rio Madeira, como demonstrado nos hidrogramas anuais de vazões médias diárias de Guajará-Mirim no rio Mamoré, Abunã e Porto Velho no rio Madeira, e no hidrograma da diferença entre as vazões observadas em Abunã e Guajará-Mirim, apresentados nas Figuras 2.2 a 2.4, respectivamente para os



anos de 1982, 1984 e 1986, as três maiores cheias observadas no rio Madeira em Porto Velho.

Percebe-se, nessas figuras, que o pico de cheia em Guajará Mirim ocorreu com um atraso, em relação ao pico de cheia em Porto Velho, de 11 a 40 dias.

Figura 2.2 Rios Mamoré e Madeira Hidrogramas de Vazões Médias Diárias - Período: 1982

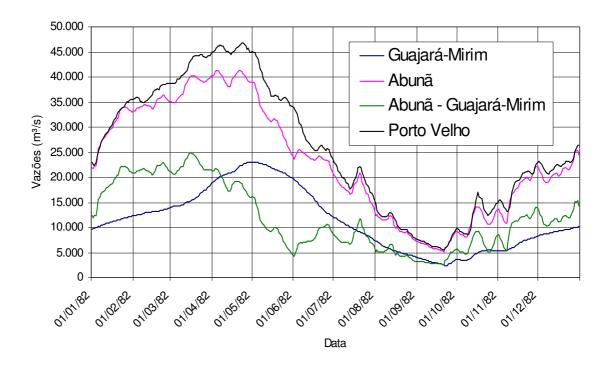




Figura 2.3
Rios Mamoré e Madeira
Hidrogramas de Vazões Médias Diárias - Período: 1984

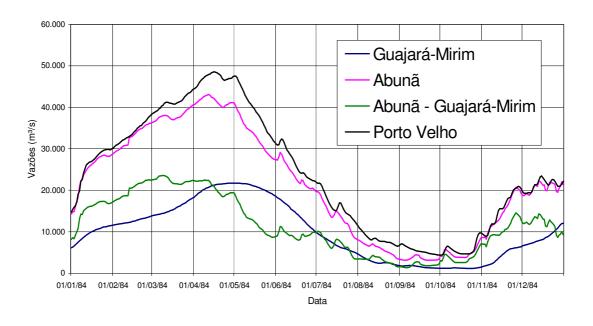
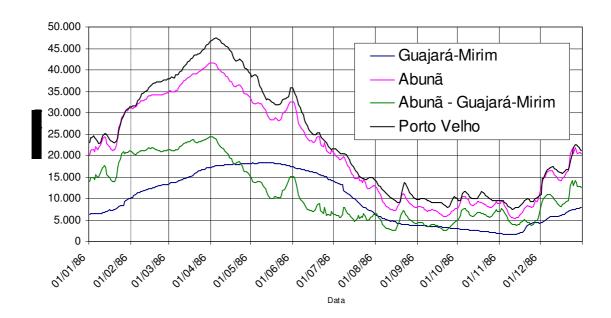


Figura 2.4
Rios Mamoré e Madeira
Hidrogramas de Vazões Médias Diárias - Período: 1986





2.3. COMPORTAMENTO SEDIMENTOLÓGICO DO RIO MADEIRA

2.3.1. Aspectos Gerais

Boa parte da bacia do rio Madeira se localiza em região andina, região essa composta por rochas areníticas de fácil desagregação. Além disso, a região possui alta precipitação, o que juntamente com a geologia local provoca uma alta produção de sedimentos. Fatores antrópicos como a ocupação crescente da região andina e o desmatamento na região amazônica (área de floresta sendo transformadas em áreas para agropecuária) contribuem com o crescimento na produção de sedimentos.

Para se ter uma idéia do porte de sedimentos do rio Madeira, apresenta-se na Figura 2.5 um gráfico comparativo das descargas sólidas em suspensão médias dos principais formadores do rio Amazonas, segundo apresentado por Robert Meade do USGS. Percebe-se que, apesar de possuir aproximadamente um terço da descarga líquida do rio Solimões, o rio Madeira possui um aporte de sedimentos em suspensão da mesma ordem deste rio, o que caracteriza o rio Madeira como um dos maiores do mundo em termos de transportes de sedimentos.



Figura 2.5

A precipitação na bacia contribuinte do rio Madeira não é homogêneia. Na região andina, local onde os solos são descobertos e, consequentemente, mais suscetíveis à erosão, a precipitação varia de 500 a 5.000 mm ao ano. Já na parte baixa da bacia, este valor fica em média na faixa de 2.000 mm ao ano.

Embora nascendo ambos na Cordilheira Andina, os dois formadores do rio Madeira, rios Mamoré e Beni, apresentam características bastante diferenciadas, conforme já ilustrado no item precedente, quando se abordou o regime fluvial. De fato, o regime fluvial mais



torrencial do rio Beni se reflete também em sua capacidade de erosão de margens e de transporte de sedimento, fazendo com que sua contribuição ao regime sedimentológico do rio Madeira seja muito mais significativa que a contribuição do rio Mamoré.

Assim, enquanto que o rio Beni apresenta águas barrentas, carregadas de sedimentos resultantes da dissecação da Cadeia Andina, provocada por seu regime fluvial mais torrencial e sujeito a repiquetes (ondas de cheia localizadas), o rio Mamoré apresenta águas esverdeadas, muito menos carregadas de sedimento em suspensão. Isso se explica porque o rio Mamoré possui extensas áreas deprimidas, entre os Andes e o Planalto Brasileiro, que possibilitam o armazenamento de grande parte do sedimento proveniente dos Andes. Essas áreas deprimidas são também responsáveis pelo amortecimento dos hidrogramas do rio Mamoré, ilustrado nas Figuras 2.2 a 2.4, já discutidas.

O rio Madeira apresenta um regime fluvial e sedimentológico que é uma síntese dos regimes de seus dois formadores.

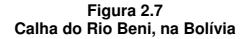
A Tabela 2.6, resultante dos estudos sedimentológicos desenvolvidos nos Projetos de Viabilidade das UHE Santo Antônio e Jirau, ilustra o que foi dito, apresentando as concentrações médias medidas de sedimentos em suspensão, no período até 2003 (obtidas do banco de dados da ANA) e no período 2002 a 2004, realizados por FURNAS, em Guajará-Mirim no rio Mamoré (a montante de confluência do rio Beni) e em Porto Velho no rio Madeira. Verifica-se que a concentração média medida em Porto Velho é cerca de 1,7 vezes maior que a de Guajará-Mirim quando utilizados os dados da ANA e de 1,5 vezes maior quando considerados os dados de FURNAS, o que indica um aporte significativo da carga de sedimentos entre Guajará-Mirim e Porto Velho, oriundos do rio Beni.

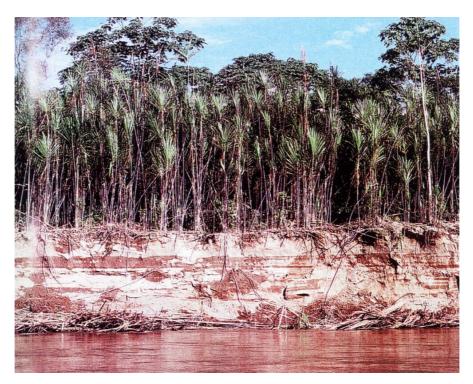
Tabela 2.6 Comparação entre as Concentrações de Sedimentos em Suspensão (em ppm) em Guajará Mirim no Rio Mamoré e Porto Velho no Rio Madeira

Origem dos Dados	Concentração de Sedimentos em ppm							
Origeni dos Dados	Guajará-Mirim	Porto Velho						
Banco de Dados (ANA)	203	336						
Medições de FURNAS	486	721						

A Figura 2.7 apresenta uma impressionante imagem do rio Beni. Percebe-se o alto grau de desagregação do solo, que somado às mudanças de uso dos solos na bacia e a falta de cobertura vegetal, favorece a alta produção de sedimentos. As concentrações medidas no rio Beni podem alcançar 4.000 mg/l segundo informações do SENHAMI (Bolívia). Após a confluência com o rio Mamoré esta carga sólida diminui pela diluição.







2.3.2. <u>Aspectos Geomorfológicos</u>

O estirão de interesse ao presente trabalho corresponde ao sub-trecho inferior do denominado trecho das cachoeiras do rio Madeira, onde se localizam os aproveitamentos hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau e seus respectivos reservatórios, complementado pelo trecho imediatamente a jusante, entre Porto Velho e a foz do rio Jamari.

No estado de Rondônia, a rede de drenagem é controlada por um sistema de falhas e de grandes lineamentos estruturais que determinam, em grande escala, a orientação principal dos cursos d'água. Assim, no trecho entre Guajará Mirim e Abunã, os rios Mamoré e Madeira correm no sentido S→N, ao longo do Lineamento Compressivo Guajará Mirim − Abunã. De Abunã até Itacoatiara (AM), o rio Madeira corre no sentido geral SW→NE, dentro do Megalineamento Transtensivo Dextral Madre de Dios − Itacoatiara, que é a mesma estrutura que orienta os cursos dos rios Madre de Dios e Beni, na Bolívia.

No trecho entre Abunã e Porto Velho, onde se situam os aproveitamentos, o perfil longitudinal do rio Madeira apresenta um aspecto em "degraus", limitados pelas corredeiras (ou cachoeiras) que são características de falhas existentes, normais ao lineamento Madre de Dios — Itacoatiara. Essas falhas também condicionam, agora em escala menor, as direções do curso do rio Madeira, fazendo com que o mesmo se apresente encaixado em alguns trechos.



A existência de um bloco soerguido a NW do lineamento Madre de Dios-Itacoatiara em contraposição a um bloco subsidente, a NE do lineamento, explica a grande assimetria verificada, e já comentada, da drenagem do estirão fluvial do rio Madeira na região em estudo.

O trecho do rio Madeira em degraus apresenta alguns processos localizados de erosão/assoreamento, que podem ser evidenciados confrontando-se imagens de radar, datadas de 1972, com imagens de satélite, datadas de 2002. Apresentam-se, a seguir, três pares de imagens 1972/2002 cedidos pela CPRM-RO, que permitem ilustrar este processo.

O primeiro par, apresentado na Figura 2.8, mostra um trecho situado logo a jusante da cachoeira do Jirau, entre as ilhas da Pedra e Santana, onde o rio Madeira apresenta uma deflexão para a direita. Percebe-se nessas fotos uma evolução do leito fluvial, com aumento da área das ilhas e vestígios claros da presença de sedimento depositado a montante das mesmas.

Figura 2.8
Rio Madeira entre as Ilhas da Pedra e Santana, a Jusante de Jirau, Futuro
Reservatório de Santo Antônio

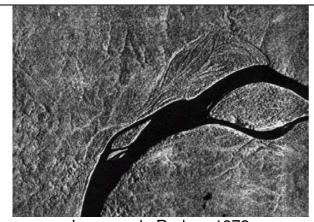




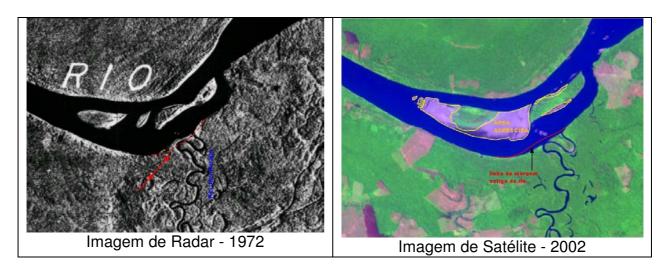


Imagem de Satélite - 2002

O segundo par é apresentado na Figura 2.9 e mostra a evolução do trecho do rio Madeira situado na confluência do rio Jaci-Paraná, um pouco mais a jusante do local do par anterior, e também dentro do futuro reservatório de Santo Antônio. Observa-se que o material depositado no trecho central da calha promoveu a junção de três ilhas existentes na década de 1970. Com o conseqüente estrangulamento do leito, houve uma erosão na margem direita do rio (lado externo da curva), provocado pelo aumento localizado nas velocidades do escoamento pelo braço direito.

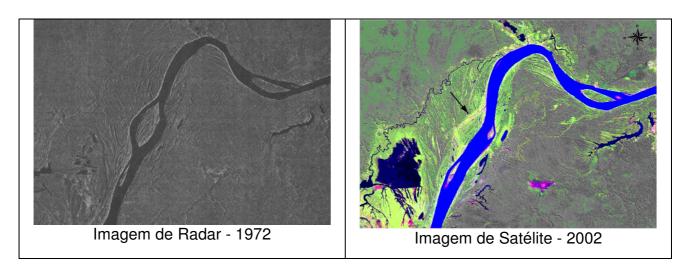


Figura 2.8 Rio Madeira na Confluência com o rio Jaci-Paraná



Finalmente o terceiro par, apresentado na Figura 2.9, mostra um aspecto do rio Madeira a jusante de Porto Velho, na foz do Igarapé Cuniã, entre as ilhas Curicaca e Botafogo. Nota-se que o braço esquerdo do rio Madeira na Ilha Curicaca foi totalmente colmatado, sendo a ilha incorporada à margem do rio. Este canal pode, eventualmente, ser restabelecido em períodos de cheia.

Figura 2.9
Rio Madeira entre as Ilhas Curicaca e Botafogo, a Jusante de Porto velho, na Foz do Igarapé Cuniã



Estas observações poderiam ser tomadas como indício de que o rio Madeira apresentando estirão de interesse ao presente trabalho, uma tendência natural ao assoreamento. O balanço sedimentológico realizado durante os Projetos de Viabilidade dos aproveitamentos de Santo Antônio e Jirau, entretanto, indica um grande equilíbrio entre as cargas de sedimento afluentes ao trecho (medidas em Abunã), e as cargas defluentes (medidas em Porto Velho).



2.4. VIAGEM DE INSPEÇÃO - DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA

Foi feita uma viagem de inspeção ao rio Madeira, em dezembro de 2004, quando foram percorridos de barco diversos trechos compreendidos entre a vila de Abunã, a montante do futuro reservatório de Jirau, e a vila de São Carlos, situada em frente à foz do rio Jamari, limite de jusante do trecho abordado no presente trabalho.

Alguns aspectos observados nessa viagem merecem ser destacados, o que é feito através da documentação fotográfica apresentada e comentada a seguir.

As fotografias são exibidas percorrendo-se o rio de montante para jusante.



Aspecto do Rio Madeira a montante de Abunã – Início do trecho estudado





Posto Fluviométrico de Abunã Vila



Depósio de areia fina na margem esquerda do rio Abunã, próximo à sua foz





Aspecto do rio Madeira a jusante da foz do rio Abunã – início do futuro reservatório de Jirau



Aspecto do rio Mutum-Paraná, a jusante da ponte da BR-364, perto de sua foz no rio Madeira





Depósitos de sedimento no lado interno da curva, a montante de Jirau. Todo este trecho possui baixas velocidades, sendo controlado pela cachoeira.



Outro aspecto do mesmo depósito.





Trecho largo, imediatamente a montante de Jirau. As ilhas existentes estão submersas para esta vazão (aprox. 11.000 m³/s). Nesse trecho existem muitos afloramentos rochosos.



Rio Madeira na Cachoeira do Jirau – Trata-se de um grande estrangulamento que controla todo o estirão de montante.





Aspecto do rio Jaci-Paraná a jusante da ponte da BR-364, pouco antes de sua foz no rio Madeira



Cachoeira Teotônio, situada pouco a montante do local da barragem de Santo Antônio





Bancos de areia em ilha situada imediatamente a jusante da Cachoeira Teotônio



Dragas de garimpo de ouro – ao fundo, margens arenosas da ilha sendo erodidas





Margem esquerda do rio Madeira a jusante de Teotônio – erosão associada ao período de estiagem. Este sedimento pode estar sendo renovado anualmente, durante as cheias



Fenômeno de "terras caídas", pouco a montante da barragem de Santo Antônio. Neste local, as margens são mais estáveis que na ilha mostrada anteriormente, mas sofrem solapamento na base, durante a estiagem, que às vezes desestabiliza o barranco.





Exemplo de material carreado pelo rio Madeira nas cheias – Os troncos são depositados sobre as margens nos períodos de cheia



Margem esquerda do rio madeira a jusante da barragem de Santo Antônio, exibindo barrancos altos e estáveis.





Aspecto do rio Madeira a jusante de Porto Velho – a partir daqui, o escoamento é mais tranquilo, sem corredeiras ou afloramentos rochosos.



Sedimentos pouco consolidados no curso inferior do rio Madeira. Ocorrem sistematicamente no lado interno das curvas.





Praia formada no canal direito da ilha Jamarizinho, totalmente colmatado para vazões baixas (nesta data, aproximadamente 11.000 m³/s)



Pelo canal esquerdo (principal) da Ilha Jamarizinho existe também depósitos de areia muito fina.

2.23





Local da saída de jusante do canal direito da ilha Jamarizinho. Neste trecho, o rio Madeira apresenta sinais de grande deposição de sedimentos.



Vila de São Carlos, frontal à confluência com o rio Jamari – Extremidade de jusante do trecho estudado.





Rio Jamarí totalmente remansado pelo rio Madeira.



3. ESTUDOS ANTERIORES E DADOS PRODUZIDOS



Neste capítulo são apresentados os estudos realizados anteriormente e os dados disponíveis para a realização do presente trabalho. A idéia foi evitar a apresentação de uma relação bibliográfica, que seria muito mais vasta, mas pouco prática, tendo em vista o caráter específico dos estudos realizados, e concentrar a atenção, de forma mais objetiva, nos estudos efetivamente empregados na compreensão da dinâmica fluviomorfológica do rio Madeira e que serviram de fonte de dados para realização do presente trabalho.

A principal fonte de dados do presente estudo foram, naturalmente, os Estudos de Inventário do Rio Madeira e os Estudos de Viabilidade dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio, de onde se obteve a maior parte das seções transversais empregadas na caracterização da geometria do leito, a caracterização hidrológica da bacia e as imprescindíveis medições de descarga líquida e sólida. Nesses Projetos foram também realizados estudos de remanso e de vida útil dos dois reservatórios, cujos resultados serviram como ponto de partida para a implementação dos modelos de hidráulica fluvial desenvolvidos.

Assim, são reproduzidos, nesse item, os estudos hidrológicos e sedimentológicos realizados por ocasião do Inventário e dos Estudos de Viabilidade mencionados, apresentando, ao mesmo tempo, os principais dados empregados naqueles trabalhos, bem como as novas informações produzidas.

Outros estudos, de maior relevância ao presente trabalho, serão parcialmente reproduzidos na seqüência do relatório, como é o caso dos estudos de remanso e vida útil dos reservatórios.

3.1. DEFINIÇÃO DA SÉRIE DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS DO RIO MADEIRA

Para caracterização hidrológica do trecho em estudo foi empregada a série de vazões médias mensais do rio Madeira em Porto Velho, apresentada na Tabela 3.1, elaborada para os Estudos de Viabilidade das usinas de Jirau e Santo Antônio. Esta série, que será utilizada como referência no presente documento, foi estendida até o ano de 1931, de acordo com o procedimento habitual do Setor Elétrico Brasileiro.

Tabela 3.1 Série de Vazões Médias Mensais do Rio Madeira em Porto Velho

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDI A
1931	13.60 9	21.63 4	27.95 2	20.93 6	14.94 5	9.908	6.613	4.445	4.409	11.78 8	12.84 3	16.46 4	13.795
1932	28.49 9	30.30 2	34.02 7	28.15 8	22.11 2	15.40 1	12.04 8	8.967	7.051	8.065	10.06 0	12.60 1	18.108
1933	22.42 9	28.12 8	29.31 4	25.86 7	17.16 0	11.22 2	7.450	5.337	4.282	5.217	7.267	12.19 0	14.655
1934	33.60 4	40.80 2	39.08 6	39.80 3	22.33 4	14.71 5	9.630	6.645	6.181	7.465	13.80 8	17.95 0	21.002
1935	22.73 5	24.44 6	44.12 2	32.90 0	19.45 1	14.60 6	9.950	6.989	5.388	5.489	9.977	11.77 5	17.319



ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDI A
1936	19.76 0	21.13	22.80 8	21.68	14.09 2	9.602	6.342	4.427	4.801	6.100	9.350	19.90	13.334
1937	38.49 7	27.95 2	39.48 9	29.48 7	23.87	15.50 8	10.41 6	7.128	6.723	8.065	10.80	14.12	19.339
1938	30.95 8	29.13 0	27.10 5	21.76 2	15.30 5	11.38 1	7.752	5.303	4.642	5.522	8.665	13.41 0	15.078
1939	19.22 9	29.34 3	38.98 1	30.24 5	19.04 0	15.04 1	13.48 5	10.14 2	9.138	9.630	11.47 3	19.02 9	18.731
1940	31.72 3	37.78 1	46.32 8	32.73 3	27.92 3	19.19 6	13.53 5	9.908	8.520	8.563	9.936	11.16 9	21.443
1941	20.89	23.77 7	28.39 2	23.07 0	15.19 7	10.26 6	7.946	6.181	5.028	6.708	12.15 1	17.98 4	14.799
1942	28.21 6	36.51 4	42.99 6	31.93 9	19.27 4	12.98 2	8.665	5.970	6.896	10.61 9	16.39 4	24.52 8	20.416
1943	30.92 1	26.90 6	34.36 6	24.34 3	17.24 1	12.37 0	8.271	5.556	4.042	4.642	5.855	8.909	15.285
1944	19.70 5	32.79 8	31.02 5	26.36 9	18.38 0	12.60 1	8.330	5.556	4.553	5.937	11.08 9	21.77 2	16.509
1945	23.25 7	26.24 8	29.47 8	25.05 8	17.48 2	11.51 2	7.616	5.080	4.153	5.234	6.739	8.809	14.222
1946	15.97 1	24.30 2	23.44 5	18.26 7	17.90 4	17.16 0	13.15 9	6.896	5.573	5.506	6.278	9.742	13.684
1947	15.59 2	22.26 0	32.90 0	32.17 3	22.62 9	14.27 6	9.797	6.896	6.660	11.43 3	20.08 9	28.32 4	18.586
1948	37.21 1	32.86 3	34.13 7	24.82 4	18.86 2	13.57 2	9.644	6.880	5.921	8.679	15.59 2	30.72 1	19.909
1949	44.79 4	34.32 0	36.59 5	38.23 2	20.56 8	14.92 1	10.45 6	7.128	5.723	9.561	17.93 8	24.98 7	22.102
1950	33.94 4	28.45 1	42.86 0	28.67 5	18.91 8	12.57 5	8.432	5.822	4.098	4.499	6.100	12.98 2	17.280
1951	23.55 9	28.78 1	47.49 2	29.42 9	26.55 8	16.72 1	11.12 9	7.419	6.133	6.880	13.90 7	27.83 4	20.487
1952	29.48 7	34.89 6	34.95 0	24.38 4	16.04 2	9.490	7.465	5.234	3.873	4.784	6.786	16.89 5	16.191
1953	23.20 5	28.52 9	34.41 2	29.33 3	24.40 5	15.11 3	10.01 9	6.818	6.278	8.212	16.06 5	34.15 5	19.712
1954	27.40 1	31.45 9	33.73 3	26.34 9	21.48 4	15.63 9	10.47 0	7.082	5.539	4.836	7.556	16.47 6	17.335
1955	22.56 6	36.46 9	34.51 3	37.46 1	24.53 8	16.26 5	10.79 4	7.435	6.149	6.438	8.315	13.52 2	18.705
1956	19.48 4	24.07 6	37.16 7	27.76 6	20.69 8	14.89 6	10.83 5	7.435	5.472	5.822	7.991	13.48 5	16.260
1957	28.60 6	28.55 8	30.33 1	28.84 0	21.61 2	14.71 5	9.797	7.128	5.855	6.197	8.924	14.36 2	17.077
1958	17.55 1	22.39 8	24.01 4	24.79 3	19.77 1	12.91 9	9.350	6.692	5.114	5.522	9.152	16.30 0	14.465
1959	24.06 6	30.41 7	28.51 9	25.99 8	22.95 5	15.19 7	10.06 0	8.139	7.020	8.766	14.09 2	16.42 9	17.638
1960	18.08 6	22.26 0	24.10 7	21.78 3	16.27 7	11.56 5	7.872	5.739	4.391	5.772	9.024	19.89 2	13.897



ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDI A
1961	24.27 1	37.41 6	35.54 1	28.46 0	22.50 3	15.69 9	10.30 7	6.818	5.132	6.214	8.650	17.72 2	18.228
1962	27.07 5	37.35 4	29.37 2	27.75 6	22.66 1	15.22 1	10.11 5	7.113	7.931	9.476	12.56 3	23.20 5	19.154
1963	23.46 6	24.06 6	20.86	19.04 0	13.68 4	12.08 7	8.388	5.723	4.172	3.683	4.906	9.533	12.467
1964	13.54 7	17.77 9	24.26 1	19.20 7	21.36 6	17.12 6	13.90 7	9.728	7.343	11.77 5	16.52 3	21.03 3	16.133
1965	20.26 4	21.00	42.03 2	32.32 3	21.58 0	14.92 1	10.84 8	7.677	5.904	6.958	11.12 9	14.53 3	17.431
1966	20.02	29.95 8	26.57 8	23.88	18.25 6	14.14 1	9.602	6.550	5.921	5.822	7.946	10.76 7	14.954
1967	13.90 7	19.94 6	23.01 7	23.69 4	16.91 7	12.06 3	6.807	5.170	3.812	4.053	7.722	9.950	12.255
1968	13.61 8	24.26 8	32.74 7	25.80 4	13.77 2	7.075	4.862	3.732	4.956	4.915	7.334	11.85 8	12.912
1969	22.61 4	25.54 3	25.57 5	24.61 8	15.54 5	12.16 7	7.777	4.959	4.391	11.18 2	6.589	13.65 6	14.551
1970	16.70 5	22.44 2	28.25 3	28.23 2	23.70 9	17.28 4	9.828	5.541	4.882	4.872	6.208	9.675	14.803
1971	18.87 1	29.21 0	32.73 6	26.63 0	17.46 4	10.27 9	7.835	4.773	4.320	6.564	9.128	14.90 6	15.226
1972	19.91 6	27.40 5	34.48 9	34.28 8	23.01 9	16.53 3	8.960	7.669	9.899	10.47 6	9.738	19.78 4	18.515
1973	24.33 5	33.28 3	37.67 6	36.42 0	27.73 1	20.73 9	13.20 9	8.906	6.769	6.884	12.78 9	20.56 4	20.775
1974	29.35 4	34.83 9	41.03 9	35.25 4	28.25 4	19.15 5	11.96 7	7.611	5.419	6.018	10.66 0	13.56 1	20.261
1975	21.54 6	30.76 9	36.36 5	33.84 2	24.67 4	16.93 1	13.00 1	6.871	4.957	7.701	8.550	17.85 7	18.589
1976	26.75 0	35.18 3	38.40 9	34.99 1	26.62 6	18.03 2	9.556	5.360	4.566	4.869	8.239	12.72 7	18.776
1977	24.87 0	28.92 1	39.32 2	35.44 2	28.62 6	19.23 7	12.20 0	7.610	5.889	7.563	12.92 3	19.45 6	20.171
1978	26.79 4	32.78 0	39.44 5	33.62 3	25.09 8	17.86 9	12.71 5	6.016	3.803	4.621	8.243	20.44 2	19.287
1979	29.83 1	35.46 7	37.49 0	40.59 5	33.38 8	21.55 0	11.81 4	6.475	5.221	5.338	6.908	11.12 5	20.433
1980	20.41 7	26.16 2	34.12 8	34.98 0	27.88 7	22.77 1	13.62 2	8.247	7.301	8.296	9.177	12.44 4	18.786
1981	18.19 1	28.53 4	35.59 7	35.56 7	28.96 9	23.73 7	12.14 6	6.189	4.668	7.134	12.80 2	19.82 8	19.447
1982	30.01 0	36.72 3	42.17 8	45.63 9	38.17 1	27.38 4	19.58 3	10.93 2	6.853	12.28 5	18.41 6	22.79 1	25.914
1983	25.49 4	30.74 6	34.78 1	31.01 8	30.27 7	24.37 5	21.14 4	13.12 6	6.785	5.723	8.655	13.26 5	20.449
1984	25.19 0	33.86 4	41.14 0	47.06 9	39.47 6	26.74 9	16.48 2	8.188	5.458	5.726	15.25 9	21.25 9	23.822
1985	29.21 4	34.03 1	34.81 3	35.45 0	33.43 6	23.69 8	14.73 1	10.58 8	7.505	8.812	12.54 2	16.50 6	21.777



Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDI A
1986	25.47 6	35.32 8	41.89 9	43.98 5	34.43 0	26.64 6	17.49 1	11.23 9	9.274	10.32 6	8.979	17.69 2	23.564
1987	26.38 3	31.49 1	28.33 1	24.07 9	22.42 0	14.25 7	8.519	5.892	4.234	5.282	10.81 0	21.03 6	16.895
1988	25.98 7	32.42 0	35.03 7	40.14 8	31.32 8	22.06 5	13.18 1	6.305	3.893	4.231	5.810	10.08 5	19.207
1989	21.78 6	28.76 9	32.21 0	31.32 7	24.30 7	15.61 2	10.72 5	6.187	5.876	5.181	6.529	10.34 2	16.571
1990	21.24 4	28.16 6	29.04 3	24.79 7	22.61 0	18.89 9	12.83 3	6.746	5.437	6.751	15.12 9	19.67 2	17.611
1991	27.42 2	34.16 2	36.13 0	34.19 6	26.02 6	19.88 6	12.26 6	8.018	6.097	7.188	10.99 1	16.14 1	19.877
1992	25.32 4	26.89 9	38.04 8	36.54 3	32.34 9	24.57 7	20.31	10.41 3	12.60 8	15.45 5	16.75 4	22.88 9	23.514
1993	30.74 5	39.24 4	42.72 7	43.57 3	32.88 3	20.31 9	11.31 8	7.712	7.082	6.923	12.55 7	19.38 5	22.872
1994	25.17 9	32.61 4	33.77 0	33.93 6	25.83 0	15.24 0	8.992	6.024	3.651	5.518	13.60 1	21.20 4	18.796
1995	25.92 6	28.94 7	36.41 5	34.85 5	24.53 0	15.01 8	8.902	7.101	3.762	3.779	5.464	13.79 3	17.374
1996	19.10 1	28.42 2	29.75 2	31.57 1	20.84 9	14.24 5	8.656	4.685	4.720	6.161	13.94 0	17.29 0	16.616
1997	24.79 8	32.58 9	43.16 9	44.20 7	33.88 3	23.30 6	14.16 7	8.087	4.999	6.814	9.755	17.17 8	21.913
1998	21.73 6	24.24 1	33.44 0	34.18 8	21.64 7	12.23 0	7.308	4.693	4.400	6.126	13.94 2	21.22 1	17.098
1999	26.60 6	33.93 3	34.29 9	33.17 4	22.66 7	14.51 1	10.34 9	5.329	3.738	4.275	5.906	13.68 4	17.372
2000	19.44 4	25.65 0	31.00 4	27.55 2	19.10 9	13.90 0	8.857	5.639	6.341	4.559	9.794	15.83 9	15.641
2001	24.03 6	32.83 7	40.94 6	35.49 8	25.63 5	18.14 3	10.61 0	6.611	4.472	5.531	11.49 7	16.98 2	19.400
MÍNIMA	13.54 7	17.77 9	20.86 1	18.26 7	13.68 4	7.075	4.862	3.732	3.651	3.683	4.906	8.809	3.651
MÉDIA	24.26 8	29.58 2	34.20 7	30.70 6	23.10 7	16.15 5	10.75 0	6.938	5.691	6.944	10.55 3	16.89 6	17.983
MÁXIM A	44.79 4	40.80 2	47.49 2	47.06 9	39.47 6	27.38 4	21.14 4	13.12 6	12.60 8	15.45 5	20.08 9	34.15 5	47.492

3.2. MEDIÇÕES DE DESCARGA SÓLIDA E ELABORAÇÃO DE CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTO

Para caracterização do regime sedimentológico foram utilizadas 28 medições de descarga sólida realizadas em Abunã e 38 medições realizadas em Porto Velho. As Tabelas 3.2 e 3.3 apresentam o resumo das medições disponíveis. As três primeiras medições em Porto Velho foram realizadas por FURNAS durante os estudos de Inventário Hidrelétrico enquanto que as demais, inclusive as de Abunã, foram realizadas durante os Estudos de Viabilidade.



Tabela 3.2 Rio Madeira em Abunã – Medições de Descargas Realizadas por FURNAS

Número	Data	Q _{Líquida}	Concentração	Q _{Sólida} Suspensão	Q _{Sólida Total}
Numero	Data	m³/s	ppm	t/dia	t/dia
1	03/11/2003	8.052	588	409.350	428.387
2	12/03/2004	20.706	2.155	3.855.068	-
3	16/03/2004	22.696	615	1.204.978	-
4	24/03/2004	26.682	788	1.816.603	1.914.445
5	29/03/2004	26.975	1.002	2.336.256	2.465.942
6	07/04/2004	22.204	690	1.323.883	1.410.064
7	13/04/2004	23.476	606	1.230.001	1.323.675
8	22/04/2004	23.178	837	1.675.584	-
9	28/04/2004	28.456	813	1.998.561	-
10	05/05/2004	21.303	719	1.323.387	1.416.363
11	12/05/2004	21.345	583	1.075.554	1.158.130
12	19/05/2004	16.925	447	653.354	722.090
13	27/05/2004	15.416	437	582.047	649.305
14	04/06/2004	16.454	565	802.491	874.474
15	09/06/2004	13.414	239	277.462	308.354
16	18/06/2004	13.755	354	420.115	443.913
17	25/06/2004	9.696	141	117.954	138.302
18	30/06/2004	9.140	197	155.804	157.244
19	07/07/2004	8.934	264	203.544	218.439
20	15/07/2004	7.899	246	167.548	179.519
21	21/07/2004	7.790	310	208.791	222.245
22	29/07/2004	5.927	170	87.258	91.836
23	04/08/2004	8.179	194	136.945	147.965
24	12/08/2004	5.866	720	364.781	371.990
25	19/08/2004	5.335	127	58.309	60.885
26	26/08/2004	4.230	120	43.707	-
27	02/09/2004	5.115	214	94.443	97.185
28	09/09/2004	4.089	476	168.291	-

Tabela 3.3 Rio Madeira em Porto Velho – Medições de Descarga Realizadas por FURNAS

	Entitade	Data	Q _{Líquida} m³/s	Concentração ppm	Q _{Sólida} Suspensão t/dia	Q _{Sólida Total} t/dia
	1	15/5/2002	21.698	520	974.567	-
Ī	2	17/5/2002	21.177	636	1.164.563	-



Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

Entitade	Data	Q _{Líquida}	Concentração	Q Sólida Suspensão	Q _{Sólida Total}	
Littlade	Data	m³/s	ppm	t/dia	t/dia	
3	21/5/2002	19.468	576	968.095	-	
4	01/11/2003	4.701	601	244.276	249.592	
5	27/01/2004	22.711	1.245	2.443.540	2.560.993	
6	03/02/2004	30.372	1.086	2.848.760	2.968.682	
7	10/02/2004	27.820	535	1.285.705	1.386.947	
8	16/02/2004	29.351	3.506	8.889.566	9.210.329	
9	20/02/2004	32.496	2.710	7.608.490	7.923.098	
10	02/03/2004	33.672	1.342	3.904.473	4.214.942	
11	09/03/2004	23.877	1.228	2.533.908	2.626.446	
12	15/03/2004	23.527	2.172	4.414.629	-	
13	19/03/2004	30.128	632	1.643.851	1.648.834	
14	25/03/2004	31.252	713	1.925.748	2.058.831	
15	31/03/2004	32.682	946	2.671.242	2.697.488	
16	06/04/2004	27.879	680	1.637.972	-	
17	15/04/2004	23.840	534	1.099.310	-	
18	21/04/2004	26.372	635	1.446.179	-	
19	27/04/2004	31.674	802	2.193.434	2.321.485	
20	04/05/2004	27.372	731	1.728.795	-	
21	11/05/2004	21.723	654	1.227.281	1.328.256	
22	18/05/2004	19.882	539	925.049	939.440	
23	26/05/2004	19.101	428	706.822	774.367	
24	01/06/2004	20.489	593	1.049.584	1.140.582	
25	10/06/2004	15.126	299	390.113	427.021	
26	15/06/2004	13.736	292	346.895	376.797	
27	22/06/2004	12.644	318	347.617	377.364	
28	29/06/2004	10.315	245	218.534	227.584	
29	06/07/2004	10.085	342	298.246	314.830	
30	14/07/2004	7.469	214	137.783	144.849	
31	20/07/2004	8.889	230	176.722	187.955	
32	28/07/2004	6.599	277	158.164	160.340	
33	07/08/2004	9.424	205	166.756	182.090	
34	10/08/2004	8.297	223	159.650	167.798	
35	17/08/2004	5.455	194	91.532	93.999	
36	24/08/2004	4.671	121	48.998	-	
37	31/08/2004	4.536	115	44.956	49.082	
38	08/09/2004	4.664	159	64.107	-	

Nessas Tabelas, os valores de descarga sólida em suspensão, expressos em t/dia, foram calculados segundo a expressão:



$$Q_{SS} = 0.0864 \cdot Q_L \cdot C$$

onde:

Q_{SS} - é a descarga sólida em suspensão em t/dia;

Q_L - é a descarga líquida no momento da coleta de amostra (m³/s);

C - é a concentração de sedimento (mg/l ou ppm);

0,0864 - um fator de homogeneização de unidades.

Na segunda campanha realizada por FURNAS, as coletas de sedimentos em suspensão foram feitas com o amostrador de saca, enquanto que as coletas das amostras do leito empregaram o amostrador USBM-54. Foi utilizado o método de igual incremento de largura para essas coletas. Os ensaios laboratoriais das amostras coletadas foram realizadas no laboratório de FURNAS em Goiânia. As amostras do material em suspensão foram analisadas pelos métodos de pipetagem e do tubo de remoção pela base que fornece a concentração e a granulometria dos sedimentos através do traçado da curva de Oden. As amostras de material do leito foram analisadas para obtenção da granulometria pelo processo de peneiramento para o material mais grosso e por pipetagem para o resíduo.

A relação entre as descargas sólidas totais e em suspensão foi calculada em 1,056, para as medições realizadas por FURNAS em Porto Velho, e em 1,071, para as medições realizadas em Abunã.

Como resultado dessa campanha, foram definidas as Curvas-chave de sedimento do rio Madeira para Abunã e Porto Velho, apresentadas nas Figuras 3.4 e 3.5, respectivamente.

1.E+07

Q_{SS} = 0,00090 * Q₁^{2,110}

1.E+05

1.E+03

1.E+04

Descarga Liquida (m³/s)

Figura 3.4
Curva-Chave de Sedimento do Rio Madeira em Abunã



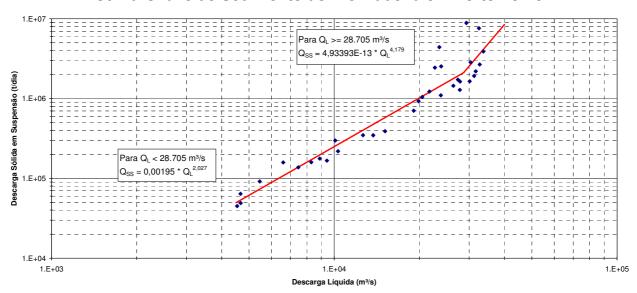


Figura 3.5
Curva-Chave de Sedimento do Rio Madeira em Porto Velho

3.3. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTO NA BACIA

A descarga sólida de um rio é muito variável e dependente de vários fatores. As medidas instantâneas mostram que os valores podem variar de 1 a 100 ou mais vezes em relação a uma mesma descarga líquida. A longo prazo tem-se constatado que a produção de sedimento (ou descarga sólida específica) vai aumentando com o tempo pela ação do homem, na maioria das vezes.

O estudo do aumento do transporte de sedimentos foi realizado com base nas medições de descargas sólidas e líquidas realizadas em Porto Velho (incluindo as medições da ANA, de FURNAS e da USGS) e na série de vazões médias mensais observadas no mesmo posto, que compreendem um período de 35 anos (de 1970 a 2004). As medições foram separadas em dois grupos, o primeiro com as medições de 1978 a 1990 e o segundo com dados de 1991 a 2004. Estes dois grupos de medições de descarga líquida e sólida deram origem a duas curvas-chaves de sedimento em suspensão, curvas estas utilizadas no posto de Porto Velho no período observado de dados (1970 a 2001), sendo que para o período de 1970 a 1991 foi usada a primeira curva-chave e para o período de 1991 a 2004 foi usada a segunda curva-chave. Estas curvas são apresentadas na Figura 3.6.



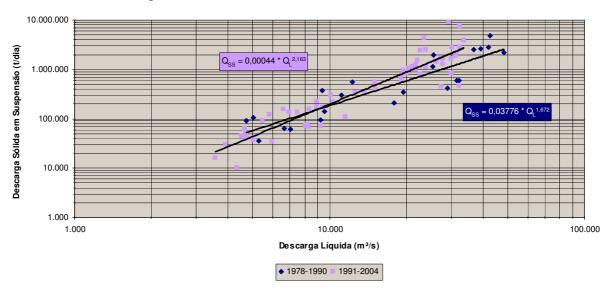


Figura 3.6 Evolução da Curva-Chave de Sedimento em Porto Velho

As duas curvas ajustadas já indicam que houve um aumento, no período recente, nas descargas sólidas do rio Madeira, fato que pode ser melhor visualizado quando se analisa o diagrama de dupla massa apresentado na Figura 3.7, que associa as descargas líquida e sólida acumuladas ao longo do período de análise.

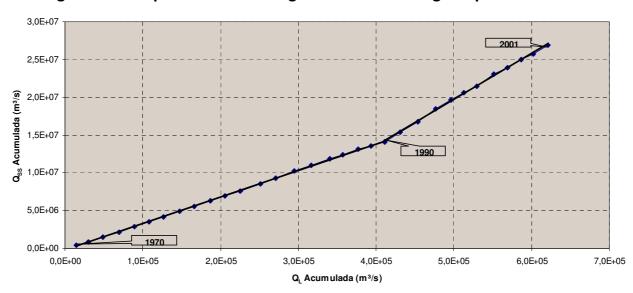


Figura 3.7
Diagrama de Dupla Massa Descarga Sólida X Descarga Líquida Acumulada

As taxas de aumento de transporte de sedimento foram obtidas pela utilização dos coeficientes angulares das retas ajustadas a curva de massa. A inclinação da reta i da curva de massa fornece um coeficiente r_i , enquanto que da reta i+1 resulta o coeficiente r_{i+1} . O valor E_c representa o aumento da produção de sedimentos no período de n anos, enquanto que R é a taxa anual, segundo as equações abaixo.



$$E_{C} = \frac{r_{i+1} - r_{i}}{r_{i}}$$

 $(1+R)^{n} = 1 + E_{C}$

Os resultados indicaram que no período mais recente o rio Madeira apresentou uma taxa anual de 1,83% de aumento na produção de sedimento. Certamente este valore deve variar com o tempo, conforme a redução ou o aumento (mais provável) da erosão na bacia, tendo sido proposto, nos estudos de Viabilidade, conservadoramente, um valor de R=2% como representativo da taxa de aumento anual da produção de sedimentos para o estudo de vida útil dos reservatórios.

3.4. CARACTERIZAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO SEDIMENTO DO RIO MADEIRA

A caracterização da granulometria do sedimento do rio Madeira feita nos Estudos de Viabilidade foi feita considerando os dados das medições de descarga sólida realizadas em Porto Velho. O resultado, que serviu de base ao cálculo do peso específico aparente do sedimento, necessário à estimativa de vida útil dos reservatórios, encontra-se apresentado na Tabela 3.8, a seguir.

Tabela 3.8

Rio Madeira em Porto Velho

Porcentagens Ponderadas de Argila, Silte e Areia da Amostras Analisadas

Sólidos	% de Argila	% de Silte	% de Areia	% do Total
Solidos	Pc	Pm	Ps	Р
em Suspensão	25,0	60,1	9,3	94,4
do Leito	0,1	0,4	5,2	5,7
Total	25,0	60,6	14,4	100,0

Para aplicação do modelo HEC-6, é necessário maior detalhamento da granulometria, sendo que esse assunto será tratado no capítulo dedicado à modelagem do rio Madeira.



4. CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO ESTIRÃO FLUVIAL DE INTERESSE



4.1. METODOLOGIA E CRITÉRIOS

Durante os estudos de Viabilidade foram realizados estudos de remanso dos reservatórios de Santo Antônio e Jirau, objetivando a análise dos perfis de linha d'água do rio Madeira na situação atual e após a implantação dos reservatórios. Aproveitando os resultados desses estudos, a caracterização hidráulica do estirão fluvial de interesse aos estudos sedimentológicos foi feita determinando-se as velocidades médias nas diversas seções do rio Madeira, para as condições atuais do escoamento, e depois comparando estas velocidades com aquelas que irão ocorrer após a implantação dos reservatórios.

Os estudos de remanso dos reservatórios foram realizados com o emprego do programa HEC-RAS, desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers (1997), que calcula perfis de linhas d'água e respectivas linhas de energia numa abordagem permanente, unidimensional e gradualmente variada.

Através desse programa, pode-se calcular o perfil da linha d'água de cursos d'água, em condições naturais e artificiais, qualquer que seja a seção transversal, regime de escoamento e descargas. O procedimento de cálculo baseia-se na aplicação das equações de conservação de massa e de energia entre as seções de cálculo, sendo as perdas por atrito estimadas pela fórmula de Manning.

A técnica de aferição do modelo consiste em tornar compatíveis os valores dos níveis d'água obtidos por simulação com os observados nos perfis instantâneos ao longo do trecho de rio em estudo, para uma determinada descarga.

Os principais dados e parâmetros utilizados pelo programa HEC-RAS são apresentados a seguir:

- Seções Transversais As seções transversais ao longo do curso d'água devem ser posicionadas onde ocorrem mudanças de declividade, de área de escoamento, de rugosidade do canal e obstáculos localizados.
- Distâncias entre Seções Transversais As distâncias entre as seções transversais devem ser medidas no centro do rio, a margem direita e a margem esquerda, de forma a representar trechos em curva e permitir a quantificação das perdas de cargas devido a essas singularidades.
- Descargas O programa HEC-RAS permite a utilização de diferentes descargas em cada trecho de forma a representar a contribuição de afluentes ao curso principal.
- Condição de contorno Os cálculos são iniciados em uma seção de controle do rio, com propagação em direção de montante se o regime de escoamento for subcrítico, ou em direção oposta se for supercrítico. O nível d'água para a primeira seção de cálculo, seção de controle, deve ser informado através de uma elevação conhecida ou pelo nível d'água referente à profundidade crítica para uma certa descarga.



- Perdas de Carga por Atrito Para determinação das perdas de carga por atrito entre as seções de cálculo é utilizada a fórmula de Manning, na qual o coeficiente de rugosidade é função de diversos fatores, tais como vegetação, material do leito, configuração e nível d'água no canal, etc. Normalmente três valores para o coeficiente de rugosidade são suficientes para a caracterização de uma seção; são eles os referentes à calha principal do rio e as duas margens. A adequada determinação dos coeficientes de rugosidade em cada trecho de rio é um dos fatores mais importantes para obtenção de um modelo que represente os fenômenos hidráulicos.
- Perdas de Carga por Transição As perdas de carga devido à variação da área de escoamento, por expansão ou contração, são calculadas através da aplicação de coeficientes de perda de carga que devem ser informados ao modelo para cada seção. Esses coeficientes multiplicam a diferença absoluta das cargas cinéticas entre as seções transversais para obtenção da perda de energia causada pela transição.

4.2. DADOS BÁSICOS

Para o desenvolvimento desses estudos foram utilizadas diversas informações, apresentadas a seguir:

- Cartas topográficas na escala 1:100.000, DSG, folhas:
 - SC-20-V-B-V Porto Velho;
 - SC-20-V-B-IV Mucuim;
 - SC-20-V-D-I Jaciparaná;
 - SC-20-V-C-III Jirau
 - SC-20-V-C-VMutum paraná;
 - SC-20-V-C-VI Abunã;
- Restituição aerofotogramétrica na escala 1:10.000;
- Restituição aerofotogramétrica na escala 1:2.000 nas áreas da Cachoeira de Santo Antônio e da Cachoeira de Jirau;
- Seções topobatimétricos no rio Madeira, sendo 9 no trecho entre Santo Antônio e Jirau e 18 no trecho entre Jirau e Abunã:
- Seções transversais obtidas diretamente da restituição aerofotogramétrica, sendo 10 no trecho entre Santo Antônio e Jirau e 3 no trecho entre Jirau e Abunã;
- Perfis instantâneos da linha d'água do rio Madeira realizados em 22 de maio de 2002,
 31 de janeiro e 28 de fevereiro de 2003;
- Curvas-chave do rio Madeira a montante do AHE Santo Antônio, a jusante e a montante do AHE Jirau e em Abunã Vila.



No trecho de influência do reservatório de Santo Antônio, com cerca 126 km de extensão, foram utilizadas 19 seções transversais, sendo 9 obtidas diretamente dos levantamentos topobatimétricos e 10 da restituição aerofotogramétrica na escala de 1:10.000.

Já para o reservatório de Jirau, com cerca 128 km de extensão, foram utilizadas 21 seções transversais, sendo 18 obtidas diretamente dos levantamentos topobatimétricos e 3 da restituição aerofotogramétrica na escala de 1:10.000.

As Tabelas 4.1 e 4.2 apresentam as seções transversais do rio Madeira consideradas nos estudos de remanso dos aproveitamentos de Santo Antônio e Jirau, respectivamente. Nesses quadros, as seções indicadas em negrito correspondem às seções com levantamento topobatimétrico e a numeração entre parênteses corresponde à numeração da seção na fase de inventário.

Tabela 4.1
Estudo de Remanso do Reservatório da UHE Santo Antônio Identificação e Distâncias das Seções Transversais Utilizadas

Seção	Distância entre Seções (km)	Distância Acumulada (km)	Observações
5		0	UHE Santo Antônio - Cachoeira Santo Antônio Montante
6	6.777	6.777	
7	7.726	14.503	
8	2.650	17.153	Cachoeira Teotônio
9	6.500	23.653	
10	4.977	28.630	
11	1.0312	38.942	
12	7.925	46.867	Cachoeira Morrinho
13	11.047	57.914	
14	6.011	63.925	Ilha Liverpool
15	5.772	69.697	Ilha São Patrício
16	7.312	77.009	Ilha Niterói
17	7.929	84.938	
18	5.416	90.354	Ilha Santana
19	12.103	102.457	Ilha da Pedra
20	6.198	108.655	
21	4.757	113.412	
22	5.083	118.495	Cachoeira do Inferno
23	7.312	125.807	UHE Jirau - Cachoeira Jirau Jusante



Tabela 4.2
Estudo de Remanso do Reservatório da UHE Jirau
Identificação e Distâncias das Seções Transversais Utilizadas

Seção	Distância entre Seções (km)	Distância Acumulada (km)	Observações
28		0	AHE Jirau - Cachoeira Jirau Montante
29	18.331	18.331	
30	15.217	33.548	
31	9.420	42.968	
32	2.133	45.101	Ilha Três Irmãos
33	970	46.071	Cachoeira Três Irmãos
34	1.995	48.066	
34,5 (S109)	9.373	57.439	
35	4.536	61.975	
36	7.232	69.207	
37	3.673	72.880	
38	3.292	76.172	Cachoeira do Paredão
38,5 (S115)	6.172	82.344	
39	8.421	90.765	
40	4.940	95.705	
40,5 (S115)	3.331	99.036	Cachoeira do Pederneira
41	6.515	105.551	
41,5 (S117)	4.169	109.720	
42	7.510	117.230	
42,3 (S119)	1.747	118.977	Rio Abunã
42,6 (S121)	9.325	128.302	Estação Fluviométrica Abunã Vila

4.3. CALIBRAÇÃO DO MODELO HEC-RAS

O resultado da calibração do modelo HEC-RAS é expresso pela relação de parâmetros (coeficientes de Manning e coeficientes de contração e expansão) adotados em cada seção. Os parâmetros resultantes do processo de calibração encontram-se apresentados nos relatórios finais dos Estudos de Viabilidade das Usinas Hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau. São tabelas extensas que não precisam ser reproduzidas no presente documento. O resultado prático dessa calibração, que corresponde à comparação entre os perfis de linha d'água simulados e os níveis d'água levantados no campo, é apresentado nos dois subitens seguintes, um para cada trecho estudado.



4.3.1 Reservatório de Santo Antônio

A calibração do modelo de escoamento em condições naturais - aferição dos coeficientes de rugosidade e de perda de carga - foi realizada para os perfis de linha d'água instantâneos medidos em 31 de janeiro e 28 de fevereiro de 2003.

A Tabela 4.3 apresenta, para cada perfil instantâneo levantado, os níveis d'água observados e os simulados em cada seção.

Tabela 4.3
Calibração do Modelo HEC-RAS no Reservatório da UHE Santo Antônio
Comparação entre os Níveis d'Água Observados e Simulados

	31/01/2	2003 - Q = 31.02	26 m³/s	28/02/2	2003 - Q = 29.8	69 m³/s
Seção	NA Observado (m)	NA Simulado (m)	Diferença (m)	NA Observado (m)	NA Simulado (m)	Diferença (m)
5		58,76			58,50	
6		59,54			59,26	
7	60,31	60,45	-0,14	59,86	60,18	-0,32
8		60,6			60,35	
9	64,55	64,72	-0,17	64,27	64,50	-0,23
10		65,96			65,75	
11		69,34			69,08	
12		70,76			70,48	
13		71,88			71,62	
14		72,57			72,32	
15		73,04			72,78	
16		73,28			73,02	
17		73,6			73,33	
18		73,84			73,57	
19		74,44			74,17	
20		74,75			74,47	
21		74,92			74,64	
22		75,05			74,78	
23	75,78	75,55	0,23	75,42	75,17	0,25

4.3.2 Reservatório de Jirau

A calibração do modelo de escoamento em condições naturais - aferição dos coeficientes de rugosidade e de perda de carga - foi realizada para perfis de linha d'água instantâneos medidos em 22 de maio de 2002, 31 de janeiro e 28 de fevereiro de 2004.



A Tabela 4.4 apresenta, para cada perfil instantâneo levantado, os níveis d'água observados e os simulados em cada seção.

Tabela 4.4
Calibração do Modelo HEC-RAS no Reservatório da UHE Jirau
Comparação entre os Níveis d'Água Observados e Simulados

	22/05/200	02 - Q = 18.6	605 m³/s	28/02/20	03 - Q=29.8	69 m³/s	31/01/20	03 - Q=31.0	26 m³/s
Seção	NA Observado (m)	NA Simulado (m)	Diferença (m)	NA Observado (m)	NA Simulado (m)	Diferença (m)	NA Observado (m)	NA Simulado (m)	Diferença (m)
28		79,54			82,59			83,11	
29		80,86			84,31			84,91	
30		81,15			84,68			85,29	
31		81,48			85,07			85,69	
32		81,72			85,25			85,88	
33		81,88			85,34			85,96	
34		82,06			85,44			86,05	
34,5	82,63	83,04	-0,41	85,57	86,28	0,71	86,03	86,89	0,86
35		83,72			86,94			87,58	
36		84,25			87,56			88,13	
37		84,49			87,80			88,34	
38		84,8			88,21			88,76	
38,5	86,31	86,1	0,21	89,32	89,34	0,02	89,83	89,77	-0,06
39		87,39			90,65			91,03	
40		87,62			90,96			91,35	
40,5	88,37	88,17	0,20	91,45	91,29	0,16	91,93	91,68	-0,25
41		88,69			91,66			92,06	
41,5	88,82	88,81	0,01	91,94	91,84	0,10	92,43	92,26	-0,17
42		89,19		92,05	92,34	0,29	92,57	92,78	0,21
42,3	89,05	89,25	-0,2		92,43			92,89	
42,6	89,31	89,38	-0,07	92,45	92,65	0,20	92,93	93,12	0,19

4.4. SIMULAÇÃO DOS PERFIS DE LINHA D'ÁGUA NOS DOIS TRECHOS SIMULADOS

Para subsidiar a caracterização hidráulica do estirão do rio Madeira de interesse ao presente trabalho, foram realizadas simulações dos perfis de linha d água ao longo dos dois trechos modelados, considerando diversas vazões em trânsito e também as situações com e sem reservatório.

Os resultados permitiram uma análise comparativa entre as velocidades de escoamento com e sem os reservatórios, para diversas situações hidrológicas.



4.4.1. Perfis do Trecho Correspondente ao Reservatório de Santo Antônio

A Tabela 4.5 apresenta os perfis de nível d'água correspondentes a diversas vazões do rio Madeira, ao longo do estirão correspondente ao futuro reservatório de Santo Antônio. A Tabela 4.6 apresenta os mesmos resultados, agora considerando a presença do reservatório.

A Figura 4.7 ilustra os resultados obtidos na simulação, apresentando, para cada três condições hidrológicas distintas (estiagem, vazão média e cheia), os perfis de linha d'água com e sem a presença do reservatório.

A Figura 4.8 apresenta os perfis de velocidade correspondentes às três condições hidrológicas simuladas, com e sem a presença do reservatório.



Tabela 4.5 Estudos de Remanso do Rio Madeira entre AHE Santo Antônio e AHE Jirau Perfis da Linha d'Água em Condições Naturais

Sooão				Vazão	(m³/s)				
Seção	5000	10000	18000	39100	48600	61200	72600	84000	
5	47,51	50,61	54,51	60,79	62,84	65,17	66,98	68,62	
6	47,85	51,16	55,15	61,66	63,78	66,11	67,92	69,51	
7	49,38	52,51	56,12	62,51	64,6	66,89	68,71	70,31	
8	54,23	55,15	56,3	62,47	64,44	66,61	68,34	69,84	
9	58,16	60,26	62,24	66,14	67,73	69,52	71,07	72,41	
10	58,85	61,18	63,36	67,34	68,83	70,46	71,88	73,05	
11	60,39	63,24	66,06	70,84	72,35	73,89	75,23	76,25	
12	61,41	64,32	67,29	72,33	73,92	75,53	76,94	78,01	
13	62,6	65,49	68,47	73,41	74,97	76,57	77,95	79,01	
14	63,18	66,16	69,2	74,05	75,56	77,1	78,42	79,41	
15	63,48	66,53	69,63	74,56	76,09	77,67	79,02	80,07	
16	63,63	66,77	69,9	74,84	76,36	77,91	79,22	80,26	
17	63,82	67,06	70,24	75,24	76,81	78,42	79,75	80,84	
18	64	67,31	70,52	75,54	77,12	78,73	80,06	81,16	
19	64,43	67,88	71,15	76,27	77,92	79,59	80,94	82,09	
20	64,7	68,18	71,45	76,6	78,24	79,92	81,26	82,43	
21	64,79	68,31	71,61	76,78	78,43	80,09	81,42	82,58	
22	64,86	68,42	71,75	76,95	78,61	80,28	81,59	82,76	
23	65,06	68,74	72,14	77,45	79,16	80,9	82,26	83,49	



Tabela 4.6 Estudos de Remanso do Rio Madeira entre AHE Santo Antônio e AHE Jirau Perfis da Linha d'Água Com Reservatório de Santo Antônio na El. 70,00 m

Sooão				Vazão	(m³/s)			
Seção	5000	10000	18000	39100	48600	61200	72600	84000
5	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
6	70,00	70,01	70,04	70,19	70,26	70,41	70,57	70,76
7	70,01	70,02	70,08	70,37	70,51	70,79	71,10	71,45
8	70,00	70,02	70,06	70,29	70,36	70,57	70,79	71,04
9	70,02	70,07	70,21	70,94	71,28	71,89	72,51	73,21
10	70,02	70,09	70,28	71,19	71,63	72,31	72,98	73,75
11	70,05	70,20	70,63	72,50	73,53	74,65	75,59	76,65
12	70,08	70,30	70,90	73,34	74,73	76,08	77,16	78,33
13	70,10	70,39	71,15	73,95	75,56	76,97	78,11	79,27
14	70,12	70,46	71,34	74,32	76,01	77,41	78,42	79,41
15	70,14	70,54	71,53	74,75	76,49	77,94	79,02	80,07
16	70,16	70,59	71,65	75,00	76,72	78,16	79,22	80,26
17	70,17	70,65	71,80	75,38	77,14	78,64	79,75	80,84
18	70,19	70,69	71,91	75,65	77,42	78,93	80,06	81,16
19	70,22	70,81	72,21	76,34	77,92	79,59	80,94	82,09
20	70,24	70,87	72,36	76,60	78,24	79,92	81,26	82,43
21	70,25	70,91	72,43	76,78	78,43	80,09	81,42	82,58
22	70,25	70,93	72,50	76,95	78,61	80,28	81,59	82,76
23	70,28	71,02	72,71	77,45	79,16	80,90	82,26	83,49



Figura 4.7
Perfis de Linha d'Água Simulados entre AHE Santo Antônio e AHE Jirau

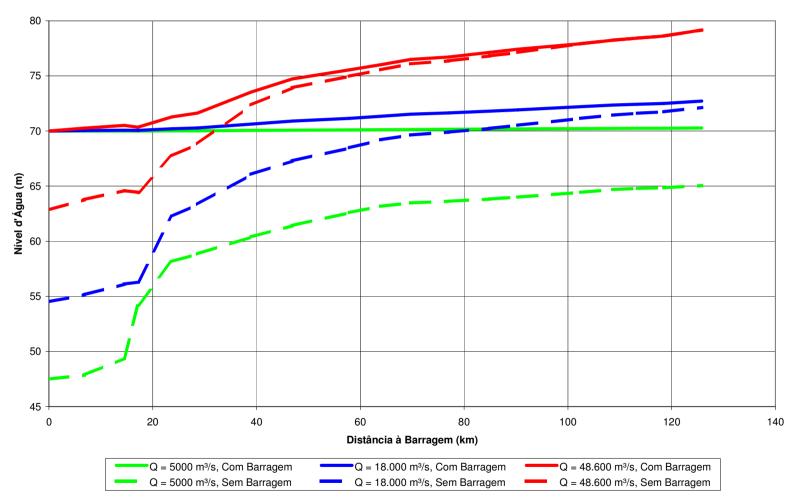
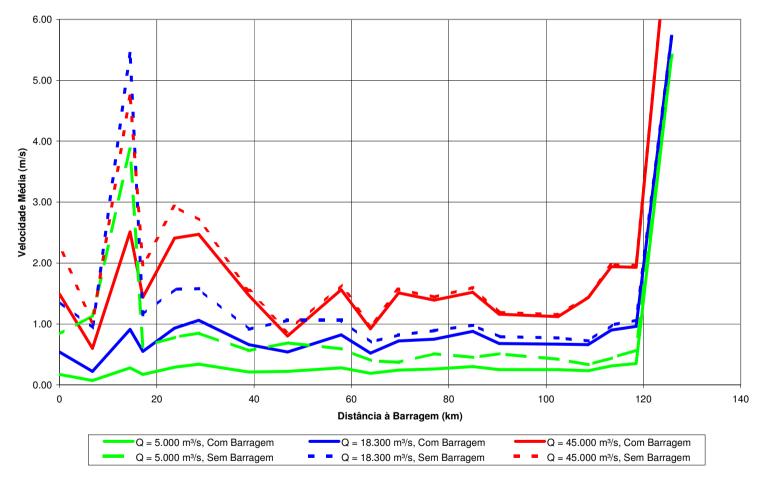




Figura 4.8
Perfis de Velocidades d'Água Simulados entre AHE Santo Antônio e AHE Jirau





4.4.2. Perfis do Trecho Correspondente ao Reservatório de Jirau

A Tabela 4.9 apresenta os perfis de nível d'água correspondentes a diversas vazões do rio Madeira, ao longo do estirão correspondente ao futuro reservatório de Santo Antônio.

A Tabela 4.10 apresenta os mesmos resultados, agora considerando a presença do reservatório. Nesse quadro, os níveis d'água do reservatório variam em função da vazão em trânsito, de acordo com a política de operação estabelecida para o empreendimento, que prevê o deplecionamento do reservatório durante os meses de estiagem.

A Figura 4.11 ilustra os resultados obtidos na simulação, apresentando, para cada três condições hidrológicas distintas (estiagem, vazão média e cheia), os perfis de linha d'água com e sem a presença do reservatório.

A Figura 4.12 apresenta os perfis de velocidade correspondentes às três condições hidrológicas simuladas, com e sem a presença do reservatório.



Tabela 4.9
Estudos de Remanso do Rio Madeira – Trecho: Jirau - Abunã
Perfis da Linha d'Água em Condições Naturais

Socia							Va	azão (m³/	's)						
Seção	5.600	6.800	10.600	10.400	15.900	16.600	22.700	23.900	29.100	30.200	33.600	48.800	60.200	71.400	82.600
28	74,11	74,71	76,46	76,37	78,63	78,88	80,77	81,10	82,41	82,67	83,41	86,18	87,93	89,45	90,83
29	75,61	76,44	78,84	78,73	81,31	81,60	83,82	84,22	85,75	86,04	86,91	90,29	92,32	94,27	96,08
30	75,97	76,84	79,33	79,23	81,88	82,17	84,49	84,92	86,53	86,84	87,74	91,22	93,34	95,38	97,26
31	76,25	77,13	79,63	79,52	82,18	82,47	84,82	85,26	86,92	87,23	88,15	91,70	93,90	96,01	97,95
32	76,47	77,34	79,78	79,67	82,31	82,60	84,95	85,39	87,06	87,37	88,30	91,89	94,12	96,26	98,24
33	76,66	77,50	79,89	79,79	82,38	82,67	85,01	85,44	87,11	87,42	88,35	91,94	94,17	96,31	98,28
34	76,78	77,63	80,00	79,89	82,47	82,75	85,07	85,51	87,17	87,49	88,41	91,97	94,16	96,26	98,20
34.5	77,26	78,14	80,52	80,42	82,99	83,27	85,62	86,07	87,79	88,12	89,06	92,68	94,96	97,14	99,16
35	77,56	78,46	80,85	80,75	83,35	83,64	86,03	86,49	88,25	88,58	89,55	93,24	95,58	97,78	99,80
36	77,74	78,65	81,07	80,96	83,60	83,89	86,34	86,81	88,63	88,97	89,96	93,78	96,23	98,52	100,63
37	77,83	78,75	81,17	81,06	83,70	83,99	86,45	86,92	88,74	89,09	90,08	93,91	96,35	98,65	100,74
38	77,95	78,87	81,31	81,20	83,86	84,15	86,65	87,12	88,98	89,33	90,35	94,27	96,88	99,22	101,37
38.5	78,49	79,35	81,81	81,71	84,40	84,69	87,19	87,66	89,46	89,79	90,71	94,57	97,21	99,52	101,65
39	79,62	80,64	82,82	82,72	85,33	85,62	88,11	88,56	90,22	90,51	91,26	94,94	97,51	99,79	101,92
40	79,85	80,87	83,02	82,93	85,53	85,82	88,33	88,79	90,48	90,78	91,55	95,27	97,87	100,12	102,26
40.5	80,41	81,39	83,45	83,36	85,97	86,26	88,79	89,24	90,82	91,08	91,85	95,61	98,25	100,54	102,72
41	80,98	81,96	83,99	83,90	86,53	86,82	89,40	89,84	91,28	91,50	92,28	96,01	98,63	100,92	103,09
41.5	81,24	82,19	84,19	84,10	86,72	87,01	89,61	90,05	91,53	91,76	92,55	96,34	99,01	101,35	103,57
42	81,93	82,83	84,80	84,71	87,31	87,60	90,21	90,66	92,19	92,44	93,26	97,07	99,70	101,99	104,17
42.3	81,96	82,86	84,85	84,76	87,38	87,68	90,30	90,76	92,31	92,56	93,41	97,26	99,93	102,25	104,45
42.6	82,10	83,00	85,01	84,92	87,56	87,87	90,55	91,01	92,61	92,87	93,74	97,69	100,39	102,73	104,95

4.14



Tabela 4.10
Estudos de Remanso do Rio Madeira – Trecho: Jirau - Abunã
Perfis da Linha d'Água Com o Reservatório do AHE Jirau

							Va	azão (m³/	/s)						
Seção	5600	6800	10600	10400	15900	16600	22700	23900	29100	30200	33600	48800	60200	71400	82600
Seçao	Nível d'água no Reservatório do AHE Jirau														
	82,5	83	85	85	87	87,5	89,5	90	90	90	90	90	90	90	92
28	82,50	83,00	85,00	85,00	87,00	87,50	89,50	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	90,00	92,00
29	82,62	83,16	85,26	85,25	87,38	87,87	89,98	90,48	90,69	90,74	90,90	91,73	92,50	94,27	96,08
30	82,66	83,21	85,34	85,33	87,50	87,99	90,12	90,61	90,88	90,94	91,14	92,14	93,34	95,38	97,26
31	82,69	83,24	85,38	85,37	87,56	88,05	90,20	90,69	90,99	91,06	91,28	92,38	93,90	96,01	97,95
32	82,70	83,25	85,40	85,38	87,59	88,08	90,23	90,73	91,04	91,12	91,34	92,50	94,12	96,26	98,24
33	82,70	83,26	85,40	85,39	87,60	88,09	90,24	90,74	91,06	91,13	91,36	92,52	94,17	96,31	98,28
34	82,71	83,26	85,41	85,40	87,60	88,09	90,25	90,74	91,06	91,13	91,36	92,49	94,16	96,26	98,20
34.5	82,76	83,32	85,49	85,47	87,71	88,20	90,37	90,87	91,23	91,31	91,56	92,81	94,96	97,14	99,16
35	82,80	83,37	85,56	85,54	87,81	88,30	90,50	90,99	91,40	91,49	91,78	93,24	95,58	97,78	99,80
36	82,83	83,41	85,61	85,59	87,90	88,39	90,62	91,12	91,57	91,68	92,00	93,78	96,23	98,52	100,63
37	82,84	83,42	85,63	85,61	87,93	88,42	90,65	91,14	91,61	91,71	92,03	93,91	96,35	98,65	100,74
38	82,86	83,45	85,67	85,64	87,99	88,48	90,74	91,24	91,75	91,86	92,21	94,27	96,88	99,22	101,37
38.5	82,93	83,54	85,79	85,76	88,15	88,63	90,86	91,35	91,88	92,00	92,38	94,57	97,21	99,52	101,65
39	83,11	83,76	86,04	86,01	88,44	88,91	91,03	91,50	92,07	92,19	92,59	94,94	97,51	99,79	101,92
40	83,15	83,81	86,10	86,06	88,52	88,99	91,13	91,60	92,20	92,33	92,75	95,27	97,87	100,12	102,26
40,5	83,24	83,91	86,23	86,19	88,69	89,15	91,26	91,73	92,36	92,50	92,96	95,61	98,25	100,54	102,72
41	83,38	84,08	86,43	86,38	88,94	89,39	91,43	91,90	92,58	92,73	93,22	96,01	98,63	100,92	103,09
41.5	83,44	84,14	86,50	86,45	89,03	89,48	91,55	92,01	92,73	92,89	93,40	96,34	99,01	101,35	103,57
42	83,65	84,38	86,75	86,70	89,32	89,77	91,88	92,35	93,16	93,33	93,89	97,07	99,70	101,99	104,17
42.3	83,66	84,40	86,78	86,73	89,37	89,82	91,95	92,42	93,25	93,43	94,00	97,26	99,93	102,25	104,45
42.6	83,71	84,46	86,84	86,79	89,46	89,91	92,07	92,54	93,41	93,60	94,20	97,69	100,39	102,73	104,95



Figura 4.11
Perfis de Linha d'Água Simulados – Trecho: Jirau - Abunã

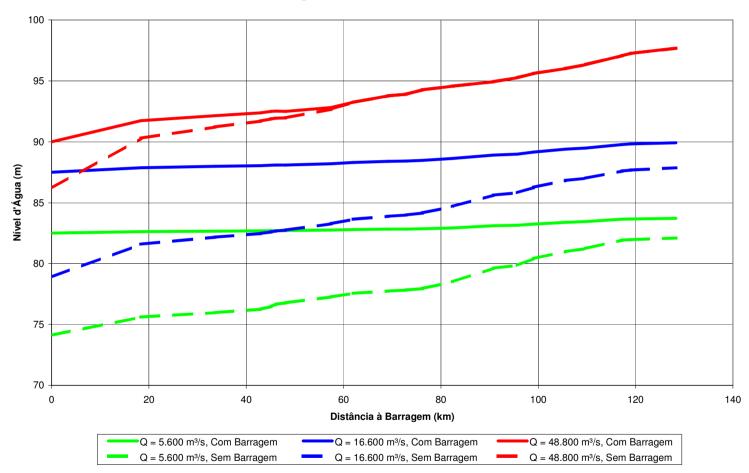
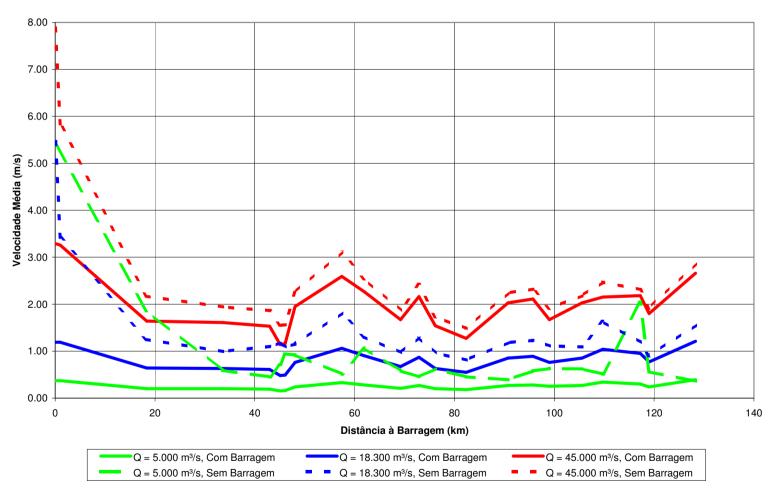




Figura 4.12
Perfis de Velocidade Simulados – Trecho: Jirau - Abunã





4.5. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO COM E SEM RESERVATÓRIO

A partir dos perfis de linha d'água e de velocidades simulados, 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.

A primeira análise foi feita pela simples apreciação dos perfis de linha d'água e de velocidades apresentados nas Figuras 4.7, 4.8, 4.11 e 4.12. Percebe-se, claramente, 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.

Estes gráficos de velocidades apresentam alguns pontos com velocidades acentuadas, ocorrendo às vezes, em algumas seções, velocidades para vazões baixas superiores às velocidades para vazões mais altas, ao contrário do que seria de se esperar. Não se trata, entretanto, de erros de simulação: isto se explica pela existência de pequenas corredeiras localizadas, muito comuns neste trecho do rio Madeira, que só são perceptíveis para baixas vazões; elas ficam afogadas quando as vazões aumentam, e as velocidades locais diminuem.

Objetivando melhor quantificar estas variações de velocidade, apresenta-se, no Quadro 4.13, 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 4.8 e 4.12.

Tabela 4.13
Velocidades Médias Simuladas ao Longo do Rio Madeira nos Trechos dos
Futuros Reservatórios de Santo Antônio e Jirau

			des (m/s) no imo à Barraç		Velocidades (m/s) na Porção Restante do Reservatório			
	Vazão (m³/s)	Sem Reserv.	Com Reserv.	Variação	Sem Reserv.	Com Reserv.	Variação	
UHE	5.000	1.27	0.22	(1.05)	0.54	0.26	(0.28)	
SANTO ANTÔNIO	18.000	2.01	0.70	(1.31)	0.90	0.73	(0.17)	
	30.000	2.32	1.26	(1.06)	1.21	1.11	(0.10)	
	48.600	2.61	1.82	(0.79)	1.45	1.4	(0.05)	
	5.600	2.62	0.31	(2.31)	0.68	0.24	(0.44)	
UHE	16.600	4.57	1.19	(3.38)	1.17	0.76	(0.41)	
JIRAU	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)	

A análise desses resultados, para o reservatório de Santo Antônio, permite concluir que:



- A redução de velocidades médias de escoamento ao longo da maior parte do reservatório é pequena, alcançando valores sempre inferiores a 0,30 m/s.
- Estas reduções podem afetar a capacidade de transporte por arrasto, mas, devido à pequena extensão do reservatório, não devem propiciar condições favoráveis para depósito do material transportado em suspensão.
- No trecho mais próximos à barragem, abaixo que hoje se caracteriza por apresentar corredeiras, as velocidades de escoamento sofrerão reduções significativas, após a implantação da barragem. Trata-se do trecho mais profundo do reservatório, a jusante da cachoeira de Teotônio.
- Neste trecho, a capacidade de transporte por arrasto ficará muito reduzida, sendo de se esperar que todo o material mais fino transportado pelo fundo aí se deposite.
- Deverá ocorrer também depósito de material em suspensão junto à barragem de Santo Antônio, pois as velocidades médias nesse trecho ficarão inferiores a 1 m/s na maior parte do tempo.

Considerando o mesmo tipo de análise, as principais conclusões relativas ao reservatório de Jirau são:

- O trecho próximo à barragem de Jirau onde ocorrem maiores reduções de velocidade é bastante reduzido, apresentando extensão inferior a 20 km. As reduções de velocidades nesse trecho são elevadas, mas as velocidades com reservatório ainda são superiores a 1,0 m/s..
- As reduções de velocidade de escoamento ao longo de todo o restante do reservatório, apesar de não ultrapassarem os 0,50 m/s, serão mais significativas que no reservatório de Santo Antônio.
- Por esse motivo, espera-se maior propensão ao assoreamento no reservatório de Jirau que no de Santo Antônio.

Esta análise das características hidráulicas do trecho do rio Madeira a ser afetado diretamente pela implantação dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santa Antônio e Jirau teve por objetivo apenas tentar identificar segmentos mais propícios ao assoreamento, não permitindo nenhuma conclusão quanto à quantidade de sedimento que pode vir a ser depositado. Esta matéria será tratada no capítulo 5, onde são apresentados os estudos de vida útil dos dois reservatórios.

Quanto à possível distribuição dos sedimentos pelos reservatórios e à sua granulometria, o assunto será abordado no capítulo 6.

Com base nas características do estirão fluvial analisado, espera-se que o assoreamento no reservatório de Santo Antônio, caso ocorra, deverá ser localizado próximo ao barramento, particularmente a jusante da cachoeira de Teotônio. No caso





do reservatório de Jirau, mais propenso a ser assoreado, os depósitos que ocorrerem deverão se distribuir mais uniformemente ao longo de todo o reservatório.



5. AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO DOS RESERVATÓ	RIOS



5.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada a avaliação do assoreamento dos reservatórios de Santo Antônio e Jirau, através da metodologia empregada correntemente em estudos de vida útil.

Esta introdução apresenta as partes comuns aos estudos de assoreamento dos dois reservatórios, ou seja, a metodologia e a base de dados empregada. Os dois itens seguintes apresentam os resultados obtidos para cada reservatório.

5.1.1. Dados Básicos

No desenvolvimento dos estudos hidrossedimentológicos dos reservatórios dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau, foram utilizadas os seguintes dados:

- curvas cota x área e cota x volume do reservatório, apresentadas nas Tabelas 5.1 e
 5.2;
- série de descargas médias mensais na estação de Porto Velho, apresentada no item 3.1 (Tabela 3.1);
- informações referentes às medições de descarga sólida realizadas, tais como:
 - curva-chave de sedimentos na estação de Porto Velho, item 3.2;
 - a taxa anual de aumento na produção de sedimentos, item 3.3;
 - granulometria e o peso específico médio inicial do sedimento, item 3.4;

Tabela 5.1

AHE Santo Antônio

Curvas Cota x Área, e Cota x Volume do Reservatório

Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)
30.00	0.00	0.00
31.00	0.64	0.32
32.00	1.27	1.27
33.00	1.78	2.80
34.00	2.07	4.72
35.00	2.37	6.94
36.00	2.75	9.50
37.00	3.21	12.47
38.00	3.66	15.91
39.00	4.12	19.80
40.00	4.58	24.15
41.00	5.05	28.97



Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)		
42.00	5.64	34.31		
43.00	6.22	40.24		
44.00	6.75	46.73		
45.00	7.10	53.65		
46.00	7.45	60.92		
47.00	8.14	68.72		
48.00	8.91	77.24		
49.00	9.80	86.60		
50.00	10.49	96.74		
51.00	11.53	107.75		
52.00	13.76	120.39		
53.00	16.30	135.42		
54.00	20.75	153.94		
55.00	25.12	176.88		
56.00	30.00	204.44		
57.00	35.18	237.03		
58.00	40.04	274.64		
59.00	47.43	318.38		
60.00	58.31	371.24		
61.00	79.51	440.15		
62.00	102.28	531.05		
63.00	133.32	648.84		
64.00	159.08	795.04		
65.00	180.30	964.73		
66.00	197.41	1,153.58		
67.00	214.18	1,359.38		
68.00	226.80	1,579.87		
69.00	246.23	1,816.38		
70.00	271.26	2,075.13		
71.00	306.54	2,364.03		
72.00	344.95	2,689.78		
73.00	395.27	3,059.88		
74.00	438.52	3,476.78		
75.00	480.40	3,936.24		



Tabela 5.2 AHE Jirau Curvas Cota x Área, e Cota x Volume do Reservatório

Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)
65,00	0,00	0,00
66,00	5,31	2,66
67,00	10,61	10,61
68,00	15,66	23,75
69,00	20,62	41,89
70,00	25,86	65,13
71,00	31,10	93,61
72,00	36,07	127,19
73,00	41,39	165,92
74,00	46,48	209,85
75,00	51,77	258,98
76,00	56,91	313,31
77,00	62,18	372,85
78,00	67,86	437,87
79,00	73,56	508,58
80,00	79,88	585,31
81,00	86,31	668,40
82,00	93,01	758,07
83,00	100,85	855,00
84,00	111,96	961,40
85,00	128,23	1.081,50
86,00	147,65	1.219,44
87,00	171,30	1.378,91
88,00	197,23	1.563,18
89,00	224,47	1.774,02
90,00	258,00	2.015,26
91,00	305,44	2.296,98
92,00	375,60	2.637,50
93,00	433,55	3.042,07
94,00	492,68	3.505,19
95,00	552,00	4.027,52



5.1.2. Metodologia

Os modelos de avaliação do assoreamento em reservatórios permitem obter a distribuição de sedimentos ao longo do mesmo (distribuição por cotas) e alturas de depósito no pé da barragem, segundo o "método empírico de redução de área" desenvolvido por Borland & Miller a partir de levantamentos realizados em diversos reservatórios dos EUA (ver Strand, 1974 e Carvalho, 1994).

Os dados básicos para a avaliação do assoreamento são os níveis e volumes característicos do reservatório, as curvas cota x área e cota x volume, os valores de descarga sólida média, o peso específico aparente médio dos depósitos e a eficiência de retenção de sedimentos, além da taxa de aumento anual na produção de sedimentos.

As equações básicas para a avaliação do assoreamento são:

$$S = \frac{D_{st} \cdot E_r}{\gamma_{ap}} = \frac{365 \cdot Q_{st} \cdot E_r}{\gamma_{ap}}$$

е

$$T = \frac{V_{res}}{S}$$

onde:

S - volume de sedimento retido no reservatório (m³/ano);

D_{st} - deflúvio sólido total médio anual afluente ao reservatório (t/ano);

E_r - eficiência de retenção do reservatório ao sedimento afluente ao lago;

 $\gamma_{\rm ap}$ - peso específico aparente médio dos depósitos (t/m³);

Q_{st} - descarga sólida total média afluente ao reservatório (t/dia);

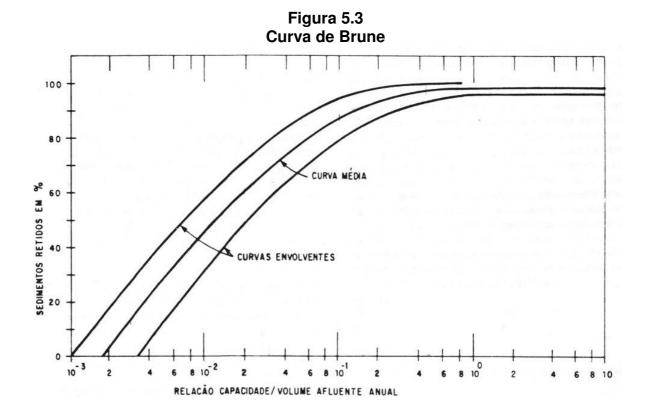
T - tempo de assoreamento total do reservatório ou de um volume característico (anos);

V_{res} - volume total ou outro característico do reservatório (m³).

Para a obtenção dos valores da eficiência de retenção E_r utiliza-se a curva de Brune, apresentada na Figura.5.3.

Os valores de Q_{st} , D_{st} , E_r e γ_{ap} são variáveis com o tempo. A eficiência de retenção do reservatório diminui à medida que aumentam os depósitos e o peso específico aparente se altera com a compactação ao longo do tempo.





5.1.3. Aplicação do Modelo

A partir da série de descargas líquidas médias mensais em Porto Velho (Tabela 3.1) e da curva-chave de sedimentos do rio Madeira em Porto Velho (Figura 3.5), determinouse a série de descargas sólidas em suspensão médias mensais. A série de descargas sólidas totais médias mensais em Porto Velho foi calculada aplicando-se o fator 1,06 que representa a relação média entre as descargas sólidas totais e em suspensão medidas na campanha elaborada por FURNAS, conforme detalhado no item 3.2.

A série de descargas sólidas totais médias mensais no local do AHE Santo Antônio foi admitido igual a de Porto Velho devido a proximidade desses locais. A série assim obtida é apresentada na Tabela 5.4.

A transferência da série de descargas sólidas totais médias mensais de Porto Velho para o local do AHE Jirau foi feita pela relação entre as áreas de drenagem do local do aproveitamento (972.710 km²) e de Porto Velho (988.997 km²). A série assim obtida é proporcional à série de Porto Velho por um fator de 0,9835.



Tabela 5.4 Rio Madeira em Porto Velho Série de Descargas Sólidas Totais Médias Mensais (t/dia)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1931	493.849	1.263.354	2.123.478	1.182.172	597.008	259.577	114.395	51.142	50.303	369.079	439.108	726.442	639.159
1932	2.208.571	2.810.065	4.561.923	2.155.253	1.320.631	634.522	385.773	212.016	130.274	171.037	267.696	422.513	1.273.356
1933	1.359.297	2.150.704	2.446.353	1.814.772	790.052	334.054	145.640	74.077	47.404	70.760	138.475	395.062	813.888
1934	4.329.351	9.743.667	8.142.327	8.785.132	1.347.657	578.547	245.036	115.505	99.767	146.243	508.569	865.434	2.908.936
1935	1.397.036	1.618.386	13.511.712	3.963.021	1.018.407	569.872	261.782	127.962	75.515	78.419	263.257	368.250	1.937.802
1936	1.051.436	1.204.468	1.406.199	1.269.675	529.987	243.597	105.105	50.722	59.789	97.134	230.785	1.066.893	609.649
1937	7.641.513	2.123.478	8.498.825	2.507.452	1.542.014	643.521	287.224	133.183	118.298	171.037	309.556	532.803	2.042.409
1938	3.073.301	2.382.969	1.995.049	1.278.543	626.559	343.708	157.854	73.124	55.841	79.395	197.800	479.278	895.285
1939	995.036	2.456.465	8.051.033	2.787.929	975.319	604.841	484.725	272.161	220.290	245.036	349.382	974.163	1.534.698
1940	3.403.179	7.064.594	16.568.447	3.879.465	2.118.952	991.547	488.368	259.577	191.150	193.137	261.046	330.857	2.979.193
1941	1.177.237	1.529.858	2.191.766	1.439.088	617.643	278.905	165.972	99.767	65.653	117.738	392.521	868.765	745.409
1942	2.164.362	6.126.073	12.128.572	3.501.065	999.696	448.816	197.800	92.972	124.522	298.704	720.182	1.629.399	2.369.347
1943	3.057.600	1.965.578	4.755.058	1.604.655	797.592	406.994	180.025	80.375	42.180	55.841	89.382	209.282	1.103.714
1944	1.045.511	3.911.814	3.100.909	1.886.760	907.944	422.513	182.622	80.375	53.687	91.941	326.082	1.279.812	1.107.498
1945	1.462.930	1.869.395	2.504.031	1.701.607	820.358	351.824	152.316	67.033	44.565	71.231	118.859	204.527	780.723
1947	683.016 650.550	1.599.174	1.486.906 3.963.021	896.690 3.609.620	861.000 1.383.983	790.052 544.118	461.276 253.726	124.522 124.522	80.867 116.062	78.906 346.946	1.087.223	250.818 2.181.095	618.015 1.299.958
1948	6.630.310	3.944.348	4.623.964	1.669.536	956.885	491.106	245.756	123.951	91.427	198.469	650.550	2.976.068	1.883.531
1949	14.393.392	4.728.639	6.182.873	7.424.237	1.140.449	595.056	289.508	133.183	85.338	241.446	864.325	1.691.824	3.147.522
1950	4.515.766	2.200.927	11.968.980	2.236.165	962.632	420.779	187.198	88.365	43.367	52.409	97.134	448.816	1.935.212
1951	1.501.623	2.265.958	18.379.344	2.486.972	1.914.366	749.553	328.466	144.437	98.184	123.951	515.985	2.105.393	2.551.186
1952	2.507.452	5.068.905	5.102.156	1.610.143	689.163	237.874	146.243	71.231	38.688	59.346	120.549	765.452	1.368.100
1953	1.456.294	2.213.162	4.781.577	2.453.091	1.612.889	610.738	265.473	121.679	102.958	177.441	691.217	4.634.360	1.593.407
1954	2.039.538	3.286.551	4.399.257	1.883.862	1.245.713	654.579	290.271	131.435	79.885	60.679	149.877	727.487	1.245.761
1955	1.376.171	6.094.672	4.840.274	6.818.001	1.630.778	708.754	308.776	145.038	98.711	108.353	181.972	487.456	1.899.913
1956	1.021.928	1.569.144	6.597.169	2.094.868	1.155.116	593.105	311.117	145.038	77.932	88.365	167.866	484.725	1.192.198
1957	2.225.420	2.217.756	2.821.178	2.285.182	1.260.829	578.547	253.726	133.183	89.382	100.296	209.964	550.755	1.060.518
1958	826.902	1.355.413	1.560.988	1.665.369	1.052.622	444.395	230.785	117.178	67.958	79.395	220.985	711.865	694.488
1959	1.567.784	2.854.696	2.211.631	1.833.397	1.424.585	617.643	267.696	174.229	129.116	202.501	529.987	723.310	1.044.715
1960	878.783	1.338.628	1.573.227	1.281.081	709.791	355.089	162.834	85.840	49.885	86.847	214.762	1.065.702	650.206
1961	1.595.068	6.784.222	5.471.951	2.202.455	1.368.374	659.627	281.166	121.679	68.422	100.827	197.131	843.342	1.641.189
1962	1.990.619	6.737.125	2.466.605	2.093.366	1.387.894	619.620	270.669	132.599	165.343	237.161	419.912	1.456.294	1.498.101
1963	1.489.578	1.567.784	1.173.540	975.319	499.352	388.299	185.232	85.338	44.967	34.930	62.472	240.015	562.235
1964	489.280	848.847	1.593.700	992.710	1.231.912	786.828	515.985	250.092	141.445	368.250	731.673	1.193.302	762.002
1965 1966	1.106.477	1.189.588	11.031.968	3.680.285	1.257.044	595.056	311.899	154.769	90.915	126.812	328.466	564.114	1.703.116
1967	1.080.033	2.679.029	1.917.280	1.543.366	895.567	533.743	243.597	112.185	91.427	88.365	165.972	307.219	804.815
1968	515.985 494.482	1.071.665	1.432.490 3.886.674	1.519.081	767.514 505.861	386.776	121.308	69.463 35.881	37.457 63.755	42.415 62.699	156.631	261.772 373.576	531.880 763.080
1969	1.382.033	1.594.591	1.773.534	1.641.579	646.599	131.181 393.546	61.343 158.913	63.829	49.885	331.655	141.078 113.541	497.295	735.114
1970	748.179	1.360.829	2.169.977	2.166.833	1.521.077	801.644	255.349	79.952	61.854	61.596	100.641	247.361	797.941
1971	957.849	2.410.446	3.880.806	1.924.884	818.601	279.653	161.318	59.075	48.262	112.689	219.805	593.882	955.606
1972	1.068.384	2.040.100	4.826.489	4.709.828	1.432.746	732.646	211.710	154.457	259.107	290.603	250.602	1.054.068	1.419.228
1973	1.603.558	4.159.521	6.982.846	6.060.621	2.089.513	1.159.762	464.857	209.131	119.941	124.096	435.403	1.140.014	2.045.772
1974	2.460.317	5.034.442	9.982.468	5.290.228	2.170.183	987.203	380.580	152.099	76.398	94.496	301.043	490.315	2.284.981
1975	1.252.970	2.995.492	6.022.264	4.459.407	1.649.110	768.750	450.171	123.637	63.794	155.758	192.534	856.353	1.582.520
1976	1.942.420	5.245.662	7.569.074	5.126.819	1.924.258	873.494	241.205	74.745	53.996	61.512	178.592	431.153	1.976.911
			1		I					l .			



Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1977	1.675.786	2.312.226	8.349.389	5.408.827	2.228.433	995.812	395.699	152.036	90.455	150.176	444.675	1.018.905	1.935.201
1978	1.948.934	3.902.795	8.459.213	4.339.875	1.707.044	857.586	430.285	94.449	37.275	55.339	178.798	1.126.345	1.928.161
1979	2.631.893	5.424.806	6.840.140	9.538.606	4.214.243	1.253.484	370.760	109.598	70.856	74.123	124.957	328.234	2.581.808
1980	1.123.507	1.856.881	4.618.751	5.119.909	2.113.414	1.401.626	494.781	178.946	139.811	181.121	222.244	411.935	1.488.577
1981	889.140	2.213.991	5.508.613	5.488.863	2.328.380	1.524.653	392.203	100.026	56.476	133.413	436.277	1.058.841	1.677.573
1982	2.698.485	6.274.425	11.193.006	15.562.186	7.374.816	2.036.964	1.032.500	316.815	122.983	401.303	911.606	1.404.080	4.110.764
1983	1.762.107	2.986.000	4.999.302	3.097.881	2.800.390	1.608.965	1.206.076	458.964	120.523	85.341	197.372	468.830	1.649.313
1984	1.719.779	4.471.405	10.085.690	17.705.356	8.487.003	1.942.330	728.072	176.360	77.532	85.449	622.685	1.219.380	3.943.420
1985	2.411.849	4.564.125	5.019.026	5.413.820	4.239.706	1.519.595	579.834	296.945	147.832	204.690	418.488	730.162	2.128.839
1986	1.759.648	5.336.680	10.886.226	13.338.107	4.792.313	1.927.281	821.186	335.103	227.019	282.259	212.622	840.463	3.396.576
1987	1.888.901	3.300.485	2.182.241	1.569.494	1.358.144	542.621	191.133	90.533	46.349	72.558	309.683	1.193.622	1.062.147
1988	1.831.830	3.727.002	5.155.067	9.107.758	3.229.626	1.314.880	462.849	103.857	39.081	46.283	87.999	269.029	2.114.605
1989	1.281.415	2.261.827	3.626.794	3.229.265	1.599.843	652.296	304.797	99.948	90.047	69.750	111.475	283.123	1.134.215
1990	1.217.664	2.156.548	2.353.305	1.665.825	1.381.539	960.704	438.406	119.090	76.928	119.293	612.002	1.042.006	1.011.942
1991	2.042.658	4.638.185	5.861.633	4.657.643	1.837.361	1.065.087	400.067	169.048	97.033	135.468	320.299	697.862	1.826.862
1992	1.738.317	1.964.480	7.276.297	6.146.655	3.692.742	1.636.024	1.111.648	287.096	423.018	639.043	752.615	1.416.303	2.257.020
1993	2.985.652	8.281.015	11.814.285	12.823.316	3.954.136	1.112.618	339.881	156.192	131.430	125.507	419.558	1.011.374	3.596.247
1994	1.718.242	3.820.874	4.419.756	4.510.920	1.809.456	621.134	213.226	94.681	34.333	79.262	493.233	1.212.985	1.585.675
1995	1.823.189	2.321.049	6.056.811	5.044.094	1.629.734	602.920	208.952	132.148	36.472	36.806	77.707	507.434	1.539.776
1996	981.616	2.196.368	2.602.785	3.335.478	1.172.197	541.723	197.379	56.891	57.763	99.116	518.468	802.188	1.046.831
1997	1.665.940	3.808.581	12.333.265	13.621.195	4.481.675	1.469.141	535.747	171.991	64.890	121.568	251.518	791.689	3.276.433
1998	1.275.502	1.591.026	4.241.750	4.652.958	1.264.904	397.681	140.057	57.085	50.091	97.962	518.659	1.215.014	1.291.891
1999	1.921.290	4.509.480	4.716.355	4.102.856	1.388.587	562.421	283.491	73.853	35.998	47.247	90.970	499.351	1.519.325
2000	1.017.639	1.784.088	3.092.372	2.062.257	982.438	515.445	206.810	82.840	105.066	53.844	253.555	671.596	902.329
2001	1.563.821	3.931.461	9.887.996	5.444.725	1.781.882	884.416	298.195	114.330	51.778	79.650	350.871	773.526	2.096.888
MÍNIMA	489.280	848.847	1.173.540	896.690	499.352	131.181	61.343	35.881	34.333	34.930	62.472	204.527	34.333
MÉDIA	1.984.326	3.203.121	5.721.690	4.129.370	1.760.933	754.218	333.195	134.670	91.507	141.303	328.900	869.056	1.621.024
MÁXIMA	14.393.392	9.743.667	18.379.344	17.705.356	8.487.003	2.036.964	1.206.076	458.964	423.018	639.043	1.087.223	4.634.360	18.379.344

A partir desse as descargas sólidas totais médias diárias foram estabelecidas para os dois reservatórios:

- Para o reservatório de Santo Antônio adotou-se o valor de Porto Velho, ou seja, 1.621.024 t/dia;
- Para o reservatório de Jirau, este valor foi reduzido proporcionalmente às áreas de drenagem em Jirau e Porto Velho, resultando 1.594.529 t/dia.

Os resultados dos estudos de assoreamento são apresentados no item 5.2, para o reservatório de Santo Antônio, e 5.3, para o reservatório de Jirau.



5.2. ESTUDO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DE SANTO ANTÔNIO

5.2.1. Cálculo do Volume Assoreado

Com o valor da descarga sólida total média diária afluente ao reservatório do AHE Santo Antônio (1.621.024 t/dia, aplicou-se a metodologia descrita anteriormente para o cálculo de sedimentos assoreados nos reservatórios, considerando as hipóteses sem e com o aumento anual no aporte de sedimentos na bacia (R = 0% e 2% ao ano, respectivamente), conforme calculado no item 3.3. Os resultados são apresentados nas Tabelas 5.5 e 5.6, para as duas hipóteses estudadas

Tabela 5.5
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune - R = 0%

_	_			Sedimentos		Volume
Tempo anos	Er %	□ap t/m³	Afluentes hm³ (ao ano)	Retidos hm³ (ao ano)	Acumulados hm³	Disponível no Reservatório hm³
0	19,50	1,007	587,60	0,00	0,00	2.075,13
5	14,04	1,059	558,49	78,42	477,56	1.597,57
10	7,75	1,088	543,93	42,16	751,16	1.323,97
15	4,34	1,106	535,18	23,21	900,39	1.174,74
20	2,42	1,119	528,93	12,78	982,92	1.092,21
25	1,33	1,129	524,07	6,95	1.027,89	1.047,24
30	0,73	1,138	520,12	3,81	1.052,46	1.022,67
35	0,41	1,145	516,79	2,10	1.065,96	1.009,17
40	0,23	1,151	513,91	1,16	1.073,42	1.001,71
45	0,13	1,157	511,38	0,65	1.077,56	997,57
50	0,07	1,162	509,13	0,36	1.079,86	995,27
55	0,04	1,167	507,10	0,20	1.081,15	993,98
60	0,02	1,171	505,25	0,11	1.081,87	993,26
65	0,01	1,175	503,56	0,06	1.082,28	992,85
70	0,01	1,179	502,00	0,04	1.082,51	992,62
75	0,00	1,182	500,55	0,02	1.082,64	992,50
80	0,00	1,185	499,20	0,01	1.082,71	992,42
85	0,00	1,188	497,93	0,01	1.082,75	992,38
90	0,00	1,191	496,75	0,00	1.082,77	992,36
95	0,00	1,194	495,62	0,00	1.082,79	992,34
100	0,00	1,196	494,56	0,00	1.082,79	992,34



Tabela 5.6 Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune - R = 2%

_	_			Sedimentos		
Tempo anos	Er %	γap t/m³	Afluentes hm³ (ao ano)	Retidos hm³ (ao ano)	Acumulados hm³	Disponível no Reservatório hm³
0	19,50	1,007	587,60	0,00	0,00	2.075,13
5	13,68	1,059	616,62	84,36	501,27	1.573,86
10	6,87	1,088	663,05	45,54	798,01	1.277,12
15	3,25	1,106	720,28	23,39	954,20	1.120,93
20	1,36	1,119	785,96	10,72	1.029,90	1.045,23
25	0,52	1,129	859,80	4,49	1.062,94	1.012,19
30	0,18	1,138	942,13	1,70	1.076,08	999,05
35	0,06	1,145	1.033,52	0,58	1.080,78	994,35
40	0,02	1,151	1.134,73	0,17	1.082,27	992,86
45	0,00	1,157	1.246,68	0,04	1.082,68	992,45
50	0,00	1,162	1.370,37	0,01	1.082,78	992,35
55	0,00	1,167	1.506,96	0,00	1.082,80	992,33
60	0,00	1,171	1.657,75	0,00	1.082,80	992,33
65	0,00	1,175	1.824,16	0,00	1.082,80	992,33
70	0,00	1,179	2.007,77	0,00	1.082,80	992,33
75	0,00	1,182	2.210,35	0,00	1.082,80	992,33
80	0,00	1,185	2.433,82	0,00	1.082,80	992,33
85	0,00	1,188	2.680,32	0,00	1.082,80	992,33
90	0,00	1,191	2.952,22	0,00	1.082,80	992,33
95	0,00	1,194	3.252,13	0,00	1.082,80	992,33
100	0,00	1,196	3.582,93	0,00	1.082,80	992,33

5.2.2. Cálculo do Volume Assoreado no Pé da Barragem

Para o cálculo do volume de sedimentos assoreados ao pé do barramento foi aplicado com aplicação do "método empírico de redução de area". Na aplicação desse método, tem-se a necessidade de definir o tipo de reservatório que será formado pelo AHE Santo Antônio através de curva volume x profundidade do reservatório.

A classificação do reservatório do AHE Santo Antônio com base na curva cota x volume apresentada determinaria o reservatório como do tipo III (montanhoso). Entretanto, a cota 30,0 m - cota média do fundo do rio no eixo do barramento - não representa a real elevação do fundo do rio, uma vez que seções topobatimétricas levantadas ao longo do estirão fluvial entre Porto Velho e Jirau indicam cotas de fundo significativamente inferiores.



Considerando, para efeito de classificação do tipo de reservatório, a cota mínima de fundo do rio na El 29,00 e que o acréscimo de volume entre elevação 30,00 e 29,00 é irrelevante, o reservatório pode ser classificado como do tipo II (de zonas de inundação a colinas).

Foram calculadas as parcelas de sedimentos que se depositam no pé do barramento e suas respectivas cotas alcançadas após n anos de operação, para as duas hipóteses de taxa anual de crescimento de sedimentos (R = 0% e R = 2%), segundo a metodologia desenvolvida por Borland & Miller, apresentada em Carvalho, 1994.

As Tabelas 5.7 e 5.8 apresentam os volumes de sedimentos depositados no reservatório e a cota de altura de sedimentos no pé da barragem, para cada horizonte de operação, respectivamente para R = 0% (sem aumento no aporte de sedimento) e R = 2% (com aumento de aporte de sedimentos com uma taxa anual de 2%).

Tabela 5.7
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem - R = 0%

Tempo de Assoreamento (Anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	30,00
10	751,16	59,32
20	982,92	60,97
30	1.052,46	61,44
50	1.079,86	61,61
100	1.082,79	61,63

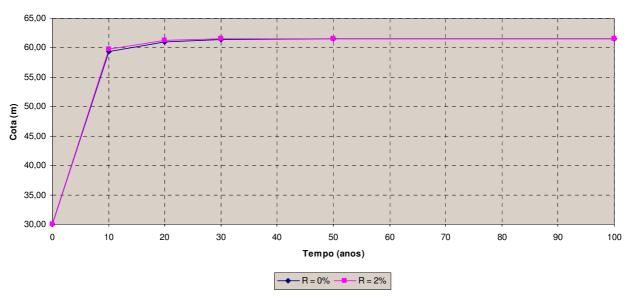
Tabela 5.8
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem - R = 2%

Tempo de Assoreamento (anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	30,00
10	798,01	59,79
20	1.029,90	61,29
30	1.076,08	61,59
50	1.082,78	61,63
100	1.082,80	61,63



A Figura 5.9 apresenta as curvas de avanço do assoreamento no pé da barragem ao longo do tempo.

Figura 5.9
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Curva do Avanço de Assoreamento no Pé da Barragem



Ainda seguindo a metodologia proposta por Borland & Miller, foram determinadas as distribuições de sedimentos assoreados ao longo do reservatório para 10 e 50 anos de operação, considerando as duas hipóteses de taxas anual de crescimento de sedimentos, o que permitiu o traçado das novas curvas cota x área e cota x volume.

As Figuras 5.10 e 5.11 apresentam o resultado gráfico obtido para as novas curvas cota x área e cota x volume do reservatório do AHE Santo Antônio.



Figura 5.10
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume - R = 0%

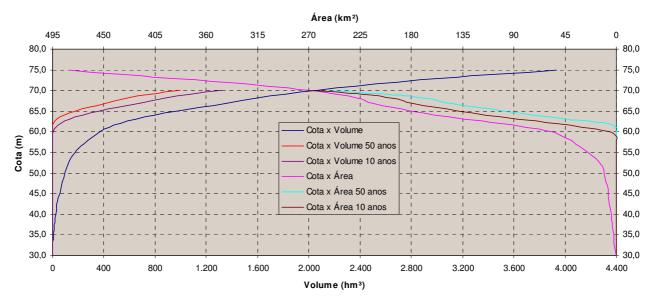
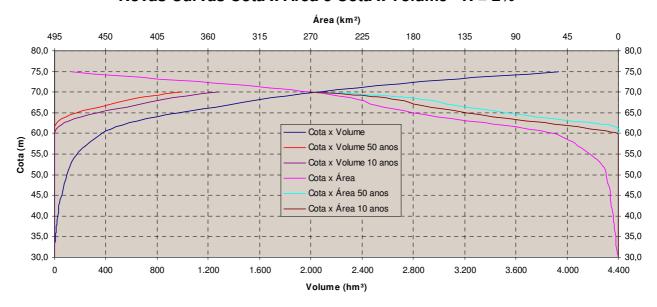


Figura 5.11
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume - R = 2%



5.2.3 Análise dos Resultados

A relação entre o volume do reservatório do AHE Santo Antônio e o volume anual afluente determina uma reduzida capacidade de retenção de sedimentos do reservatório, de acordo com a curva média de Brune, como demonstrado na Tabela 5.12, que apresenta um resumo das principais resultados obtidos nas simulações.



No instante inicial, cerca de 80,5% do aporte de sedimentos passará pelos órgãos de descargas. Na hipótese de manutenção da carga atual de sedimentos (R = 0%), em cerca de 28 anos, 99% do sedimento afluente passarão pelas Turbinas e Vertedouro e em cerca de 74 anos a capacidade de retenção é insignificante (praticamente nula) e todo o sedimento estará passando pelos órgãos de descarga. Considerando um aumento da carga de sedimentos da ordem de 2% ao ano, os tempos para consecução dessas mesmas taxas (99 e 100%) são reduzidos para 22 e 44 anos.

Em 28 ou 22 anos, respectivamente para R=0% e 2%, o reservatório terá perdido praticamente a metade de seu volume passando de 2.075 hm³ para cerca de 1030 hm³, estabilizando-se a partir deste período.

A altura de sedimento estimada ao pé da barragem, em cem anos de operação do reservatório, atingirá a El. 61,6 m. Para garantia do não assoreamento das tomadas d'água durante o horizonte do estudo (100 anos), o Projeto de Viabilidade já considerou que a ensecadeira de 1ª fase na margem esquerda, localizada frontalmente ao Canal de Adução da Tomada d'Água, deverá ser removida apenas acima da a El. 63,00 m, funcionando como uma barreira.

Tabela 5.12
Resumo dos Principais Resultados dos Estudos de Assoreamento

Taxa anual de aumento do sedimento -R	%	0	2
Capacidade - Volume do Reservatório	hm ³	2.075	5,13
Vazão anual afluente	hm ³ /s	567.04	14,03
Relação Capacidade/Volume anual afluente	-	3,66 x	10 ⁻³
Eficiência de Retenção Er em t = 0	%	19,	50
Tempo para Er = 1%	anos	28	22
Volume de Sedimentos no Reservatório	hm ³	1.044,35	1.046,63
Volume Disponível no Reservatório	hm ³	1.030,78	1.028,50
Perda de Volume do Reservatório	%	50,3	49,6
	1	I	I
Tempo para Er = 0%	anos	74	44
Volume de Sedimentos no Reservatório		1.082,62	1.082,64
Volume Disponível no Reservatório	hm³	992,52	992,49
Perda de Volume do Reservatório	%	52,2	52,2



Tabela 5.12 Resumo dos Principais Resultados dos Estudos de Assoreamento

Cota da Altura do Sedimento ao Pé da Barragem (50 anos)	m	61,61	61,63
Cota da Altura do Sedimento ao Pé da Barragem (100 anos)	m	61,63	61,63

5.3. ESTUDO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DE JIRAU

Com o valor da descarga sólida total média diária afluente ao reservatório do AHE Jirau (1.594.529 t/dia), aplicou-se a metodologia descrita anteriormente para o cálculo de sedimentos assoreados nos reservatórios, considerando as hipóteses sem e com o aumento anual no aporte de sedimentos na bacia (R = 0% e 2% ao ano, respectivamente), conforme calculado no item 3.3.

Considerando que o reservatório do AHE Jirau opera com deplecionamento durante os períodos de estiagem, todos os cálculos de assoreamento foram feitos considerando ainda duas condições:

- Operação do reservatório na cota máxima normal (El. 90,00 m); e
- Operação do reservatório na cota média (El. 87,00 m).

5.3.1. Cálculo do Volume Assoreado

5.3.1.1. Reservatório operado na cota máxima normal (El. 90,00 m)

Os resultados do cálculo do volume assoreado do reservatório de Jirau, para operação na cota máxima normal (El. 90,00 m) são apresentados nas Tabelas 5.13 e 5.14, para as duas hipóteses de evolução do aporte de sedimento estudadas.



Tabela 5.13 Estudos de Vida Útil do AHE Jirau Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune NA do Reservatório = 90,00 m - R = 0%

			Sedimentos			Volume
Tempo anos	Er %	γap t/m³	Afluentes hm³ (ao ano)	Retidos hm³ (ao ano)	Acumulado s hm³	Disponível no Reservatório hm³
0	19,15	1,007	578,00	0,00	0,00	2.015,26
5	13,65	1,059	549,36	75,00	460,58	1.554,68
10	7,54	1,088	535,04	40,32	722,22	1.293,04
15	4,22	1,106	526,43	22,19	864,93	1.150,33
20	2,34	1,119	520,28	12,20	943,79	1.071,47
25	1,29	1,129	515,51	6,64	986,73	1.028,53
30	0,71	1,138	511,62	3,64	1.010,18	1.005,08
35	0,39	1,145	508,34	2,00	1.023,07	992,19
40	0,22	1,151	505,51	1,11	1.030,19	985,06
45	0,12	1,157	503,02	0,62	1.034,15	981,11
50	0,07	1,162	500,81	0,34	1.036,35	978,91
55	0,04	1,167	498,81	0,19	1.037,58	977,68
60	0,02	1,171	496,99	0,11	1.038,26	977,00
65	0,01	1,175	495,33	0,06	1.038,65	976,61
70	0,01	1,179	493,79	0,03	1.038,87	976,39
75	0,00	1,182	492,37	0,02	1.038,99	976,27
80	0,00	1,185	491,04	0,01	1.039,06	976,20
85	0,00	1,188	489,80	0,01	1.039,10	976,16
90	0,00	1,191	488,63	0,00	1.039,12	976,14
95	0,00	1,194	487,52	0,00	1.039,14	976,12
100	0,00	1,196	486,48	0,00	1.039,14	976,12



Tabela 5.14 Estudos de Vida Útil do AHE Jirau Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune NA do Reservatório = 90,00 m - R = 2%

	_			Sedimentos		
Tempo anos	Er %	γap t/m³	Afluentes hm³ (ao ano)	Retidos hm³ (ao ano)	Acumulados hm³	Disponível no Reservatório hm³
0	19,15	1,007	578,00	0,00	0,00	2.015,26
5	13,30	1,059	606,54	80,65	483,41	1.531,85
10	6,68	1,088	652,21	43,54	767,10	1.248,16
15	3,16	1,106	708,51	22,36	916,42	1.098,84
20	1,32	1,119	773,11	10,23	988,66	1.026,60
25	0,51	1,129	845,75	4,29	1.020,19	995,07
30	0,18	1,138	926,73	1,62	1.032,74	982,52
35	0,05	1,145	1.016,62	0,55	1.037,22	978,04
40	0,01	1,151	1.116,19	0,16	1.038,64	976,61
45	0,00	1,157	1.226,30	0,04	1.039,04	976,22
50	0,00	1,162	1.347,97	0,01	1.039,13	976,13
55	0,00	1,167	1.482,33	0,00	1.039,15	976,11
60	0,00	1,171	1.630,65	0,00	1.039,15	976,11
65	0,00	1,175	1.794,34	0,00	1.039,15	976,11
70	0,00	1,179	1.974,96	0,00	1.039,15	976,11
75	0,00	1,182	2.174,22	0,00	1.039,15	976,11
80	0,00	1,185	2.394,04	0,00	1.039,15	976,11
85	0,00	1,188	2.636,51	0,00	1.039,15	976,11
90	0,00	1,191	2.903,97	0,00	1.039,15	976,11
95	0,00	1,194	3.198,98	0,00	1.039,15	976,11
100	0,00	1,196	3.524,37	0,00	1.039,15	976,11

5.3.1.2. Reservatório operado na cota médial (El. 87,00 m)

Os resultados dp cálculo do volume assoreado do reservatório de Jirau, para operação na cota média anual (El. 87,00 m) são apresentados nas Tabelas 5.15 e 5.16, para as duas hipóteses de evolução do aporte de sedimento estudadas.



Tabela 5.15 Estudos de Vida Útil do AHE Jirau Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune NA do Reservatório = 87,00 m - R = 0%

				Sedimentos		Volume
Tempo anos	Er %	□ap t/m³	Afluentes hm³ (ao ano)	Retidos hm³ (ao ano)	Acumulados hm³	Disponível no Reservatório hm³
0	8,48	1,007	578,00	0,00	0,00	1.378,91
5	5,16	1,059	549,36	28,37	188,82	1.190,10
10	2,84	1,088	535,04	15,19	287,73	1.091,19
15	1,53	1,106	526,43	8,08	340,49	1.038,43
20	0,84	1,119	520,28	4,35	368,77	1.010,15
25	0,46	1,129	515,51	2,37	384,09	994,82
30	0,25	1,138	511,62	1,30	392,46	986,45
35	0,14	1,145	508,34	0,72	397,07	981,85
40	0,08	1,151	505,51	0,40	399,61	979,31
45	0,04	1,157	503,02	0,22	401,02	977,89
50	0,02	1,162	500,81	0,12	401,80	977,11
55	0,01	1,167	498,81	0,07	402,24	976,67
60	0,01	1,171	496,99	0,04	402,49	976,42
65	0,00	1,175	495,33	0,02	402,63	976,29
70	0,00	1,179	493,79	0,01	402,70	976,21
75	0,00	1,182	492,37	0,01	402,75	976,16
80	0,00	1,185	491,04	0,00	402,77	976,14
85	0,00	1,188	489,80	0,00	402,79	976,13
90	0,00	1,191	488,63	0,00	402,80	976,12
95	0,00	1,194	487,52	0,00	402,80	976,11
100	0,00	1,196	486,48	0,00	402,80	976,11



Tabela 5.16 Estudos de Vida Útil do AHE Jirau Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune NA do Reservatório = 87,00 m - R = 2%

				Sedimentos		
Tempo anos	Er %	gap t/m³	Afluentes hm³ (ao ano)	Retidos hm³ (ao ano)	Acumulados hm³	Disponível no Reservatório hm³
0	8,48	1,007	578,00	0,00	0,00	1.378,91
5	5,03	1,059	606,54	30,49	197,55	1.181,36
10	2,50	1,088	652,21	16,28	304,58	1.074,33
15	1,13	1,106	708,51	7,99	359,07	1.019,85
20	0,47	1,119	773,11	3,65	384,81	994,10
25	0,18	1,129	845,75	1,53	396,05	982,86
30	0,06	1,138	926,73	0,58	400,52	978,39
35	0,02	1,145	1.016,62	0,20	402,12	976,80
40	0,01	1,151	1.116,19	0,06	402,63	976,29
45	0,00	1,157	1.226,30	0,01	402,77	976,15
50	0,00	1,162	1.347,97	0,00	402,80	976,12
55	0,00	1,167	1.482,33	0,00	402,80	976,11
60	0,00	1,171	1.630,65	0,00	402,81	976,11
65	0,00	1,175	1.794,34	0,00	402,81	976,11
70	0,00	1,179	1.974,96	0,00	402,81	976,11
75	0,00	1,182	2.174,22	0,00	402,81	976,11
80	0,00	1,185	2.394,04	0,00	402,81	976,11
85	0,00	1,188	2.636,51	0,00	402,81	976,11
90	0,00	1,191	2.903,97	0,00	402,81	976,11
95	0,00	1,194	3.198,98	0,00	402,81	976,11
100	0,00	1,196	3.524,37	0,00	402,81	976,11

5.3.2. Cálculo do Volume Assoreado no Pé da Barragem

Considerando, para efeito de classificação do tipo de reservatório, a cota mínima de fundo do rio na El 60,00 e que o acréscimo de volume entre elevação 65,00 e 60,00 é irrelevante, o reservatório de Jirau pode ser classificado com do tipo II (de zonas de inundação a colinas).

5.3.2.1. Reservatório operado na Cota Máxima Normal (El. 90,00m)

Considerando o reservatório operado em sua cota máxima normal (El. 90,00 m), foram calculadas as parcelas de sedimentos que se depositam no pé do barramento e suas respectivas cotas alcançadas após n anos de operação, para as duas hipóteses de taxa anual de crescimento de sedimentos (R = 0% e R = 2%), segundo a metodologia desenvolvida por Borland & Miller, apresentada em Carvalho, 1994.



As Tabelas 5.17 e 5.18 apresentam os volumes de sedimentos depositados no reservatório e a cota de altura de sedimentos no pé da barragem, para cada horizonte de operação, respectivamente para R = 0% (sem aumento no aporte de sedimento) e R = 2% (com aumento de aporte de sedimentos com uma taxa anual de 2%).

Tabela 5.17
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 90,00 m - R = 0%

Tempo de Assoreamento (Anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	65,00
10	722,22	70,34
20	943,79	74,49
30	1.010,18	75,56
50	1.036,35	76,02
100	1.039,14	76,09

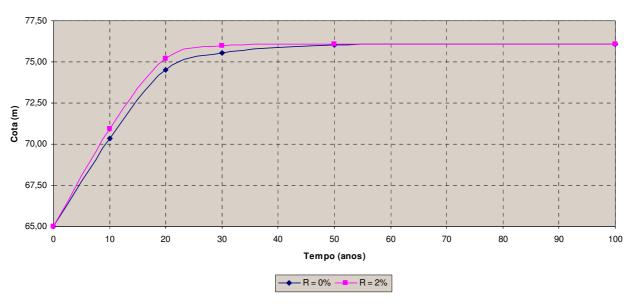
Tabela 5.18
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 90,00 m - R = 2%

Tempo de Assoreamento (anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	65,00
10	767,10	70,94
20	988,66	75,20
30	1.032,74	75,97
50	1.039,13	76,06
100	1.039,15	76,09

A Figura 5.19 apresenta as curvas de avanço do assoreamento no pé da barragem ao longo do tempo.



Figura 5.19
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Curva do Avanço de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 90,00 m



Ainda seguindo a metodologia proposta por Borland & Miller, foram determinadas as distribuições de sedimentos assoreados ao longo do reservatório para 10 e 50 anos de operação, considerando as duas hipóteses de taxas anual de crescimento de sedimentos, o que permitiu o traçado das novas curvas cota x área e cota x volume.

As Figuras 5.20 e 5.21 apresentam o resultado gráfico obtido para as novas curvas cota x área e cota x volume do reservatório do AHE Jirau.



Figura 5.20
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume
NA do Reservatório = 90,00 m - R = 0%

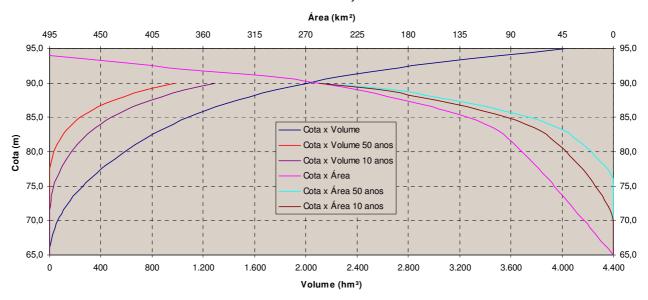
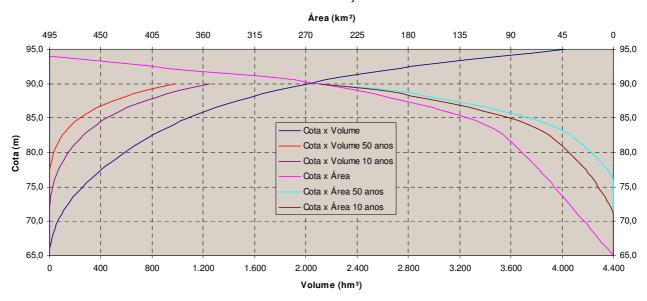


Figura 5.21
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume
NA do Reservatório = 90,00 m - R = 2%



5.3.2.2. Reservatório operado na Cota Média Anual (El. 87,00m)

Considerando o reservatório operado em sua cota média operativa (El. 87,00 m), foram calculadas as parcelas de sedimentos que se depositam no pé do barramento e suas respectivas cotas alcançadas após n anos de operação, para as duas hipóteses de taxa anual de crescimento de sedimentos (R = 0% e R = 2%), segundo a metodologia desenvolvida por Borland & Miller, apresentada em Carvalho, 1994.



As Tabelas 5.22 e 5.23 apresentam os volumes de sedimentos depositados no reservatório e a cota de altura de sedimentos no pé da barragem, para cada horizonte de operação, respectivamente para R = 0% (sem aumento no aporte de sedimento) e R = 2% (com aumento de aporte de sedimentos com uma taxa anual de 2%).

Tabela 5.22
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 0%

Tempo de Assoreamento (Anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	65,00
10	287,73	66,19
20	368,77	66,94
30	392,46	67,20
50	401,80	67,29
100	402,80	67,31

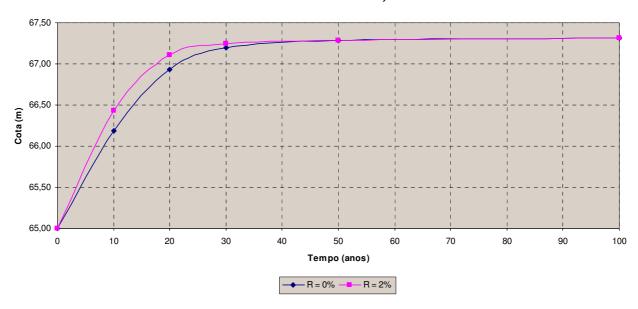
Tabela 5.23
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 2%

Tempo de Assoreamento (anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	65,00
10	304,58	66,43
20	384,81	67,11
30	400,52	67,24
50	402,80	67,29
100	402,81	67,31

As curvas de avanço do assoreamento no pé da barragem ao longo do tempo são apresentadas na Figura 5.24.



Figura 5.24
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Curva do Avanço de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 87,00 m



Ainda seguindo a metodologia proposta por Borland & Miller, foram determinadas as distribuições de sedimentos assoreados ao longo do reservatório para 10 e 50 anos de operação, considerando as duas hipóteses de taxas anual de crescimento de sedimentos, o que permitiu o traçado das novas curvas cota x área e cota x volume, agora considerando o reservatório operado em sua cota média anual (El. 87,00 m).

As Figuras 5.25 e 5.26 apresentam o resultado gráfico obtido para as novas curvas cota x área e cota x volume do reservatório do AHE Jirau.



Figura 5.25
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 0%

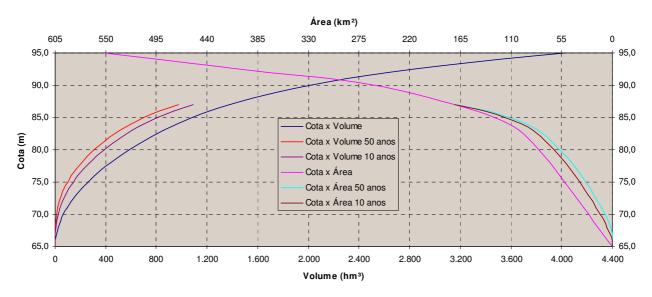
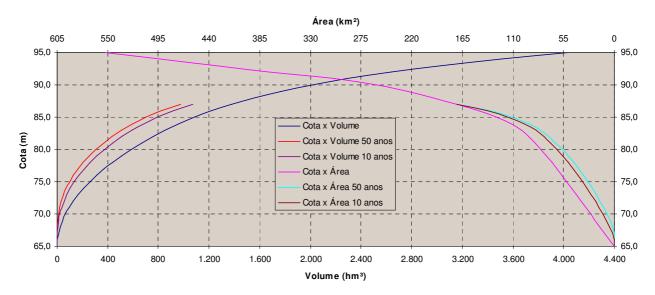


Figura 5.26
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 2%



5.3.3. Análise dos Resultados

A relação entre o volume do reservatório do AHE Jirau e o volume anual afluente determinam uma reduzida capacidade de retenção de sedimentos do reservatório, de acordo com a curva média de Brune, como demonstrado na Tabela 5.27 que apresenta um resumo das principais resultados obtidos nas simulações.



Resumo dos Principais Resultados dos Estudos de Assoreamento

m	87,00	90,00	87,00	90,00
%	0	0	2	2
hm³	1.378,91	2.015,26	1.378,91	2.015,26
hm ³	557.775,76	557.775,76	557.775,76	557.775,76
-	2,47 x 10 ⁻³	3,61 x 10 ⁻³	2,47 x 10 ⁻³	3,61 x 10 ⁻³
%	8,48	19,15	8,48	19,15
anos	19	28	16	22
hm ³	364,41	1.002,44	365,94	1.004,63
hm ³	1.014,50	1.012,82	1.012,98	1.010,63
%	26,4	49,7	26,5	49,9
anos	64	73	41	44
hm ³	402,61	1.038,95	402,67	1.039,00
hm ³	976,31	976,31	976,24	976,26
%	29,2	51,6	29,2	51,6
m	67,48	76,09	67,48	76,09
m	67,48	76,09	67,48	76,09
	% hm³ hm³ anos hm³ hm³ hm³ m anos	% 0 hm³ 1.378,91 hm³ 557.775,76 - 2,47 x 10⁻³ % 8,48 anos 19 hm³ 364,41 hm³ 1.014,50 % 26,4 anos 64 hm³ 402,61 hm³ 976,31 % 29,2 m 67,48	% 0 0 hm³ 1.378,91 2.015,26 hm³ 557.775,76 557.775,76 - 2,47 x 10⁻³ 3,61 x 10⁻³ % 8,48 19,15 anos 19 28 hm³ 364,41 1.002,44 hm³ 1.014,50 1.012,82 % 26,4 49,7 anos 64 73 hm³ 402,61 1.038,95 hm³ 976,31 976,31 % 29,2 51,6 m 67,48 76,09	% 0 0 2 hm³ 1.378,91 2.015,26 1.378,91 hm³ 557.775,76 557.775,76 557.775,76 - 2,47 x 10⁻³ 3,61 x 10⁻³ 2,47 x 10⁻³ % 8,48 19,15 8,48 anos 19 28 16 hm³ 364,41 1.002,44 365,94 hm³ 1.014,50 1.012,82 1.012,98 % 26,4 49,7 26,5 anos 64 73 41 hm³ 402,61 1.038,95 402,67 hm³ 976,31 976,31 976,24 % 29,2 51,6 29,2 m 67,48 76,09 67,48

Os cálculos elaborados para o assoreamento do reservatório, com nível d'água médio operativo na El. 87,00m mostram que cerca de 91,5% do aporte de sedimentos passarão pelas Turbinas e pelo Vertedouro no primeiro ano de operação.

Na hipótese de manutenção da carga atual de sedimentos (R = 0%), em cerca de 19 anos, 99% do sedimento afluente passarão pela Turbina e Vertedouro e em cerca de 64 anos a capacidade de retenção é insignificante (praticamente nula) e todo o sedimento estará passando pelos órgãos de descarga. Considerando um aumento da carga de sedimentos da ordem de 2% ao ano, os tempos para consecução dessas mesmas taxas (99 e 100%) são reduzidos para 16 e 41 anos.



Em 19 ou 16 anos, respectivamente para R=0% e 2%, o reservatório terá perdido praticamente um quarto do seu volume passando de 1.379 hm³ para cerca de 1010 hm³.

Com o reservatório operando na cota média na El. 90,00m, a eficiência de retenção do reservatório e os tempos de residência aumentam em relação ao reservatório com NA médio na EL. 87,00 m, em razão da menor velocidade média de escoamento, o que se traduz num aumento relativamente grande da capacidade de retenção do reservatório de 8,48% a 19,15 %, porém ainda significativamente pequeno em termos absolutos.

No instante inicial, cerca de 80,8% do aporte de sedimentos passarão pelos órgãos de descargas. Na hipótese de manutenção da carga atual de sedimentos (R = 0%), em cerca de 28 anos, 99% do sedimento afluente passarão pelas Turbinas e Vertedouro e em cerca de 73 anos a capacidade de retenção é insignificante (praticamente nula) e todo o sedimento estará passando pelos órgãos de descarga. Considerando um aumento da carga de sedimentos da ordem de 2% ao ano, os tempos para consecução dessas mesmas taxas (99 e 100%) são reduzidos para 22 e 44 anos.

Em 28 ou 22 anos, respectivamente para R=0% e 2%, o reservatório terá perdido praticamente a metade de seu volume passando de 2.015 hm³ para cerca de 1010 hm³, estabilizando-se a partir deste período.

A altura de sedimento estimada ao pé da barragem, em cem anos de operação do reservatório, atingirá a El. 67,5 m, considerando o reservatório no NA médio operacional, El. 87,00m. Considerando o NA do reservatório na El. 90,00 m esta altura é um pouco superior atingindo a El. 76,1 m. Para as situações analisadas, as alturas máximas de sedimento estimadas são inferiores à cota de fundo do Canal de Adução da Tomada D´água, EL. 78,00 m. Portanto, a menor capacidade de retenção do reservatório, operando com NA variável, na faixa operativa de 82,50 e 90,00 m, reduzem a altura de sedimento ao pé da barragem.



6. MODELAGEM HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DO RIO MADEIRA



Neste capítulo é apresentada a modelagem hidrossedimentológica do rio Madeira, cobrindo todo o estirão fluvial entre a confluência com o rio Beni e a confluência com o rio Jamari. Trata-se de um trecho de 430 km de extensão, que se inicia a montante da área afetada pelo reservatório de Jirau, terminando a jusante de Porto Velho, cerca de 80 km a jusante do local previsto para implantação do AHE Santo Antônio.

A modelagem foi feita com a aplicação do modelo matemático HEC-6 – Scour and Deposition in Rivers and Resevoirs, distribuído pelo U.S Army Corps of Engineers, descrito no item 6.1.

Os dados básicos empregados na modelagem são apresentados no item 6.2, enquanto que os procedimentos para ajuste do modelo são descritos no item 6.3.

O item 6.4 descreve os casos a serem modelados e os resultados são apresentados no item 6.5.

Finalmente, o item 6.6 discute os resultados obtidos e apresenta uma análise de sensibilidade do modelo, elemento útil para a melhor interpretação desses resultados.

6.1 DESCRIÇÃO DO MODELO HEC-6

6.1.1. Introdução

O modelo HEC-6 – Scour and Deposition in Rivers and Resevoirs 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.

Nas simulações aplicadas a reservatórios, o modelo calcula os depósitos ao longo do perfil longitudinal, prevendo os volumes e locais de assoreamento. Quando aplicado em trechos de rios, pode-se prever a condição de balanço entre afluências e saídas de descargas sólidas, diagnosticando-se a ocorrência de erosão ou assoreamento.

Como dado de entrada, o modelo necessita que sejam fornecidos os seguintes elementos:

- Geometria do trecho fluvial a ser simulado, a qual é representada pelas seções topobatimétricas e pelas distâncias entre as mesmas. O modelo assume que o escoamento se dá pela calha central e pelas planícies de inundação, devendo ser fornecidos seus limites;
- Características do leito móvel de cada uma das seções. Estes dados indicam as áreas de uma seção onde pode haver deposição ou escavação. Como o modelo simula erosão e deposição de material, deve-se também definir, em cada seção, a



profundidade máxima que a erosão pode alcançar, que é nula no caso de leitos rochosos;

- Hidrograma a ser simulado o modelo se baseia na equação de movimento permanente, uniformemente variado, aproximando o hidrograma afluente por uma seqüência de períodos de escoamento permanente (vazão variável por patamares);
- Características hidráulicas o perfil de linha d'água é calculado para cada período de regime permanente simulado, usando o "standard step method" para resolver as equações de continuidade e de energia. As perdas por atrito são calculadas pela fórmula de Manning, com os coeficientes de rugosidade (n) podendo variar em função da altura do escoamento, em cada seção transversal. O modelo calcula ainda as perdas localizadas devido a contração ou expansão do escoamento;
- Condição de contorno os níveis d'água a jusante do trecho a ser modelado devem ser especificados, através de uma curva-chave. No caso de reservatórios, que são tratados como uma condição de contorno interna, pode ser especificada uma regra operativa;
- Carga de sedimentos o aporte de sedimentos ao estirão simulado é calculado através da curva-chave de sedimentos, dada pela relação entre a descarga líquida e a descarga sólida total (arraste + suspensão). Esta curva-chave deve ser fornecida separando-se as parcelas transportadas por faixas granulométricas. O transporte de sedimento é calculado pelo modelo, em cada seção, a partir das informações hidráulicas obtidas dos perfis de linha d'água simulados;
- Granulometria do material de fundo deve ser fornecida para cada seção, de acordo com a classificação do AGU – American Geophisical Union. Trata-se de informação muito sensível quando existe risco de erosão.

6.1.2. Bases Teóricas Para os Cálculos Hidráulicos

Os parâmetros hidráulicos necessários para o cálculo do transporte de sedimento potencial são velocidade, profundidade, largura e declividade da linha energética, todos eles obtidos nas simulações dos perfis de linha d'água.

O modelo resolve a equação de energia uni-dimensional pelo "standard step method", e calcula estes parâmetros em cada seção do escoamento para cada patamar sucessivo de vazão.

A Figura 6.1 ilustra os termos da equação de energia, em um trecho de rio compreendido entre duas seções, 2→1, que é dada por:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_e$$

onde,



g = aceleração da gravidade,

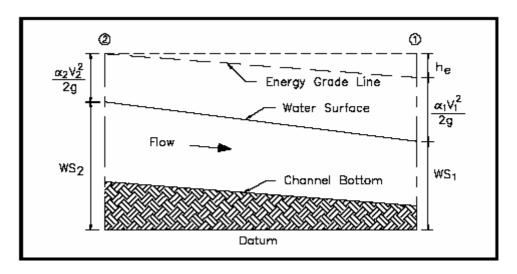
he = perda de energia

V1, V2 = velocidades médias em cada seção

WS1, WS2 = níveis d'água em cada seção

 α_1 , α_2 = coeficientes de distribuição de velocidade

Figura 6.1 Termos da Equação de Energia

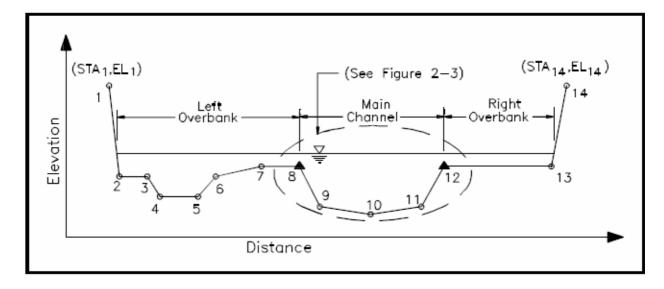


A perda de energia, he, é calculada como a soma das perdas por atrito (equação de Manning) e as perdas por contração ou expansão, da mesma forma que no modelo HEC-RAS.

As seções transversais devem ser fornecidas com indicação dos limites da calha principal, conforme mostrado na Figura 6.2, a seguir.



Figura 6.2 Termos da Equação de Energia



Os parâmetros geométricos da seção transversal (área, perímetro molhado, raio hidráulico, condutância e fator de distribuição de velocidade) são calculados com base na seção fornecida através de pares de pontos, conforme mostrado na figura anterior. A partir desses parâmetros são definidos os parâmetros usados nos cálculos de sedimento (profundidade efetiva, largura efetiva, velocidade média e declividade).

6.1.3. <u>Bases Teóricas Para os Cálculos Sedimentométricos</u>

As taxas de transporte de sedimento são calculadas, para uma determinada vazão em trânsito, para cada faixa granulométrica. Para isso, é definido um volume de controle, limitado por duas seções sucessivas e com largura igual à do leito móvel (fração da largura da seção sujeita a erosão ou assoreamento). A equação de continuidade de sedimento é escrita para este volume de controle (ver Figura 6.3) da sequinte forma:

$$V_{sed} = B_0 \cdot Y_s \cdot \frac{L_u + L_d}{2}$$

onde

V_{sed} = volume de sedimento

Bo = largura do leito móvel

Lu, Ld = comprimento do trecho, a montante e a jusante

Vsed = volume de sedimento no volume de controle

Ys = profundidade do sedimento no volume de controle.

Para uma profundidade de escoamento D, o volume de fluido (V_f) na coluna d'água é:

$$V_f = B_0 \cdot D \cdot \frac{L_u + L_d}{2}$$



Water
Surface

Control Volume at
Cross Section 2

Stream Bed
Surface

Flow
Model Bottom
(Bed Rock)

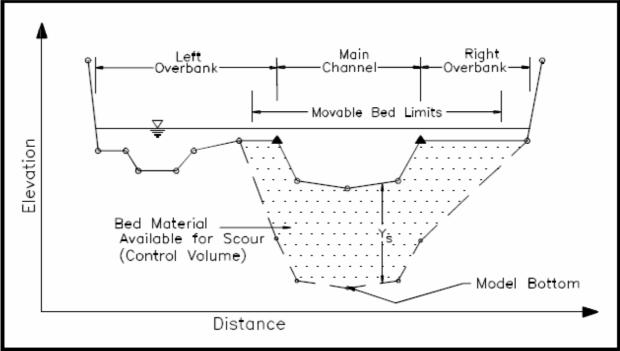
Figura 6.3 Volume de Controle para o Material do Leito

Os parâmetros hidráulicos, granulometria de material de fundo e capacidade de transporte calculada são admitidos uniformes ao longo do volume de controle. O HEC-6 admite que ao longo do tempo a profundidade de sedimento Ys do volume de controle pode se alterar, devido ao balanço entre o sedimento que entra e que sai do volume, mas não admite variação lateral.

A Figura 6.4, a seguir, mostra como é visto, pelo HEC-6, o material sedimentar no leito do rio.



Figura 6.4 Material Sedimentar no Leito do Rio



A largura e a profundidade máxima do material sedimentar disponível para erosão deve ser fornecida ao modelo pelo usuário, de acordo com o indicado na figura anterior. Nessa figura, a linha cheia representa a seção inicial de escoamento e a linha tracejada o limite máximo erodível.

A base para a simulação do movimento vertical do leito é a equação de continuidade de sedimento – Equação de Exner – exposta a seguir:

$$\frac{\partial G}{\partial x} + B_0 \cdot \frac{\partial Y_s}{\partial t} = 0$$

onde, além dos termos já definidos, se tem

G = descarga média de sedimento durante o intervalo de tempo t; x = distância ao longo do canal.

A equação de Exner é resolvida pelo método das diferença finitas.

Quando ocorre erosão ou deposição durante um certo intervalo de tempo, o modelo ajusta as elevações do leito na porção móvel da seção transversal. As Figuras 6.5 e 6.6, a seguir, ilustra os ajustes realizados pelo modelo em casos de deposição (assoreamento) e erosão, respectivamente.



Figura 6.5 Modificação da Seção Transversal Devido à Deposição de Sedimento

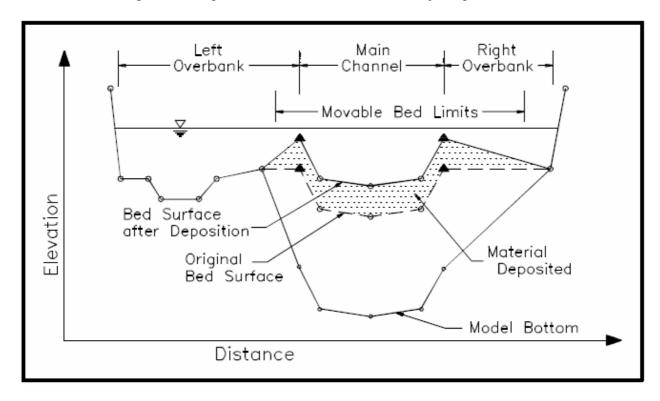
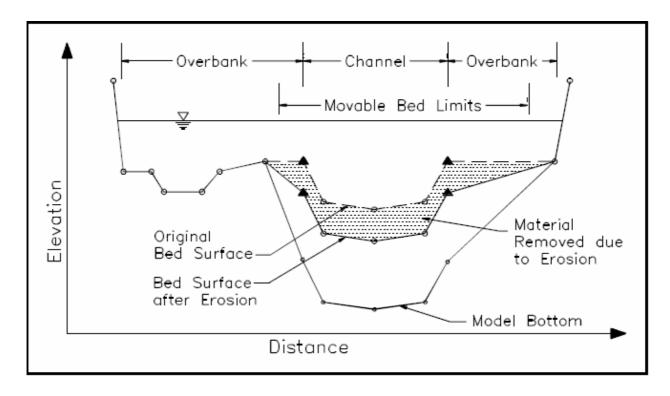


Figura 6.6 Modificação da Seção Transversal Devido à Erosão





O modelo HEC-6 considera ainda a influência dos depósitos de silte e argila sobro o material do leito. Os depósitos de partículas finas são calculados pelo método de Krone (Krone, R. B. Flume Studies of The Transporte of Sediment in Estuarial Shoaling Processes, Hydraulic Engineer Laboratory, University of Califórnia, Berkeley, CA, 1962).

A erosão é baseada no trabalho de Parthenaides (Parthenaides, E. Erosion and Deposition of Cohesive Soils, Journal of The Hydraulics Division, ASCE, pp. 755-771, March, 1965).

6.1.4. Resultados Fornecidos Pelo Modelo HEC-6

O modelo fornece como resultados os perfis de leito do rio e de linha d'água após cada período simulado, indicando os balanços sedimentométricos em cada trecho de interesse (reservatório, estirão estudado, etc.).

Os balanços de sedimento são fornecidos por faixas granulométricas, de modo a se ter uma noção da influência de cada parcela no transporte total.

Caso requerido, o modelo fornece também as seções transversais, modificadas após o porcesso de transporte sólido.

6.2. DADOS DISPONÍVEIS PARA SIMULAÇÃO

6.2.1. Seções Transversais

Além das seções topobatimétricas empregadas no estudo de remanso dos reservatórios, já referenciadas no capítulo 4, foram obtidas novas seções necessárias a modelagem dos trechos a jusante da barragem de Santo Antônio e a montante da Vila de Abunã, a partir dos elementos topográficos e cartográficos disponíveis.

A Tabela 6.7, a seguir, apresenta a relação completa das seções transversais empregadas, indicando a origem de cada uma.

Devido à grande extensão do trecho a ser simulado, as seções foram todas numeradas em função de sua distância, em km, à extremidade de jusante do trecho, na Vila de São Carlos.

A Tabela indica também, quando existente, a correspondência entre os novos números das seções e a numeração empregada no modelo HEC-RAS e a numeração indicada nos desenhos dos Estudos de Viabilidade. As novas seções levantadas aparecem, no Quadro, com a referência "batimetria".

As seções cuja referência é o Atlas, foram obtidas com o auxílio do Atlas da Hidrovia Madeira-Amazonas de Itacoatiara a Porto Velho, produzido pela Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha em 1999. Estas seções foram



ajustadas durante as simulações, de modo a permitir a reprodução da curva-chave conhecida em Porto Velho.

A seção de Porto Velho foi obtida a partir de uma planta de estruturas do projeto da Ponte Sobre o Rio Madeira – Porto Velho.

Finalmente, algumas das seções localizadas a montante da Vila de Abunã foram obtidas de uma batimetria parcial da calha do rio Madeira, cobrindo uma largura de aproximadamente 60 m da calha central do rio. Estas seções foram complementadas tomando-se como referência as seções topobatimétricas completas mais próximas, e possuem como referência Canal de Navegação na Tabela 6.7.

A localização das seções é apresentada no Desenho PJ-0576-G3-GR-DE-0001 a 0004 elaborado sobre uma imagem de satélite.

Tabela 6.7
Relação das Seções Transversais Disponíveis Para Modelagem

Saaãa	Diotância (m)	Seção de	referência	Obcamicaçãos
Seção	Distância (m)	HEC - RAS	Desenho	Observações
431	8160	Canal de Navegação	Canal de Navegação	
423	8096	Canal de Navegação	Canal de Navegação	
415	9846	Canal de Navegação	Canal de Navegação	
405	6502	Batimetria	Batimetria	
398	2123	Batimetria	Batimetria	Cachoeira do Ribeirão
396	21142	Batimetria	Batimetria	
375	3247	Batimetria	Batimetria	
372	2579	Batimetria	Batimetria	Cachoeira das Araras
369	10060	Batimetria	Batimetria	
359	9769	Canal de Navegação	Canal de Navegação	
349	11369	Canal de Navegação	Canal de Navegação	
338	9325	42.6	S-42,6	
329	1747	42.3	S-42,3	Rio Abunã
327	7510	42	S-42	
320	4169	41.5	S-41,5	
315	6515	41	S-41	
309	3331	40.5	S-40,5	Cachoeira do Pederneira
306	4940	40	S-40	
301	8421	39	S-39	
292	6172	38.5	S-38,5	
286	3292	38	S-38	Cachoeira do Paredão
283	3673	37	S-37	
279	7232	36	S-36	
272	4536	35	S-35	

Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

0	Distância (m)	Seção de	referência	Observas ~ s
Seção	Distância (m)	HEC - RAS	Desenho	Observações
267	9373	34.5	S-34,5	
258	1995	34	S-34	
256	970	33	S-33	Cachoeira Três Irmãos
255	2133	32	S-32	Ilha Três Irmãos
253	9420	31	S-31	
243	15217	30	S-30	
228	17331	29	S-29	
211	1000	Cópia da seção 228	Cópia da seção 228	
210	2755	28	S-28	
207	7312	18	S-23	Salto do Jirau
200	5083	17	S-22	Cachoeira do Inferno
195	4757	16	S-21	
190	6198	15	S-20	
184	12103	14	S-19	Ilha da Pedra
172	5416	13	S-18	Ilha Santana
166	7929	12	S-17	
158	7312	11	S-16	Ilha Niterói
151	5772	10	S-15	Ilha São Patrício
145	6011	9	S-14	Ilha Liverpool
139	11047	8	S-13	
128	7925	7	S-12	Cachoeira Morrinho
120	10312	6	S-11	
110	4977	5	S-10	
105	6500	4	S-9	
98	2650	3.5	S-8	Cachoeira de Teotônio
96	7726	3	S-7	
88	6777	2	S-6	
81	6067	1	S-5	CachoeiraSanto Antonio
75	12746	Ponte Projetada	Ponte Projetada	Porto Velho
63	20608	Cópia da seção 75	Cópia da seção 75	Cópia da seção 75
42	16190	Atlas	Atlas	
26	25880	Atlas	Atlas	Ilha Jamarizinho
0	0	Atlas	Atlas	Foz do rio Jamari

Todas as seções foram fornecidas ao modelo sob forma de tabelas com pares (distância,cota), indicando, em cada seção, os limites da calha principal e a largura da seção sujeita a erosão.

Para consideração do leito móvel, o modelo foi deixado livre, ou seja, nas seções cujo leito não era rochoso admitiu-se que o fundo do rio poderia ser erodido sem limites. As



seções com leito rochoso tiveram seu leito fixado (impossibilidade de erosão). Na Tabela 6.7, as seções com leito rochoso estão sombreadas. Trata-se, na maior parte dos casos, de seções de controle de cachoeiras ou seções onde foram observados afloramentos rochosos na visita de inspeção.

6.2.2. Parâmetros Hidráulicos

Para definição dos coeficientes de Manning, partiu-se dos coeficientes empregados nos estudos de remanso (modelo HEC-RAS), já calibrados para os trechos correspondentes aos dois reservatórios. Foi necessário, todavia, fazer algumas adaptações porque, enquanto que o HEC-RAS admite variação do coeficientes de Manning ao longo de toda a seção, o HEC-6 aceita apenas variações em função dos níveis d'água. Assim, foram realizadas diversas simulações do modelo de remanso para definição, para cada seção, de tabelas associando os coeficientes de Manning efetivos aos níveis, de modo a preparar os dados para o HEC-6.

Para as perdas localizadas, foram empregados os mesmos coeficientes de contração e expansão do modelo de remanso.

Nos trechos não estudados nos estudos de remanso, a montante de Abunã e a jusante de Santo Antônio, foram empregados coeficientes de perdas similares aos dos trechos vizinhos.

6.2.3. Condições de Contorno

Conforme já comentado, o HEC-6 necessita, como condições de contorno, as vazões a serem simuladas e os níveis d'água correspondentes na extremidade de jusante do trecho simulado.

A definição das vazões a serem simuladas foi feita com base no hidrograma de vazões médias mensais em Porto Velho. Objetivando diminuir os tempos de simulação, este hidrograma foi simplificado, aglutinando-se os meses de vazões semelhantes pela vazão média correspondente. A Figura 6.8 apresenta o hidrograma médio e o hidrograma simplificado empregado na modelagem: nota-se que os períodos de marçoabril e agosto-outubro foram aglutinados.



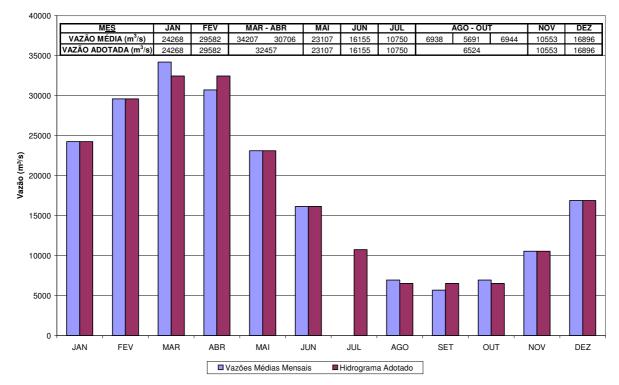


Figura 6.8 Hidrograma Empregado Na Modelagem

A curva-chave na seção 0 (Vila de São Carlos), que deve definir os níveis d'água a jusante do estirão modelado, não é conhecida. Para sua definição, foi feito um ajuste, procurando definir uma tabela de calibragem que, quando da aplicação do modelo, fornecesse a curva-chave conhecida em Porto Velho. Deste modo, pode-se dizer que a condição de contorno de jusante foi a curva-chave de Porto Velho "transferida" para São Carlos pelo próprio HEC-6.

6.2.4. Dados de Transporte de Sedimento – Curva-Chave de Sedimentos

Os dados necessários aos cálculos de transporte de sedimento são a curva-chave de sedimento, devidamente separada por faixa granulométrica de material transportado, e as granulometrias do material do leito, para cada seção.

A curva-chave de sedimentos em suspensão para o posto fluviométrico de Porto Velho foi apresentada no capítulo 3, Figura 3.5. As vazões sólidas totais foram calculadas aplicando-se um fator de correção de 1,06, para considerar a taxa média de 6% de material transportado por arrasto, resultante das medições realizadas.

Para considerar o fato de que a granulometria transportada pelo rio é variável em função da vazão líquida, as medições de descarga sólida foram organizadas por faixas de vazão líquida, de modo a se extrair, para cada faixa, uma granulometria média. A Tabela 6.9 apresenta a memória de cálculo dessas granulometrias médias, indicando as datas de cada medição e os números dos relatórios (FURNAS) onde as mesmas se encontram.



Tabela 6.9 Cálculo das Granulometrias Médias do Material Transportado

	Método de Einstein												
		Vazão		Diâmetro (mm)								Descarga	
Data	Relatório	(m³/s)	0 / 0.016	0.016 / 0.062	0.062 / 0.125	0.125 / 0.25	0.25 / 0.5	0.5 / 1	1/2	2/4	4/8	8 / 16	Sólida Total (t/d)
19/10/04	DCT.T.01.011.2005-R0	4614	22544	8536	173	476	63	1	0	0	0	0	31793
1	Porcentagem		0.7091	0.2685	0.0054	0.0150	0.0020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
25/11/04	DCT.T.01.011.2005-R0	9982	259858	37745	23082	15684	949	18	1	0	0	0	337337
13/05/04	DCT.T.01.107.2004-R0	10135	162838	130822	6135	2774	4348	1544	270	17	0	0	308747
26/06/04	DCT.T.01.107.2004-R0	10315	136105	50194	22000	17468	1728	84	5	0	0	0	227584
	Média	10144	186267	72920	10072	11975	2342	549	92	6	0	0	291223
ļ	Porcentagem		0.6396	0.2504	0.0586	0.0411	0.0080	0.0019	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	
19/10/04	DCT.T.01.107.2004-R0	15126	202611	119177	63055	33314	7328	1415	193	16	0	0	427021
ļ	Porcentagem		0.4145	0.2791	0.1477	0.0780	0.0170	0.0033	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	
18/05/04	DCT.T.01.107.2004-R0	19882	469781	311594	137021	20652	0	0	358	33	0	0	939407
01/06/04	DCT.T.01.107.2004-R0	20489	487648	364845	189181	96201	2632	60	15	0	0	0	1140582
	Média	20186	478714	338219	163101	58427	1316	30	187	17	0	0	1039995
I	Porcentagem		0.4603	0.3252	0.1568	0.0562	0.0013	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	
15/04/04	DCT.T.01.078.2004-R0	23840	544352	437009	967	4506	13729	1929	367	48	1	0	1002907
21/04/04	DCT.T.01.078.2004-R0	26372	869860	496262	636	4120	15247	4985	353	26	0	0	1391488
Média		25106	707106	466636	801	4313	14488	3457	360	37	1	0	1197198
Porcentagem			0.5906	0.3898	0.0007	0.0036	0.0121	0.0029	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	
31/03/04	DCT.T.01.066.2004-R0	32682	1272288	1385676	1102	12204	21757	3223	1042	174	22	0	2697488
	Porcentagem		0.4717	0.5137	0.0004	0.0045	0.0081	0.0012	0.0004	0.0001	0.0000	0.0000	

A partir desses resultados foi preparada a tabela de dados a ser informada ao HEC-6, que é apresentada na Tabela 6.10. Neste quadro as parcelas de material transportado estão distribuídas em percentuais, de acordo com as faixas granulométricas adotadas no modelo, também indicadas.



Tabela 6.10
Granulometria do Material Transportado Fornecida ao HEC-6

Diâmetro	Classificação		Vazão (m³/s)								
Diametro	HEC-6	4700	10000	15000	20000	25000	35000				
0 / 0.004	CLAY	27,91	25,00	16,45	16,00	19,70	16,17				
0.004 / 0.008	SILT1	23,00	22,96	16,00	15,03	19,69	16,00				
0.008 / 0.016	SILT2	20,00	16,00	15,00	15,00	19,67	15,00				
0.016 / 0.031	SILT3	16,85	14,04	14,91	16,52	19,58	28,37				
0.031 / 0.0625	SILT4	10,00	11,00	13,00	16,00	12,82	20,49				
0.062 / 0.125	VFS	0,54	5,86	14,77	15,68	5,00	2,00				
0.125 / 0.25	FS	1,50	4,11	7,80	5,62	2,00	1,00				
0.25 / 0.5	MS	0,20	0,80	1,70	0,13	1,21	0,81				
0.5 / 1	CS	0,00	0,19	0,33	0,00	0,29	0,12				
1 / 2	VCS	0,00	0,03	0,05	0,02	0,03	0,04				
2 / 4	VFG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01				
4 / 8	FG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
8 / 16	MG	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
Total	lização	100	100	100	100	100	100				

6.2.5. Caracterização do Material do Leito

A granulometria do material do leito foi obtida também com base nas medições de descarga sólida realizadas por FURNAS, tendo-se adotado um procedimento semelhante ao empregado na determinação da granulometria do material transportado.

A Tabela 6.11, a seguir, apresenta os cálculos realizados para definição da granulometria média do sedimento do leito do rio Madeira, tomando por base as granulometrias das amostras coletadas em Porto Velho durante a realização das medições.



Tabela 6.11 Cálculo das Granulometrias Médias do Material Transportado

			Diâmetro (mm)								
Data	Relatório	0 / 0.016	0.016 / 0.062	0.062 / 0.125	0.125 / 0.25	0.25 / 0.5	0.5 / 1	1/2	2/4	4/8	8 / 16
		%									
23/09/04	DCT.T.01.011.2005-R0	3.90	12.40	21.70	52.50	8.20	0.80	0.30	0.20	0.00	0.00
27/09/04	DCT.T.01.011.2005-R0	5.00	15.50	23.30	39.20	14.30	1.20	0.70	0.80	0.00	0.00
05/10/04	DCT.T.01.011.2005-R0	2.10	9.10	18.50	48.00	18.80	2.10	1.00	0.40	0.00	0.00
19/10/04	DCT.T.01.011.2005-R0	11.30	18.40	22.40	32.30	13.60	1.30	0.50	0.20	0.00	0.00
25/10/04	DCT.T.01.011.2005-R0	5.90	15.40	17.10	45.60	14.80	1.00	0.20	0.00	0.00	0.00
03/11/04	DCT.T.01.011.2005-R0	7.60	14.40	20.00	41.50	14.30	1.30	0.50	0.40	0.00	0.00
25/11/04	DCT.T.01.011.2005-R0	5.20	9.50	21.00	55.50	8.10	0.50	0.10	0.10	0.00	0.00
08/11/04	DCT.T.01.011.2005-R0	8.50	15.70	14.10	47.80	12.00	1.30	0.50	0.10	0.00	0.00
17/11/04	DCT.T.01.011.2005-R0	4.70	11.70	22.50	51.60	8.20	0.90	0.30	0.10	0.00	0.00
02/12/04	DCT.T.01.011.2005-R0	0.00	0.70	17.20	72.90	8.20	0.60	0.20	0.10	0.10	0.00
07/12/04	DCT.T.01.011.2005-R0	0.00	0.50	7.80	67.70	22.20	0.90	0.40	0.30	0.20	0.00
19/03/04	DCT.T.01.0662004-R0	7.70	11.60	7.40	53.10	18.40	1.30	0.30	0.20	0.00	0.00
25/03/04	DCT.T.01.0662004-R0	0.00	0.90	7.80	50.10	36.40	4.00	0.60	0.10	0.10	0.10
31/03/04	DCT.T.01.0662004-R0	9.30	12.60	4.20	34.20	32.10	4.80	1.90	0.60	0.30	0.00
11/05/04	DCT.T.01.1072004-R0	7.10	7.20	11.10	27.40	38.80	6.10	1.60	0.60	0.10	0.00
18/05/04	DCT.T.01.1072004-R0	0.00	0.30	4.70	37.20	56.00	1.60	0.10	0.10	0.00	0.00
26/05/04	DCT.T.01.1072004-R0	0.00	4.80	17.30	44.00	28.40	4.70	0.70	0.10	0.00	0.00
01/06/04	DCT.T.01.1072004-R0	0.00	2.80	26.60	65.10	5.20	0.20	0.10	0.00	0.00	0.00
10/06/04	DCT.T.01.1072004-R0	0.00	2.30	13.60	40.00	28.90	9.20	3.50	2.00	0.50	0.00
15/06/04	DCT.T.01.1072004-R0	0.00	1.00	12.50	53.30	21.80	8.30	2.30	0.70	0.10	0.00
22/06/04	DCT.T.01.1072004-R0	0.00	2.30	16.30	60.60	18.40	1.40	1.00	0.00	0.00	0.00
29/06/04	DCT.T.01.1072004-R0	0.90	5.30	14.90	62.70	13.40	1.80	0.50	0.40	0.10	0.00
06/04/04	DCT.T.01.0782004-R0	5.90	8.90	8.00	26.60	42.10	5.50	1.70	0.70	0.20	0.40
21/04/04	DCT.T.01.0782004-R0	6.10	7.90	4.60	23.70	45.30	11.10	1.10	0.20	0.00	0.00
27/04/04	DCT.T.01.0782004-R0	0.00	1.30	17.50	37.20	29.60	11.10	2.80	0.50	0.00	0.00
04/05/04	DCT.T.01.0782004-R0	6.10	8.60	2.50	14.80	47.50	13.00	4.70	1.50	0.40	0.90
	Média	3.74	7.73	14.41	45.56	23.27	3.69	1.06	0.40	0.08	0.05

A partir dos resultados apresentados na Tabela 6.11 foi preparada a tabela de informações para o HEC-6, considerando a porcentagem "passando" (porcentagem acumulada) em vez da porcentagem correspondente a cada faixa, conforme aparece na Tabela 6.12.



Tabela 6.12
Granulometria do Material de Fundo Fornecida ao HEC-6

Diâmetro (mm)	Porcentagem Passando
16.00	100.00%
8.00	99.95%
4.00	99.87%
2	99.47%
1	98.41%
0.5	94.72%
0.25	71.45%
0.125	25.88%
0.062	11.48%
0.016	3.74%

6.3. PROCEDIMENTOS PARA AJUSTE DO MODELO

Conforme já mencionado, os parâmetros do modelo HEC-6 não foram calibrados, como rotineiramente realizado em modelos de hidráulica fluvial, porque este procedimento já havia sido feito durante os estudos de remanso no âmbito dos Estudos de Viabilidade, quando se utilizou o modelo HEC-RAS. O que foi feito em lugar da calibragem foi apenas re-escrever os parâmetros do modelo HEC-RAS numa forma adequada para o modelo HEC-6.

Entretanto, alguns detalhes exigiram cuidados especiais em virtude da carência de dados relativos aos trechos de montante (acima de Abunã) e, principalmente, de jusante (abaixo de Santo Antônio).

No caso do trecho de montante, os coeficientes de rugosidade calibrados para o início do reservatório de Jirau foram simplesmente transferidos para as novas seções introduzidas. Este trecho foi introduzido apenas para que o trecho de interesse direto (futuros reservatórios) não ficasse afetado pelas condições de contorno.

Já para o trecho de jusante o trabalho foi mais detalhado. Para esse trecho, foram introduzidas seções extraídas do Atlas de Navegação elaborado pelo DHN em 1999, ou seja, seções referidas originalmente a um nível d'água de referência. Estas seções foram estendidas observando-se a conformação de margens típicas do trecho, todo ele percorrido de barco durante a viagem de inspeção realizada em dezembro de 2004.

Depois de estendidas as seções, foi necessário determinar a posição altimétrica das mesmas, o que foi levado a efeito forçando uma declividade para o estirão fluvial, de modo que os níveis d'água resultantes em Porto Velho se aproximassem dos níveis conhecidos, obtidos da curva-chave local.

Este ajuste foi feito sem nenhuma consideração de transporte de sedimentos, conforme é costume fazer, no início das aplicações com o modelo HEC-6. Uma vez terminado o



ajuste da geometria do trecho de jusante, o modelo passou a ser rodado com os dados de sedimento, de modo que logo surgiu uma tendência exagerada de assoreamento do trecho, indicando que havia algum desajuste nas seções utilizadas.

Para corrigir essa tendência, foi feita uma simulação com duração de 50 anos, até que a geometria do trecho inferior do rio Madeira se estabilizou. Esta geometria estabilizada foi assumida, então, como a geometria atual do trecho, concluindo-se, então, a etapa de ajuste do modelo.

A Figura 6.13 apresenta uma ilustração desta primeira aplicação do modelo HEC-6 a todo o estirão estudado. Trata-se de uma simulação realizada ao longo de 50 anos, sem a introdução de nenhuma estrutura nova e representa uma análise da estabilidade do leito do rio Madeira nas condições naturais.

O modelo indicou uma tendência ao assoreamento no trecho entre Abunã e a Cachoeira do Paredão, tendência essa que deverá ser, naturalmente, agravada pela introdução da barragem de Jirau, conforme já indicado pelos resultados dos estudos de remanso e vida útil. A novidade aqui é a indicação de tendência ao assoreamento nas condições atuais.

O trecho entre a Cachoeira do Jirau e as Ilhas situadas logo a jusante, que futuramente serão parte do reservatório de Santo Antônio, também apresentou ligeira tendência ao assoreamento.

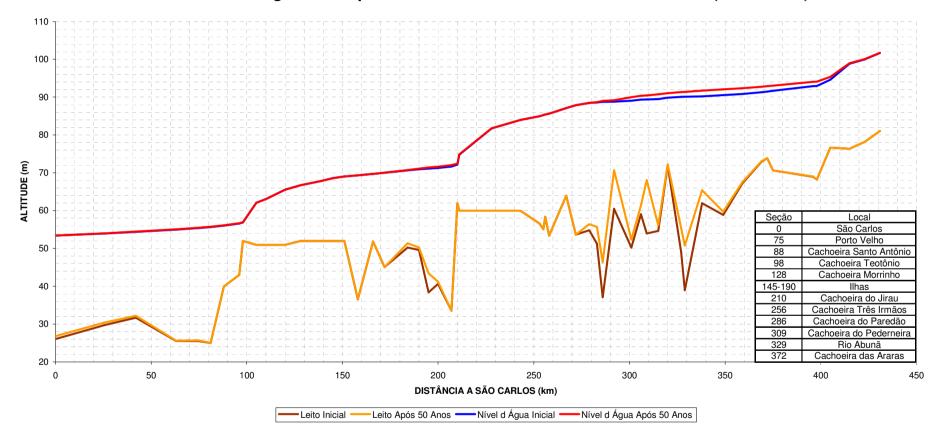
Uma característica comum desses dois trechos, conforme pode ser verificado no mapa de localização das seções apresentado no Desenho PJ-0576-G3-GR-DE-0001 a 0004, é a presença de ilhas, o que de certa forma indica que a tendência de assoreamento sugerida pela modelagem é real.

Todavia, estes resultados devem ser sempre considerados de forma cuidadosa, procurando se dar mais ênfase aos aspectos qualitativos que aos quantitativos, pois a modelagem realizada ainda apresenta simplificações importantes, que serão discutidas no item 6.6.

Esta abordagem mais qualitativa pode ser associada aos resultados das outras modelagens realizadas (remanso e vida útil), para produzir resultados mais consistentes. A modelagem com o HEC-6 é particularmente mais precisa na identificação dos trechos onde se espera que ocorram depósitos de material sólido ou erosão do leito fluvial.



Figura 6.13
Simulação Inicial do Trecho em Estudo Durante 50 Anos, em Condições Naturais (sem Barragens)
Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)





6.4. DESCRIÇÃO DOS CASOS SIMULADOS

Com o modelo HEC-6 ajustado foi possível simular a evolução do leito do rio Madeira ao longo do tempo, considerando a introdução dos aproveitamentos hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau, de forma a caracterizar as modificações esperadas em função da retenção de sedimentos nos reservatórios formados.

Um benefício importante da modelagem é facilitar a análise conjunta dos reservatórios, ou seja, permitir a identificação dos efeitos sinérgicos entre os mesmos. Sabe-se que o aporte de sedimento no reservatório do AHE Santo Antônio pode variar significativamente caso o AHE Jirau seja implantado ou não a montante, mas quantificar essa diferença em termos de risco de assoreamento é uma tarefa mais complexa, que pode ser realizada com auxílio do HEC-6.

Assim, a definição do conjunto de casos a serem simulados levou em conta as questões relativas à ordem cronológica de implantação dos reservatórios, considerando as possibilidades de implantação de cada um isoladamente e de ambos.

Outro aspecto considerado foi relativo à cota de operação do reservatório de Jirau, que é variável ao longo do ano. O modelo HEC-6 não dispõe de recursos para considerar, de forma automática, esta política de operação. Assim, de modo a contornar essa dificuldade, todas as simulações envolvendo o AHE Jirau foram feitas duas vezes, considerando sua operação no cota 90,00m e considerando sua operação numa cota média, 87,00 m, da mesma forma que o procedido nos estudos de vida útil apresentados no capitulo 5.

A simulação com o nível d'água na cota 90,00 m pode ser considerada conservadora com relação ao volume assoreado em Jirau, pois maximiza a capacidade de retenção de sedimentos no reservatório. Por outro lado, a simulação com o nível do reservatório em sua cota média, 87,00 m, é conservadora com relação ao efeito sinérgico sobre o reservatório de Santo Antônio, porque minimiza o volume de sedimento retido.

As simulações foram realizadas para um período máximo de 50 anos, que é considerado o período de vida útil dos empreendimentos. Buscando permitir a visualização da evolução da dinâmica do leito do rio Madeira ao longo desse período, foram realizadas simulações também para períodos parciais de 5, 10 e 20 anos.

Finalmente, foram consideradas também duas hipóteses de evolução da produção de sedimentos na bacia do rio Madeira, de acordo com a análise apresentada no item 3.3:

- Condição estabilizada considerando que o atual nível de produção de sedimentos seria mantido pelos próximos 50 anos;
- Condição crítica considerando que a produção de sedimentos da bacia deve crescer a uma taxa anual de 2% durante os próximos 50 anos.

A Tabela 6.14, a seguir, apresenta uma relação completa dos casos simulados.



Tabela 6.14 Descrição dos Casos Simulados

Caso	Descrição
Caso 0	Condições naturais do rio Madeira, sem barragens
Caso 1S	Implantação do AHE Santo Antônio
Caso 1J-87	Implantação do AHE Jirau – NA do reservatório na El. 87,00 m
Caso 1J-90	Implantação do AHE Jirau – NA do reservatório na El. 90,00 m
Caso 2-87	Implantação dos dois aproveitamentos, com Jirau na El. 87,00 m
Caso 2-90	Implantação dos dois aproveitamentos, com Jirau na El. 90,00 m

O Caso 0 permite identificar, caso existam, tendências de erosão ou assoreamento ao longo do curso natural do rio Madeira. As tendências de assoreamento na região dos reservatórios tendem a ser agravadas pelos mesmos, enquanto que as tendências de erosão, nesta mesma região, tendem a se estabilizar. As tendências de erosão a jusante dos locais das barragens podem também ser agravadas pelos empreendimentos.

Os Casos 1S e 1J procuram refletir os impactos de cada empreendimento considerado isoladamente, enquanto que o Caso 2 procura representar os impactos da implantação dos dois empreendimentos.

6.5. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Os resultados das simulações são apresentados de forma tabular, indicando a evolução dos perfis do leito do rio Madeira e dos níveis d'água ao longo do tempo (de 10 em 10 anos). Os níveis d'água são apresentados apenas para servir como referência à análise, tendo sido considerados os níveis d'água correspondentes à vazão média do mês de dezembro, que é muito próxima à vazão média de longo termo. Ao final deste item, depois dos quadros, são apresentadas Figuras mostrando os perfis de leito e de nível d'água no início e no final da simulação (50 anos), para cada caso simulado.

A Tabela 6.15, a seguir, relaciona os casos simulados, indicando o número das Tabelas e Figuras associados a cada caso.



Tabela 6.15 Relação das Simulações Realizadas, Tabelas e Figuras Associadas

		NA Jirau (m)	NA Santo Antônio (m)	Tabela	Figura
0 1: ~	Caso 0	-	-	6.16	6.17
Condição Estabilizada	Caso 1S	-	70,00	6.18	6.19
(sem	Caso 1J-90	90,00	-	6.20	6.4
crescimento da	Caso 2-90	90,00	70,00	6.22	6.23
produção de sedimento)	Caso 1J-87	87,00	-	6.24	6.25
seamento)	Caso 2-87	87,00	70,00	6.26	6.27
	Caso 0-C	-	-	6.28	6.29
Condição Crítica	Caso 1S-C	-	70,00	6.30	6.31
(produção de	Caso 1J-90-C	90,00	-	6.32	6.33
sedimento	Caso 2-90-C	90,00	70,00	6.34	6.35
crescendo a 2% ao ano)	Caso 1J-87-C	87,00	-	6.36	6.37
40 4110)	Caso 2-87-C	87,00	70,00	6.38	6.39



6.5.1 <u>Simulações Considerando um Condição Estabilizada de Produção de</u> Sedimento no Rio Madeira

Tabela 6.16 Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 0 - Condições Naturais (sem barragens)

PERIODO	1A 0	NOS	5 AN	IOS	10 A	NOS	20 A	NOS	50 A	NOS
SEÇAO	TALVEGUE	NA								
431	81.05	101.66	81.05	101.67	81.05	101.68	81.05	101.71	81.05	101.73
423	78.15	99.97	78.15	99.99	78.15	100.01	78.15	100.07	78.15	100.08
415	76.35	98.82	76.35	98.84	76.35	98.88	76.35	98.95	76.35	98.97
405	76.66	94.62	76.66	94.79	76.66	94.96	76.66	95.29	76.66	95.38
398	68.24	92.97	68.24	93.24	68.24	93.51	68.24	93.99	68.24	94.13
396	68.95	92.91	68.99	93.18	69.02	93.45	69.06	93.95	69.07	94.08
375	70.65	91.66	70.66	92.00	70.65	92.33	70.65	92.93	70.65	93.08
372	73.85	91.46	73.86	91.81	73.86	92.16	73.86	92.78	73.86	92.93
369	72.94	91.29	72.98	91.66	72.98	92.02	73.00	92.65	73.11	92.81
359	67.15	90.82	67.49	91.20	67.54	91.57	67.57	92.24	67.49	92.40
349	58.86	90.52	59.17	90.91	59.63	91.28	60.40	91.94	60.93	92.10
338	61.97	90.21	65.68	90.45	64.49	90.89	65.09	91.56	64.43	91.74
329	38.98	90.12	48.55	90.17	51.83	90.54	51.21	91.24	53.11	91.39
327	49.07	90.07	50.58	90.14	54.75	90.47	55.80	91.15	52.95	91.39
320	71.96	89.87	71.96	89.92	71.97	90.19	72.15	90.87	73.73	91.13
315	54.62	89.48	54.62	89.54	54.62	89.84	55.05	90.57	54.62	90.82
309	53.95	89.39	56.51	89.42	63.48	89.56	67.58	90.20	69.44	90.48
306	59.01	89.33	59.01	89.36	59.01	89.51	59.83	90.15	60.44	90.40
301	50.26	89.07	50.26	89.10	51.85	89.22	53.36	89.85	53.86	90.05
292	60.47	88.80	61.50	88.81	64.45	88.81	69.63	89.16	70.46	89.22
286	37.09	88.75	37.09	88.75	37.28	88.75	47.80	88.97	47.93	89.04
283	51.24	88.59	51.24	88.59	51.24	88.59	53.12	88.66	54.75	88.70
279	54.80	88.45	54.80	88.45	54.80	88.45	55.96	88.50	57.52	88.52
272	53.68	87.87	53.68	87.87	53.68	87.87	53.68	87.87	53.68	87.87
267	63.95	87.10	63.95	87.10	63.95	87.10	63.95	87.10	63.95	87.09
258	53.37	85.61	53.37	85.61	53.37	85.61	53.37	85.61	53.37	85.61
256	58.37	85.40	58.37	85.40	58.37	85.40	58.37	85.40	58.38	85.40
255	55.05	85.26	55.05	85.26	55.05	85.26	55.05	85.26	55.05	85.25
253	56.57	84.95	56.57	84.95	56.57	84.95	56.57	84.95	56.57	84.94
243	59.95	83.97	59.95	83.97	59.95	83.97	59.95	83.97	59.95	83.96
228	59.95	81.76	59.95	81.76	59.95	81.76	59.95	81.77	59.95	81.75
211	59.95	74.76	59.95	74.77	59.95	74.77	59.95	74.79	59.95	74.73
210	61.97	72.19	61.97	72.19	61.97	72.19	61.97	72.23	61.97	72.11
207	33.56	71.68	33.56	71.68	33.56	71.68	33.56	71.73	34.49	72.11
200	40.63	71.27	40.63	71.28	40.63	71.28	41.17	71.32	41.18	71.71
195	38.37	71.13	38.40	71.13	38.47	71.13	39.80	71.15	43.68	71.45
190	49.59	70.97	49.59	70.97	49.59	70.97	49.59	70.97	50.48	71.19
184	50.23	70.65	50.23	70.64	50.23	70.64	50.23	70.64	51.63	70.79
172	45.05	70.02	45.05	70.02	45.05	70.02	45.05	70.02	45.33	70.05
166	51.85	69.74	51.85	69.73	51.85	69.73	51.85	69.73	51.90	69.75
158	36.58	69.33	36.58	69.32	36.58	69.32	36.58	69.32	36.83	69.33
151	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04
145	51.97	68.61	51.97	68.60	51.97	68.60	51.97	68.60	51.97	68.61
139	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89
128	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.75
120	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.60
110	50.96	63.16	50.96	63.16	50.96	63.16	50.96	63.16	50.96	63.19
105	50.96	62.28	50.96	62.28	50.96	62.28	50.96	62.28	50.96	62.33
98	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.01
96	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	54.71
88	39.96	54.15	39.96	54.14	39.96	54.14	39.96	54.15	39.96	53.47
81	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	25.00	53.47
75	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.08
63	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33
42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.23
26	29.78	50.38	29.78	50.38	29.78	50.38	29.78	50.38	29.80	50.38
0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.10	49.12



Figura 6.17
Simulação do Trecho em Estudo Durante 50 Anos – Caso 0 – (Condições Naturais)
Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

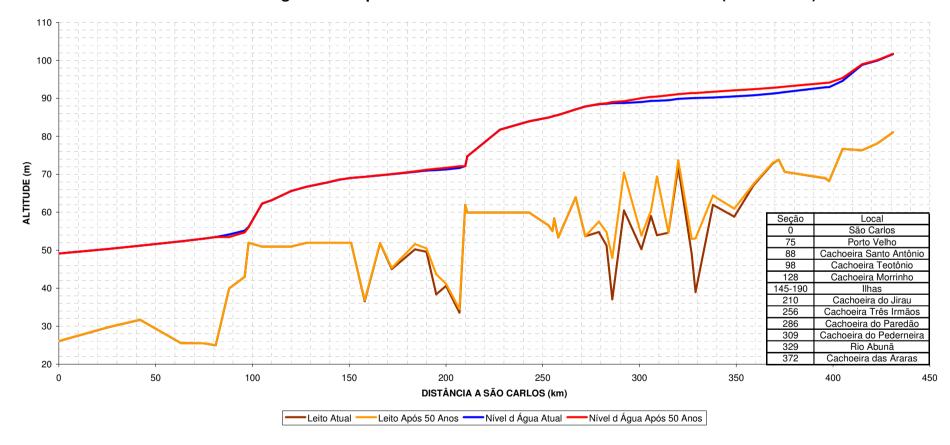




Tabela 6.18 Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 1S – Após a Construção do AHE Santo Antônio

SEÇÃO TALVEGUE NA TALVEGUE	PERIODO	1A 0	NOS	5 AN	NOS	10 A	NOS	20 A	NOS	50 A	NOS
431 81.05 101.67 81.05 101.68 81.05 101.69 81.05 101.72 81.05 101.74 423 78.15 99.97 78.15 99.99 78.15 100.01 78.15 100.07 78.15 100.07 415 76.55 98.82 76.35 98.88 76.35 98.96 76.35 98.99 405 76.66 94.63 76.66 94.00 76.66 94.93 76.66 95.33 76.66 94.93 396 68.95 92.93 68.99 93.21 68.02 93.48 69.06 94.00 69.11 94.1 375 70.65 91.69 70.65 92.37 70.65 92.97 70.65 93.1 372 73.85 91.48 73.86 91.89 91.70 72.98 92.17 70.65 92.31 70.65 92.31 73.86 93.0 38.91 91.70 72.98 91.70 72.98 92.15 73.86 92.31 <th></th>											
423 78.15 99.97 78.15 99.99 78.15 100.01 78.15 100.07 78.15 100.1 415 76.35 98.82 76.35 98.85 76.35 98.88 76.35 98.96 76.35 98.9 76.35 98.9 76.35 98.9 76.35 98.9 76.35 98.9 76.35 98.9 76.35 98.9 76.35 98.9 76.35 98.9 76.35 98.9 76.35 98.9 76.35 98.9 76.66 95.33 76.66 95.33 76.66 95.33 76.66 95.33 76.66 95.34 68.06 94.05 68.24 94.05 68.24 94.05 68.24 94.05 68.24 94.05 68.24 94.2 93.34 68.06 96.06 96.06 96.06 96.06 96.06 96.06 96.06 96.07 96.5 91.32 70.65 92.99 70.65 92.93 70.65 92.37 70.65 92.93 70.65 92.93	,										101.73
415 76.35 98.82 76.35 98.85 76.35 98.88 76.35 98.96 76.35 98.9 405 76.66 94.80 76.66 94.98 76.66 95.33 76.66 95.4 396 68.24 92.93 68.99 93.21 68.24 93.55 68.24 94.05 68.24 94.2 376 70.65 91.69 70.65 92.99 70.65 92.99 70.65 92.99 70.65 92.99 70.65 92.97 70.65 92.99 70.65 92.91 70.65 92.99 70.65 93.1 372 73.85 91.48 73.86 91.87 73.86 92.19 73.86 92.84 73.86 91.21 67.54 91.61 67.56 92.31 67.49 91.22 67.54 91.61 67.56 92.31 67.49 91.24 67.54 91.32 60.40 92.01 61.03 92.21 61.03 92.23 70.96 92.31 67.46 92											100.10
398 68.24 92.99 68.24 93.27 68.24 93.53 68.24 94.05 68.24 94.2 396 68.95 92.33 68.99 93.21 69.02 93.48 69.06 94.00 69.11 94.1 375 70.65 92.93 70.65 92.93 70.65 92.99 70.65 92.99 70.65 93.13 372 73.85 91.48 73.86 91.85 73.86 92.19 73.86 92.41 73.12 92.99 359 67.15 90.85 67.49 91.24 67.54 91.61 67.56 92.21 67.46 92.5 349 58.86 90.56 59.17 90.94 59.63 91.32 60.40 92.01 61.03 92.21 338 61.97 90.24 65.75 90.49 46.57 90.93 65.16 91.62 64.51 91.8 329 38.98 90.15 48.51 90.21 51.80 9	415	76.35			98.85	76.35	98.88	76.35	98.96	76.35	98.98
398 68.24 92.99 68.24 93.27 68.24 93.53 68.24 94.05 68.24 94.2 396 68.95 92.33 68.99 93.21 69.02 93.48 69.06 94.00 69.11 94.1 375 70.65 92.93 70.65 92.99 70.65 92.99 70.65 92.99 70.65 93.1 372 73.85 91.48 73.86 91.85 73.86 92.19 73.86 92.41 73.12 92.99 359 67.15 90.85 67.49 91.24 67.54 91.61 67.56 92.21 67.46 92.51 349 58.86 90.56 59.17 90.94 59.63 91.32 60.40 92.01 61.03 92.53 338 61.97 90.24 65.75 90.49 46.57 90.93 65.16 91.62 64.51 91.8 329 38.98 90.15 48.51 90.21 51.80 9	405				94.80						95.44
396 68.95 92.93 68.99 93.21 69.02 93.48 69.06 94.00 69.11 94.1 375 70.65 91.69 70.66 92.03 70.65 92.37 70.65 92.99 70.65 93.1 369 72.94 91.32 72.98 91.70 72.98 92.05 73.03 92.71 73.12 92.9 349 58.86 90.56 59.17 90.94 59.63 91.32 60.40 92.01 61.03 92.21 349 58.86 90.56 59.17 90.94 59.63 91.32 60.40 92.01 61.03 92.2 338 61.97 90.24 65.75 90.49 64.57 90.93 65.16 91.62 64.51 91.8 329 38.98 90.15 48.07 90.11 50.65 90.18 54.90 90.51 55.85 91.22 52.95 91.4 320 71.96 89.91 71.96 89.											94.20
375 70.65 91.69 70.66 92.03 70.65 92.37 70.65 92.99 70.65 93.1 372 73.85 91.48 73.86 91.85 73.86 92.19 73.86 92.84 73.86 93.0 369 72.94 91.32 72.98 91.70 72.98 92.05 73.03 92.71 73.12 92.93 359 67.15 90.85 67.49 91.24 67.54 91.61 67.56 92.31 67.46 92.5 349 58.86 90.56 59.17 90.94 59.63 91.32 60.40 92.01 61.03 92.23 338 61.97 90.24 65.75 90.94 64.57 90.93 65.16 91.62 64.51 91.8 329 38.98 90.15 48.51 90.21 51.80 90.25 52.95 91.4 320 71.96 89.91 71.96 89.96 71.97 90.23 72.26 90					93.21	69.02		69.06		69.11	94.15
372 73.85 91.48 73.86 91.85 73.86 92.19 73.86 92.84 73.86 93.0 369 72.94 91.32 72.98 91.70 72.98 92.05 73.03 92.71 73.12 92.9 359 67.15 90.85 67.49 91.24 67.54 91.61 67.56 92.31 67.46 92.51 349 58.86 90.56 59.17 90.94 59.63 91.32 60.40 92.01 61.03 92.21 338 61.97 90.24 65.75 90.93 66.16 91.62 46.451 91.8 329 38.98 90.15 48.51 90.21 51.80 90.58 51.21 91.32 53.19 91.4 327 49.07 90.11 50.65 90.18 54.90 90.51 55.85 91.22 52.95 91.4 315 54.62 89.52 54.62 89.58 54.62 89.89 55.12 9	375		91.69		92.03		92.37		92.99	70.65	93.17
369 72.94 91.32 72.98 91.70 72.98 92.05 73.03 92.71 73.12 92.93 359 67.15 90.85 67.49 91.24 67.54 91.61 67.56 92.31 67.46 92.53 349 58.86 90.56 59.17 90.94 59.63 91.32 60.40 92.01 61.03 92.2 338 61.97 90.24 65.75 90.49 64.57 90.93 65.16 91.62 64.51 91.83 329 38.98 90.15 56.65 90.18 54.90 90.51 55.85 91.22 52.95 91.4 320 71.96 89.91 71.96 89.96 71.97 90.23 72.26 90.94 74.01 91.2 315 54.62 89.52 54.62 89.58 54.62 89.89 55.12 90.64 54.62 99.93 306 59.01 89.38 59.01 89.40 59.01											93.02
349 58.86 90.56 59.17 90.94 59.63 91.32 60.40 92.01 61.03 92.2 338 61.97 90.24 65.75 90.49 64.57 90.93 65.16 91.62 64.51 91.8 329 38.98 90.15 48.51 90.21 51.80 90.58 51.21 91.32 53.19 91.4 327 49.07 90.11 50.65 90.18 54.90 90.51 55.85 91.22 52.95 91.4 320 71.96 89.91 71.96 89.96 71.97 90.23 72.26 90.94 74.01 91.2 315 54.62 89.58 54.62 89.89 55.12 90.64 54.62 90.93 309 53.95 89.43 56.50 89.46 63.77 89.60 68.02 90.27 69.95 90.5 301 50.26 89.11 50.26 89.14 51.87 89.26 53.83 39.	369		91.32		91.70		92.05		92.71		92.90
349 58.86 90.56 59.17 90.94 59.63 91.32 60.40 92.01 61.03 92.2 338 61.97 90.24 65.75 90.49 64.57 90.93 65.16 91.62 64.51 91.8 329 38.98 90.15 48.61 90.21 51.80 90.58 51.21 91.32 53.19 91.4 327 49.07 90.11 50.65 90.18 54.90 90.51 55.85 91.22 52.95 91.4 320 71.96 89.91 71.96 89.96 71.97 90.23 72.26 90.94 74.01 91.2 309 53.95 89.43 56.50 89.58 54.62 89.98 55.12 90.64 54.62 90.93 309 53.95 89.43 56.50 89.46 63.77 89.60 68.02 90.27 69.95 90.5 301 50.26 89.11 50.26 89.14 51.87 89.	359	67.15	90.85	67.49	91.24	67.54	91.61	67.56	92.31	67.46	92.50
329 38.98 90.15 48.51 90.21 51.80 90.58 51.21 91.32 53.19 91.4 327 49.07 90.11 50.65 90.18 54.90 90.51 55.85 91.22 52.95 91.4 320 71.96 89.91 71.96 89.96 71.97 90.23 72.26 90.94 74.01 91.2 315 54.62 89.52 54.62 89.58 54.62 89.89 55.12 90.64 54.62 90.9 309 53.95 89.43 56.50 89.46 63.77 89.60 68.02 90.27 69.95 90.5 306 59.01 89.38 59.01 89.40 59.01 89.55 59.55 90.22 60.57 90.5 301 50.26 89.11 50.26 89.14 51.87 89.26 53.83 89.92 54.34 90.1 292 60.47 88.85 61.48 88.86 64.32 88.86 69.66 89.21 70.56 89.3 286 37.09 88.80 37.09 88.80 37.26 88.80 48.00 89.01 48.71 89.1 283 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 53.24 88.64 53.24 88.64 53.24 88.64 53.24 88.65 57.79 88.6 279 54.80 88.50 54.80 88.51 54.80 88.51 55.84 88.55 57.79 88.6 272 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 267 63.95 87.16 63.95 87.16 63.95 87.16 63.95 87.17 63.95 87.2 258 53.37 85.69 53.37 85.69 53.37 85.69 53.37 85.70 53.37 85.70 258 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.09 59.96 84.1 228 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.09 59.96 84.1 229 54.80 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.09 59.96 84.1 220 40.63 72.23 40.68 72.33 40.74 72.83 41.33 72.89 43.71 73.73 243 59.95 84.08 59.95 75.41	349	58.86	90.56	59.17	90.94		91.32	60.40	92.01	61.03	92.20
329 38.98 90.15 48.51 90.21 51.80 90.58 51.21 91.32 53.19 91.4 327 49.07 90.11 50.65 90.18 54.90 90.51 55.85 91.22 52.95 91.4 320 71.96 89.91 71.96 89.96 71.97 90.23 72.26 90.94 74.01 91.2 315 54.62 89.52 54.62 89.58 54.62 89.89 55.12 90.64 54.62 90.9 309 53.95 89.43 56.50 89.46 63.77 89.60 68.02 90.27 69.95 90.5 301 50.26 89.11 50.26 89.14 51.87 89.26 53.83 89.92 54.34 90.1 292 60.47 88.85 61.48 88.86 64.32 88.86 69.66 89.21 70.56 89.3 286 37.09 88.80 37.26 88.80 48.01 48.7	338	61.97	90.24	65.75	90.49	64.57	90.93	65.16	91.62	64.51	91.84
320 71.96 89.91 71.96 89.96 71.97 90.23 72.26 90.94 74.01 91.2 315 54.62 89.52 54.62 89.89 55.12 90.64 54.62 90.93 309 53.95 89.43 56.50 89.46 63.77 89.60 68.02 90.27 69.95 90.5 306 59.01 89.38 59.01 89.40 59.01 89.55 59.55 90.22 60.57 90.5 301 50.26 89.11 50.26 89.14 51.87 89.26 53.83 89.92 54.34 90.1 292 60.47 88.85 61.48 88.86 64.32 88.86 69.66 89.21 70.56 89.3 286 37.09 88.80 37.09 88.80 37.26 88.80 48.00 89.01 48.71 89.1 283 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.					90.21						91.49
315 54.62 89.52 54.62 89.58 54.62 89.89 55.12 90.64 54.62 90.9 309 53.95 89.43 56.50 89.46 63.77 89.60 68.02 90.27 69.95 90.5 301 50.26 89.11 50.26 89.14 51.87 89.26 53.83 89.92 54.34 90.11 292 60.47 88.85 61.48 88.86 64.32 88.86 69.66 89.21 70.56 89.3 286 37.09 88.80 37.09 88.80 37.09 88.80 37.09 88.81 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.61 55.84 88.71 54.71 89.3 279 54.80 88.50 54.80 88.51 54.80 88.51 55.84 88.55 57.79 88.6 272 53.68 87.93 53.68	327	49.07	90.11	50.65	90.18	54.90	90.51	55.85	91.22	52.95	91.49
309 53.95 89.43 56.50 89.46 63.77 89.60 68.02 90.27 69.95 90.5 306 59.01 89.38 59.01 89.40 59.01 89.55 59.55 90.22 60.57 90.51 301 50.26 89.11 50.26 89.14 51.87 89.26 53.83 89.92 54.34 90.11 292 60.47 88.85 61.48 88.86 64.32 88.86 69.66 89.21 70.56 89.3 286 37.09 88.80 37.09 88.80 37.26 88.80 48.00 89.01 48.71 89.1 283 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 55.24 88.55 57.79 88.6 279 54.80 88.50 54.80 88.51 55.84 88.55 57.79 88.6 272 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87	320	71.96	89.91	71.96	89.96	71.97	90.23			74.01	91.22
309 53.95 89.43 56.50 89.46 63.77 89.60 68.02 90.27 69.95 90.5 306 59.01 89.38 59.01 89.40 59.01 89.55 59.55 90.22 60.57 90.51 301 50.26 89.11 50.26 89.14 51.87 89.26 53.83 89.92 54.34 90.11 292 60.47 88.85 61.48 88.86 64.32 88.86 69.66 89.21 70.56 89.3 286 37.09 88.80 37.09 88.80 37.26 88.80 48.00 89.01 48.71 89.1 283 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 55.24 88.55 57.79 88.6 279 54.80 88.50 54.80 88.51 55.84 88.55 57.79 88.6 272 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87	315									54.62	90.92
306 59.01 89.38 59.01 89.40 59.01 89.55 59.55 90.22 60.57 90.5 301 50.26 89.11 50.26 89.14 51.87 89.26 53.83 89.92 54.34 90.1 292 60.47 88.85 61.48 88.86 64.32 88.86 69.66 89.21 70.56 89.3 286 37.09 88.80 37.28 88.80 48.00 89.01 48.71 89.1 283 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 53.08 88.71 54.71 88.8 279 54.80 88.50 54.80 88.51 54.80 88.51 55.84 88.55 57.79 88.6 272 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 <										69.95	90.57
301 50.26 89.11 50.26 89.14 51.87 89.26 53.83 89.92 54.34 90.11 292 60.47 88.85 61.48 88.86 64.32 88.86 69.66 89.21 70.56 89.3 286 37.09 88.80 37.09 88.80 37.26 88.80 48.00 89.01 48.71 89.10 283 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 53.08 88.71 54.71 88.8 279 54.80 88.50 54.80 88.51 55.84 88.55 57.79 88.6 272 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68						59.01			90.22		90.50
292 60.47 88.85 61.48 88.86 64.32 88.86 69.66 89.21 70.56 89.30 286 37.09 88.80 37.09 88.80 37.26 88.80 48.00 89.01 48.71 89.11 283 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 55.24 88.61 55.84 88.55 57.79 88.6 279 54.80 88.50 54.80 88.51 54.80 88.51 55.84 88.55 57.79 88.6 272 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.6											90.16
286 37.09 88.80 37.09 88.80 37.26 88.80 48.00 89.01 48.71 89.11 283 51.24 88.64 51.24 88.64 51.24 88.64 53.08 88.71 54.71 88.8 279 54.80 88.50 54.80 88.51 54.80 88.51 55.84 88.55 57.79 88.6 272 53.68 87.93 <t< th=""><th>292</th><th>60.47</th><th>88.85</th><th></th><th>88.86</th><th></th><th></th><th></th><th></th><th></th><th>89.36</th></t<>	292	60.47	88.85		88.86						89.36
279 54.80 88.50 54.80 88.51 54.80 88.51 55.84 88.55 57.79 88.6 272 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 267 63.95 87.16 63.95 87.16 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.22 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49									89.01		89.16
279 54.80 88.50 54.80 88.51 54.80 88.51 55.84 88.55 57.79 88.6 272 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 53.68 87.93 267 63.95 87.16 63.95 87.16 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.17 63.95 87.22 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49	283	51.24	88.64	51.24	88.64	51.24	88.64	53.08	88.71	54.71	88.82
272 53.68 87.93 75.05 85.34 55.05 85.37 85.69 53.37 85.69 53.37 85.70 53.37 85.70 53.37 85.70 53.37 85.70 53.37 85.70 53.37 85.50 55.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.34 55.05 85.34 55.05 85.34 55.05 85.34 55.05 85.34 55.05 85.34 55.05 85.49 85.35 5	279	54.80	88.50		88.51	54.80	88.51	55.84		57.79	88.63
267 63.95 87.16 63.95 87.16 63.95 87.17 63.95 87.2 258 53.37 85.69 53.37 85.69 53.37 85.70 53.37 85.7 256 58.37 85.48 58.37 85.49 58.37 85.49 58.37 85.49 58.38 85.7 255 55.05 85.34 55.05 85.34 55.05 85.34 55.05 85.35 55.05 85.4 253 56.57 85.04 56.57 85.05 56.57<	272	53.68			87.93			53.68		53.68	87.98
256 58.37 85.48 58.37 85.49 58.37 85.49 58.38 85.50 255 55.05 85.34 55.05 85.34 55.05 85.34 55.05 85.35 55.05 85.4 253 56.57 85.04 56.57 85.05 56.57 85.05 56.57 85.05 56.57 85.05 56.57 85.12 243 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.09 59.96 84.19 228 59.95 81.91 59.95 81.91 59.95 81.91 59.95 81.92 59.95 82.0 211 59.95 75.41 59.95 75.41 59.95 75.46 59.95 75.8 210 61.97 73.39 61.97 73.40 61.97 73.40 61.97 73.48 61.97 74.1 207 33.56 73.09 33.56 73.10 33.56 73.10 33.56 7						63.95					87.22
256 58.37 85.48 58.37 85.49 58.37 85.49 58.38 85.50 255 55.05 85.34 55.05 85.34 55.05 85.34 55.05 85.35 55.05 85.4 253 56.57 85.04 56.57 85.05 56.57 85.05 56.57 85.05 56.57 85.05 56.57 85.12 243 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.09 59.96 84.19 228 59.95 81.91 59.95 81.91 59.95 81.91 59.95 81.92 59.95 82.0 211 59.95 75.41 59.95 75.41 59.95 75.46 59.95 75.8 210 61.97 73.39 61.97 73.40 61.97 73.40 61.97 73.48 61.97 74.1 207 33.56 73.09 33.56 73.10 33.56 73.10 33.56 7	258	53.37	85.69	53.37	85.69	53.37	85.69	53.37	85.70	53.37	85.76
253 56.57 85.04 56.57 85.05 56.57 85.05 56.57 85.05 56.57 85.12 243 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.09 59.96 84.1 228 59.95 81.91 59.95 81.91 59.95 81.91 59.95 81.92 59.95 82.0 211 59.95 75.41 59.95 75.41 59.95 75.46 59.95 75.46 210 61.97 73.39 61.97 73.40 61.97 73.40 61.97 73.48 61.97 74.1 207 33.56 73.09 33.56 73.10 33.56 73.10 33.56 73.17 36.27 74.1 200 40.63 72.82 40.68 72.83 40.74 72.83 41.33 72.89 43.71 73.7 195 38.37 72.73 38.44 72.73 38.46 72.73 40.68 72.76 45.62 73	256	58.37	85.48		85.49		85.49	58.37	85.49	58.38	85.56
243 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.09 59.96 84.1 228 59.95 81.91 59.95 81.91 59.95 81.91 59.95 82.0 211 59.95 75.41 59.95 75.41 59.95 75.41 59.95 75.46 59.95 75.46 210 61.97 73.39 61.97 73.40 61.97 73.48 61.97 74.1 207 33.56 73.09 33.56 73.10 33.56 73.10 33.56 73.10 33.56 73.17 36.27 74.1 200 40.63 72.82 40.68 72.83 40.74 72.83 41.33 72.89 43.71 73.7 195 38.37 72.73 38.44 72.73 38.46 72.73 40.68 72.76 45.62 73.5 190 49.59 72.63 49.59 72.63 49.79 72.64 52.91 73.	255	55.05	85.34	55.05	85.34	55.05	85.34	55.05	85.35	55.05	85.42
243 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.08 59.95 84.09 59.96 84.1 228 59.95 81.91 59.95 81.91 59.95 81.91 59.95 81.92 59.95 82.0 211 59.95 75.41 59.95 75.41 59.95 75.46 59.95 75.41 59.95 75.40 61.97 73.40 61.97 73.48 61.97 73.48 61.97 73.48 61.97 73.48	253	56.57	85.04	56.57	85.05	56.57	85.05	56.57	85.05	56.57	85.12
211 59.95 75.41 59.95 75.41 59.95 75.41 59.95 75.46 59.95 75.86 210 61.97 73.39 61.97 73.40 61.97 73.40 61.97 73.48 61.97 74.11 207 33.56 73.09 33.56 73.10 33.56 73.17 36.27 74.11 200 40.63 72.82 40.68 72.83 40.74 72.83 41.33 72.89 43.71 73.7 195 38.37 72.73 38.44 72.73 38.46 72.73 40.68 72.76 45.62 73.5 190 49.59 72.63 49.59 72.63 49.59 72.63 49.79 72.64 52.91 73.3 184 50.23 72.44 50.23 72.45 50.23 72.45 50.23 72.46 53.51 73.0 172 45.05 72.09 45.05 72.09 45.05 72.10 47.87 7	243	59.95	84.08	59.95	84.08	59.95	84.08	59.95	84.09	59.96	84.17
210 61.97 73.39 61.97 73.40 61.97 73.40 61.97 73.48 61.97 74.13 207 33.56 73.09 33.56 73.10 33.56 73.10 33.56 73.17 36.27 74.13 200 40.63 72.82 40.68 72.83 40.74 72.83 41.33 72.89 43.71 73.77 195 38.37 72.73 38.44 72.73 38.46 72.73 40.68 72.76 45.62 73.57 190 49.59 72.63 49.59 72.63 49.79 72.64 52.91 73.3 184 50.23 72.44 50.23 72.45 50.23 72.45 50.23 72.46 53.51 73.0 172 45.05 72.09 45.05 72.09 45.05 72.10 47.87 72.4 166 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85	228	59.95	81.91	59.95	81.91	59.95	81.91	59.95	81.92	59.95	82.03
210 61.97 73.39 61.97 73.40 61.97 73.40 61.97 73.48 61.97 74.13 207 33.56 73.09 33.56 73.10 33.56 73.10 33.56 73.17 36.27 74.13 200 40.63 72.82 40.68 72.83 40.74 72.83 41.33 72.89 43.71 73.77 195 38.37 72.73 38.44 72.73 38.46 72.73 40.68 72.76 45.62 73.57 190 49.59 72.63 49.59 72.63 49.79 72.64 52.91 73.3 184 50.23 72.44 50.23 72.45 50.23 72.45 50.23 72.46 53.51 73.0 172 45.05 72.09 45.05 72.09 45.05 72.10 47.87 72.4 166 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85	211	59.95	75.41	59.95	75.41	59.95	75.41	59.95	75.46	59.95	75.88
200 40.63 72.82 40.68 72.83 40.74 72.83 41.33 72.89 43.71 73.73 195 38.37 72.73 38.44 72.73 38.46 72.73 40.68 72.76 45.62 73.5 190 49.59 72.63 49.59 72.63 49.79 72.64 52.91 73.3 184 50.23 72.44 50.23 72.45 50.23 72.45 50.23 72.46 53.51 73.0 172 45.05 72.09 45.05 72.09 45.05 72.10 47.87 72.4 166 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 72.2	210	61.97	73.39	61.97	73.40	61.97		61.97	73.48	61.97	74.13
195 38.37 72.73 38.44 72.73 38.46 72.73 40.68 72.76 45.62 73.5 190 49.59 72.63 49.59 72.63 49.59 72.63 49.79 72.64 52.91 73.3 184 50.23 72.44 50.23 72.45 50.23 72.45 50.23 72.45 50.23 72.46 53.51 73.0 172 45.05 72.09 45.05 72.09 45.05 72.10 47.87 72.4 166 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 72.09 72.22	207	33.56	73.09	33.56	73.10	33.56	73.10	33.56	73.17	36.27	74.13
190 49.59 72.63 49.59 72.63 49.59 72.63 49.79 72.64 52.91 73.3 184 50.23 72.44 50.23 72.45 50.23 72.45 50.23 72.45 50.23 72.46 53.51 73.0 172 45.05 72.09 45.05 72.09 45.05 72.10 47.87 72.4 166 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 72.09 72.00 <td< th=""><th>200</th><th>40.63</th><th>72.82</th><th>40.68</th><th>72.83</th><th>40.74</th><th>72.83</th><th>41.33</th><th>72.89</th><th>43.71</th><th>73.79</th></td<>	200	40.63	72.82	40.68	72.83	40.74	72.83	41.33	72.89	43.71	73.79
184 50.23 72.44 50.23 72.45 50.23 72.45 50.23 72.45 50.23 72.46 53.51 73.00 172 45.05 72.09 45.05 72.09 45.05 72.10 47.87 72.4 166 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 72.09 45.05 72.10 47.87 72.4	195	38.37	72.73	38.44	72.73	38.46	72.73	40.68	72.76	45.62	73.57
172 45.05 72.09 45.05 72.09 45.05 72.09 45.05 72.10 47.87 72.4 166 51.85 71.94 <th>190</th> <th>49.59</th> <th>72.63</th> <th>49.59</th> <th>72.63</th> <th>49.59</th> <th>72.63</th> <th>49.79</th> <th>72.64</th> <th>52.91</th> <th>73.35</th>	190	49.59	72.63	49.59	72.63	49.59	72.63	49.79	72.64	52.91	73.35
166 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.94 51.85 71.96 53.12 72.2	184	50.23	72.44	50.23	72.45	50.23	72.45	50.23	72.46	53.51	73.02
	172	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.10	47.87	72.44
158 36.58 71.71 36.58 71.72 36.58 71.72 36.58 71.73 38.33 71.9											72.24
	158	36.58	71.71	36.58	71.72	36.58	71.72	36.58	71.73	38.33	71.97
											71.78
											71.56
		51.97						51.97			71.34
											71.05
	120	50.96									70.78
				50.96							70.47
											70.40
								53.05			70.27
											70.24
											70.10
				24.99			53.47			24.99	53.47
	75	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48		25.48	53.07
		25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55		25.55	52.33
42 31.70 51.22 31.	42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22
26 29.78 50.38 29.78 50.37 29.78 50.37 29.78 50.37 29.78 50.37 29.78 50.37 29.78 50.37 29.78 50.37 29.78 50.37 50.37 29.78 50.37 29		29.78	50.38	29.78	50.37		50.37	29.78		29.78	50.37
0 26.06 49.12 26.06 49.12 26.06 49.12 26.06 49.12 26.06 49.12	0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12



Figura 6.19
Simulação do Trecho em Estudo Durante 50 Anos – Caso 1S – Após a Construção do AHE Santo Antônio Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

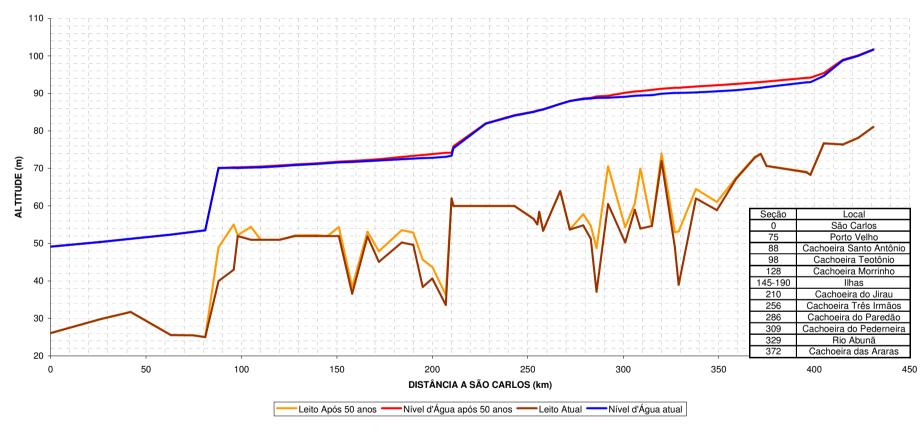




Tabela 6.20 Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 1J-90 – Após a Construção do AHE Jirau – El. 90,00 m

					ıruçao					
PERIODO		NOS		VOS		NOS	20 A			NOS
SEÇÃO	TALVEGUE		TALVEGUE		TALVEGUE		TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA
431	81.05	101.92	81.05	101.97	81.05	102.03	81.05	102.15	81.05	102.43
423	78.15	100.41	78.15	100.50	78.15	100.60	78.15	100.79	78.15	101.21
415	76.35	99.40	76.35	99.51	76.35	99.64	76.35	99.88	76.35	100.40
405	76.66	96.67	76.66	96.88	76.66	97.14	76.66	97.65	76.66	98.67
398	68.24	95.79	68.25	96.03	68.25	96.34	68.25	96.92	68.28	98.11
396	68.95	95.75	69.59	95.99	70.13	96.29	71.51	96.87	74.41	98.02
375	70.65	95.02	70.66	95.26	70.66	95.56	70.67	96.11	70.68	97.22
372	73.85	94.91	73.87	95.16	73.92	95.47	74.41	96.02	76.38	97.11
369	72.94	94.83	73.07	95.08	73.17	95.38	73.77	95.94	74.97	97.01
359	67.15	94.53	67.24	94.78	67.22	95.09	67.21	95.65	67.67	96.73
349	58.86	94.32	61.49	94.53	61.31	94.85	62.57	95.40	65.00	96.44
338	61.97	94.13	66.46	94.20	67.17	94.52	66.54	95.09	66.79	96.14
329	38.98	94.06	44.89	94.09	53.39	94.24	53.59	94.84	55.92	95.86
327	49.07	94.04	50.48	94.06	56.26	94.19	58.20	94.77	56.87	95.86
320	71.96	93.94	71.98	93.95	73.76	94.01	75.19	94.55	78.92	95.56
315	54.62	93.83	55.21	93.84	57.44	93.86	64.21	94.27	63.39	95.33
309	53.95	93.78	54.62	93.64	55.67	93.80	64.01	94.27	67.63	95.04
		93.78								
306 301	59.01 50.26	93.75	59.02 50.87	93.76 93.68	59.18 51.60	93.77 93.68	66.65 57.58	93.93 93.72	65.81 62.87	94.95 94.67
292	60.47	93.61	60.80	93.61	61.14	93.61	62.68	93.61	75.05	94.20
286	37.09	93.58	37.09	93.58	37.09	93.58	37.16	93.58	50.63	93.98
283	51.24	93.53	51.24	93.53	51.24	93.53	51.24	93.53	63.58	93.70
279	54.80	93.50	54.80	93.50	54.80	93.50	54.80	93.50	58.08	93.65
272	53.68	93.18	53.68	93.19	53.68	93.19	53.68	93.19	53.68	93.28
267	63.95	92.83	63.95	92.83	63.95	92.83	63.95	92.83	63.95	92.93
258	53.37	92.22	53.37	92.22	53.37	92.22	53.37	92.22	53.37	92.33
256	58.37	92.16	58.37	92.16	58.37	92.16	58.37	92.16	60.58	92.24
255	55.05	92.12	55.05	92.12	55.05	92.12	55.05	92.12	58.55	92.17
253	56.57	92.03	56.57	92.03	56.57	92.03	56.57	92.03	57.71	92.06
243	59.95	91.70	59.95	91.70	59.95	91.70	59.95	91.70	59.98	91.70
228	59.95	91.07	59.95	91.07	59.95	91.07	59.95	91.07	59.95	91.07
211	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08
210	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92
207	33.56	71.68	33.56	71.68	33.56	71.68	33.56	71.68	33.56	71.83
200	40.63	71.27	40.63	71.27	40.63	71.27	40.63	71.27	40.63	71.44
195	38.37	71.13	38.37	71.13	38.37	71.13	38.37	71.13	42.00	71.22
190	49.59	70.97	49.59	70.97	49.59	70.97	49.59	70.97	50.12	70.99
184	50.23	70.65	50.23	70.64	50.23	70.64	50.23	70.64	50.25	70.65
172	45.05	70.02	45.05	70.02	45.05	70.02	45.05	70.02	45.05	70.02
166	51.85	69.74	51.85	69.73	51.85	69.73	51.85	69.73	51.85	69.74
158	36.58	69.33	36.58	69.32	36.58	69.32	36.58	69.32	36.61	69.33
151	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04
145	51.97	68.61	51.97	68.60	51.97	68.60	51.97	68.60	51.97	68.61
139	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89
128	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.75
120	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.60
110	50.96	63.16	50.96	63.16	50.96	63.16	50.96	63.16	50.96	63.19
105	50.96	62.28	50.96	62.28	50.96	62.28	50.96	62.28	50.96	62.33
98	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.01
96	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	54.71
88	39.96	54.15	39.96	54.14	39.96	54.14	39.96	54.14	39.96	53.47
81	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	25.00	53.47
75	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07
63	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.56	52.33
42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.23
26	29.78	50.38	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37	29.79	50.38
0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.11	49.12



Figura 6.21
Simulação do Trecho em Estudo Durante 50 Anos – Caso 1J-90 – Após a Construção do AHE Jirau –
Nível d'Água na El. 90,00 m
Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

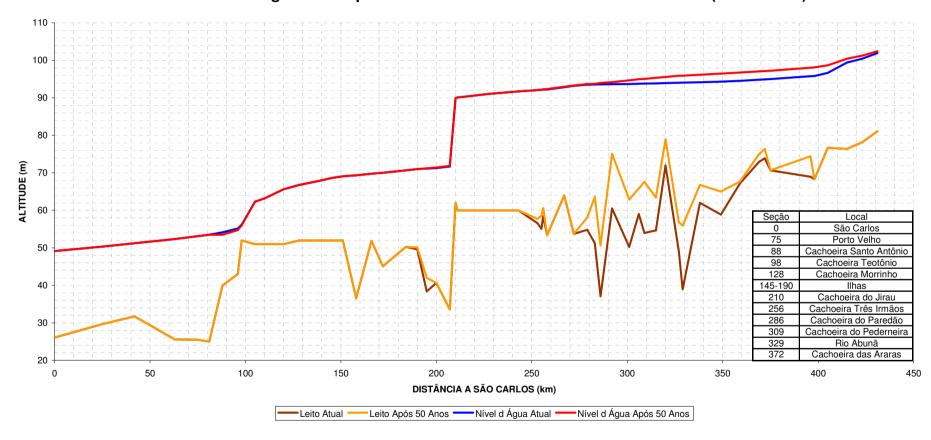




Tabela 6.22 Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 2-90 – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos – AHE Jirau na El. 90,00 m

PERIODO	0 AN	NOS	5 AN	NOS	10 A	NOS	20 A	NOS	50 AI	VOS
SEÇAO	TALVEGUE	NA								
431	81.05	101.92	81.05	101.97	81.05	102.03	81.05	102.15	81.05	102.43
423	78.15	100.41	78.15	100.50	78.15	100.60	78.15	100.79	78.15	101.21
415	76.35	99.40	76.35	99.51	76.35	99.64	76.35	99.88	76.35	100.40
405	76.66	96.67	76.66	96.88	76.66	97.14	76.66	97.65	76.66	98.67
398	68.24	95.79	68.25	96.03	68.25	96.34	68.25	96.92	68.28	98.11
396	68.95	95.75	69.59	95.99	70.13	96.29	71.51	96.87	74.41	98.02
375	70.65	95.02	70.66	95.26	70.66	95.56	70.67	96.11	70.68	97.22
372	73.85	94.91	73.87	95.16	73.92	95.47	74.41	96.02	76.38	97.11
369	72.94	94.83	73.07	95.08	73.17	95.38	73.77	95.94	74.97	97.01
359	67.15	94.53	67.24	94.78	67.22	95.09	67.21	95.65	67.67	96.73
349	58.86	94.32	61.49	94.53	61.31	94.85	62.57	95.40	65.00	96.44
338	61.97	94.13	66.46	94.20	67.17	94.52	66.54	95.09	66.79	96.14
329	38.98	94.06	44.89	94.09	53.39	94.24	53.59	94.84	55.92	95.86
327	49.07	94.04	50.48	94.06	56.26	94.19	58.20	94.77	56.87	95.86
320	71.96	93.94	71.98	93.95	73.76	94.01	75.19	94.55	78.92	95.56
315	54.62	93.83	55.21	93.84	57.44	93.86	64.21	94.27	63.39	95.33
309	53.95	93.78	54.62	93.79	55.67	93.80	64.01	94.04	67.63	95.04
306	59.01	93.75	59.02	93.76	59.18	93.77	66.65	93.93	65.81	94.95
301	50.26	93.67	50.87	93.68	51.60	93.68	57.58	93.72	62.87	94.67
292 286	60.47 37.09	93.61 93.58	60.80 37.09	93.61 93.58	61.14 37.09	93.61	62.68	93.61 93.58	75.05	94.20
283	51.24	93.58	51.24	93.58	51.24	93.58 93.53	37.16 51.24	93.58	50.63 63.58	93.98 93.70
279	54.80	93.50	54.80	93.50	54.80	93.50	54.80	93.50	58.08	93.65
272	53.68	93.18	53.68	93.19	53.68	93.19	53.68	93.19	53.68	93.28
267	63.95	92.83	63.95	92.83	63.95	92.83	63.95	92.83	63.95	92.93
258	53.37	92.22	53.37	92.22	53.37	92.22	53.37	92.22	53.37	92.33
256	58.37	92.16	58.37	92.16	58.37	92.16	58.37	92.16	60.58	92.24
255	55.05	92.12	55.05	92.12	55.05	92.12	55.05	92.12	58.55	92.17
253	56.57	92.03	56.57	92.03	56.57	92.03	56.57	92.03	57.71	92.06
243	59.95	91.70	59.95	91.70	59.95	91.70	59.95	91.70	59.98	91.70
228	59.95	91.07	59.95	91.07	59.95	91.07	59.95	91.07	59.95	91.07
211	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08
210	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92
207	33.56	73.09	33.56	73.10	33.56	73.10	33.56	73.10	33.56	73.42
200	40.63	72.82	40.63	72.82	40.63	72.82	40.63	72.83	41.64	73.14
195	38.37	72.73	38.37	72.73	38.37	72.73	38.37	72.73	43.72	72.97
190	49.59	72.63	49.59	72.63	49.59	72.63	49.59	72.63	51.54	72.78
184	50.23	72.44	50.23	72.44	50.23	72.44	50.23	72.45	51.10	72.54
172	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.09	45.12	72.16
166	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	72.02
158	36.58	71.71	36.58	71.72	36.58	71.72	36.58	71.72	36.60	71.79
151	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.59	52.45	71.65
145	51.97	71.38	51.97	71.39	51.97	71.39	51.97	71.39	51.97	71.44
139	51.97	71.15	51.97	71.16	51.97	71.16	51.97	71.16	51.97	71.21
128	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.92
120	50.96	70.58	50.96	70.59	50.96	70.59	50.96	70.59	50.96	70.66
110	50.96	70.25	50.96	70.25	50.96	70.25	50.96	70.25	50.98	70.33
105 98	50.96 51.97	70.21 70.11	51.01 52.06	70.22 70.11	51.01 52.06	70.22 70.11	51.02 52.06	70.22 70.11	51.25 53.72	70.29 70.16
98	51.97 42.98	70.11	52.06 43.05	70.11	52.06 43.05	70.11		70.11	53.72	70.16
88	39.96	70.13	43.05	70.13	40.09	70.13	43.06 40.27	70.13	44.27	70.16
81	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47
75	25.48	53.47	25.48	53.47	25.48	53.47	25.48	53.47	25.48	53.47
63	25.46	52.33	25.46	52.33	25.46	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33
42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22
26	29.78	50.38	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37
0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12
	20.00	10.12	20.00	10.12	20.00	10.12	20.00	10.12	20.00	10.12



Figura 6.23
Simulação do Trecho em Estudo Durante 50 Anos – Caso 2-90 – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos
(Jirau na El. 90,00 m)
Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

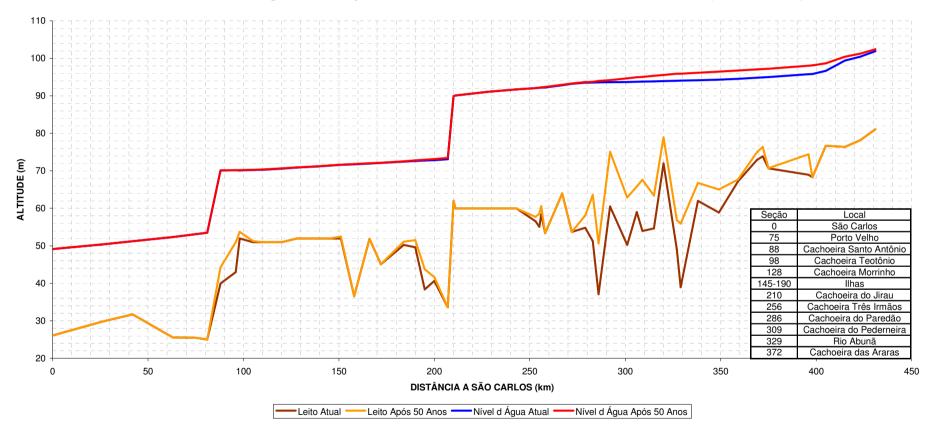




Tabela 6.24 Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 1J-87 – Após a Construção do AHE Jirau – El. 87,00 m

PERÍODO	1A 0	NOS	5 AN	NOS	10 A	NOS	20 A	NOS	50 A	NOS
SECAO	TALVEGUE	NA								
431	81.05	101.78	81.05	101.81	81.05	101.84	81.05	101.96	81.05	102.16
423	78.15	100.18	78.15	100.22	78.15	100.29	78.15	100.48	78.15	100.80
415	76.35	99.10	76.35	99.16	76.35	99.24	76.35	99.49	76.35	99.89
405	76.66	95.85	76.66	96.05	76.66	96.30	76.66	96.84	76.66	97.67
398	68.24	94.77	68.25	95.02	68.25	95.34	68.25	95.99	68.25	96.94
396	68.95	94.72	69.36	94.98	69.41	95.30	69.91	95.94	72.31	96.88
375	70.65	93.84	70.66	94.13	70.66	94.48	70.66	95.18	70.69	96.07
373	73.85	93.72	73.86	94.00	73.86	94.46	73.90	95.09	74.83	95.97
369	73.65	93.72	73.09	93.90	73.09	94.37	73.90	95.09	74.03	95.87
359	67.15	93.81	67.33	93.56	67.30	93.95	67.23	94.70	67.23	95.58
349	58.86	93.03	60.56	93.29	60.84	93.69	61.98	94.70	63.93	95.29
338	61.97	92.81	66.48	92.92	66.53	93.33	66.35	94.10	66.06	94.98
329	38.98	92.74	45.93	92.77	52.72	93.02	52.32	93.84	55.18	94.68
327	49.07	92.70	50.77	92.74	56.78	92.96	58.06	93.76	56.12	94.68
320	71.96	92.58	71.96	92.61	73.48	92.73	74.35	93.52	77.69	94.38
315	54.62	92.42	54.90	92.44	58.13	92.49	62.18	93.21	61.43	94.11
309	53.95	92.36	55.24	92.37	57.49	92.39	65.16	92.91	68.73	93.79
306	59.01	92.32	59.01	92.33	59.11	92.35	63.94	92.82	64.60	93.70
301	50.26	92.21	50.68	92.21	51.47	92.23	60.54	92.43	60.87	93.37
292	60.47	92.10	61.02	92.10	61.64	92.10	66.14	92.11	74.51	92.70
286	37.09	92.07	37.09	92.07	37.09	92.07	37.88	92.07	48.98	92.47
283	51.24	91.99	51.24	91.99	51.24	91.99	51.24	91.99	61.78	92.12
279	54.80	91.94	54.80	91.94	54.80	91.94	54.80	91.94	57.40	92.04
272	53.68	91.57	53.68	91.57	53.68	91.57	53.68	91.57	53.68	91.61
267	63.95	91.12	63.95	91.13	63.95	91.13	63.95	91.13	63.95	91.17
258	53.37	90.35	53.37	90.35	53.37	90.35	53.37	90.35	53.37	90.40
256	58.37	90.25	58.37	90.25	58.37	90.25	58.37	90.25	59.56	90.29
255	55.05	90.18	55.05	90.19	55.05	90.19	55.05	90.19	57.59	90.21
253	56.57	90.06	56.57	90.06	56.57	90.06	56.57	90.06	56.71	90.07
243	59.95	89.63	59.95	89.63	59.95	89.63	59.95	89.63	59.96	89.63
228	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78
211	59.95	87.24	59.95	87.24	59.95	87.24	59.95	87.24	59.95	87.24
210	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99
207	33.56	71.67	33.56	71.67	33.56	71.67	33.56	71.67	33.56	71.94
200	40.63	71.27	40.63	71.27	40.63	71.27	40.63	71.27	40.63	71.56
195	38.37	71.13	38.37	71.13	38.37	71.13	38.37	71.13	42.82	71.33
190	49.59	70.96	49.59	70.96	49.59	70.96	49.59	70.96	50.62	71.07
184	50.23	70.64	50.23	70.64	50.23	70.64	50.23	70.64	50.85	70.69
172	45.05	70.01	45.05	70.01	45.05	70.01	45.05	70.01	45.08	70.02
166	51.85	69.73	51.85	69.72	51.85	69.72	51.85	69.72	51.86	69.73
158	36.58	69.31	36.58	69.31	36.58	69.31	36.58	69.31	36.64	69.31
151	51.97	69.03	51.97	69.03	51.97	69.03	51.97	69.03	51.97	69.03
145	51.97	68.60	51.97	68.59	51.97	68.59	51.97	68.59	51.97	68.59
139	51.97	67.87	51.97	67.87	51.97	67.87	51.97	67.87	51.97	67.87
128	51.97	66.71	51.97	66.71	51.97	66.71	51.97	66.71	51.97	66.71
120	50.96	65.54	50.96	65.54	50.96	65.54	50.96	65.54	50.96	65.55
110	50.96	63.05	50.96	63.05	50.96	63.05	50.96	63.05	50.96	63.08
105	50.96	62.11	50.96	62.11	50.96	62.11	50.96	62.11	50.96	62.15
98	51.97	56.88	51.97	56.88	51.97	56.88	51.97	56.88	51.97	56.67
96	42.98	56.58	42.98	56.58	42.98	56.58	42.98	56.58	42.98	56.28
88	39.96	56.03	39.96	56.03	39.96	56.03	39.96	56.03	39.96	55.66
81	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	25.00	53.47
75	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07
63	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.56	52.33
42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.23
26	29.78	50.38	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37	29.79	50.38
0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.11	49.12



Figura 6.25
Simulação do Trecho em Estudo Durante 50 Anos – Caso 1J-87 – Após a Construção do AHE Jirau –
Nível d'Água na El. 87,00 m
Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

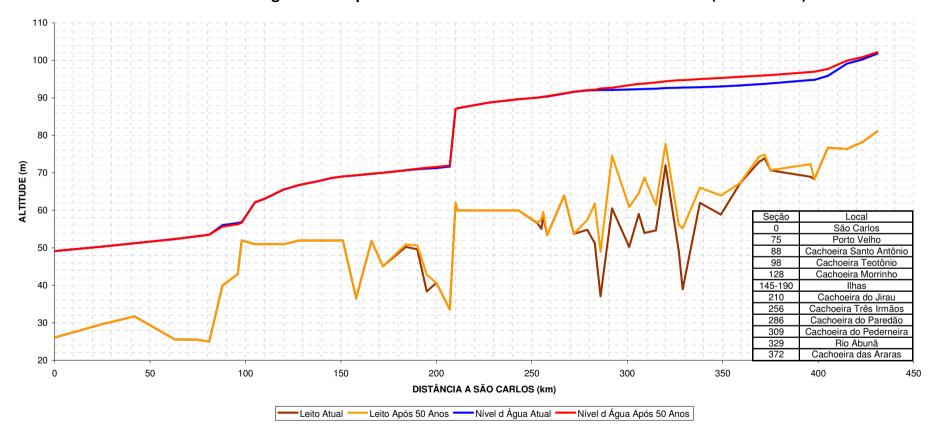


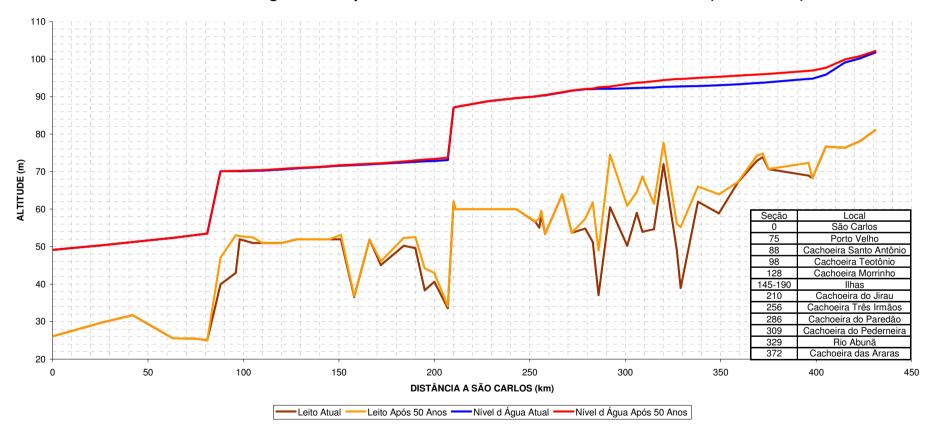


Tabela 6.26 Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 2-87 – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos – AHE Jirau na El. 87,00 m

PERIODO	0 Al	NOS	5 AN	NOS	10 A	NOS	20 A	NOS	50 A	NOS
SEÇÃO	TALVEGUE	NA								
431	81.05	101.78	81.05	101.81	81.05	101.84	81.05	101.96	81.05	102.16
423	78.15	100.18	78.15	100.22	78.15	100.29	78.15	100.48	78.15	100.80
415	76.35	99.10	76.35	99.16	76.35	99.24	76.35	99.49	76.35	99.89
405	76.66	95.85	76.66	96.05	76.66	96.30	76.66	96.84	76.66	97.67
398	68.24	94.77	68.25	95.02	68.25	95.34	68.25	95.99	68.25	96.94
396	68.95	94.72	69.36	94.98	69.41	95.30	69.91	95.94	72.31	96.88
375	70.65	93.84	70.66	94.13	70.66	94.48	70.66	95.18	70.69	96.07
372	73.85	93.72	73.86	94.00	73.86	94.37	73.90	95.09	74.83	95.97
369	72.94	93.61	73.09	93.90	73.09	94.28	73.17	95.00	74.30	95.87
359	67.15	93.27	67.33	93.56	67.30	93.95	67.23	94.70	67.23	95.58
349	58.86	93.03	60.56	93.29	60.84	93.69	61.98	94.43	63.93	95.29
338	61.97	92.81	66.48	92.92	66.53	93.33	66.35	94.10	66.06	94.98
329	38.98	92.74	45.93	92.77	52.72	93.02	52.32	93.84	55.18	94.68
327	49.07	92.70	50.77	92.74	56.78	92.96	58.06	93.76	56.12	94.68
320	71.96	92.58	71.96	92.61	73.48	92.73	74.35	93.52	77.69	94.38
315	54.62	92.42	54.90	92.44	58.13	92.49	62.18	93.21	61.43	94.11
309	53.95	92.36	55.24	92.37	57.49	92.39	65.16	92.91	68.73	93.79
306	59.01	92.32	59.01	92.33	59.11	92.35	63.94	92.82	64.60	93.70
301	50.26	92.21	50.68	92.21	51.47	92.23	60.54	92.43	60.87	93.37
292	60.47	92.10	61.02	92.10	61.64	92.10	66.14	92.11	74.51	92.70
286	37.09	92.07	37.09	92.07	37.09	92.07	37.88	92.07	48.98	92.47
283	51.24	91.99	51.24	91.99	51.24	91.99	51.24	91.99	61.78	92.12
279	54.80	91.94	54.80	91.94	54.80	91.94	54.80	91.94	57.40	92.04
272	53.68	91.57	53.68	91.57	53.68	91.57	53.68	91.57	53.68	91.61
267	63.95	91.12	63.95	91.13	63.95	91.13	63.95	91.13	63.95	91.17
258	53.37	90.35	53.37	90.35	53.37	90.35	53.37	90.35	53.37	90.40
256 255	58.37 55.05	90.25 90.18	58.37 55.05	90.25 90.19	58.37 55.05	90.25 90.19	58.37 55.05	90.25 90.19	59.56 57.59	90.29 90.21
253	56.57	90.16	56.57	90.19	56.57	90.19	56.57	90.19	56.71	90.21
243	59.95	89.63	59.95	89.63	59.95	89.63	59.95	89.63	59.96	89.63
228	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78
211	59.95	87.24	59.95	87.24	59.95	87.24	59.95	87.24	59.95	87.24
210	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99
207	33.56	73.09	33.56	73.10	33.56	73.10	33.56	73.10	34.14	73.71
200	40.63	72.82	40.63	72.83	40.63	72.83	40.63	72.83	42.99	73.40
195	38.37	72.73	38.37	72.73	38.37	72.73	38.37	72.73	44.21	73.22
190	49.59	72.63	49.59	72.63	49.59	72.63	49.59	72.63	52.56	73.01
184	50.23	72.44	50.23	72.45	50.23	72.45	50.23	72.45	52.35	72.71
172	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.09	46.12	72.25
166	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.94	51.88	72.10
158	36.58	71.71	36.58	71.72	36.58	71.72	36.58	71.72	36.86	71.88
151	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.59	53.15	71.71
145	51.97	71.38	51.97	71.39	51.97	71.39	51.97	71.39	51.97	71.48
139	51.97	71.15	51.97	71.16	51.97	71.16	51.97	71.16	51.97	71.26
128	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.86	51.98	70.98
120	50.96	70.58	50.96	70.59	50.96	70.59	50.96	70.59	50.96	70.71
110	50.96	70.25	50.96	70.25	50.96	70.26	50.96	70.26	50.97	70.39
105	50.96	70.21	51.03	70.22	51.03	70.22	51.04	70.22	52.45	70.34
98	51.97	70.11	52.07	70.11	52.07	70.11	52.08	70.11	52.79	70.21
96	42.98	70.13	43.07	70.13	43.07	70.13	43.19	70.13	53.00	70.20
88	39.96	70.10	40.15	70.10	40.32	70.10	40.75	70.10	47.09	70.10
81	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47
75	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07
63	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33
42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22
26	29.78	50.38	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37
0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12



Figura 6.27
Simulação do Trecho em Estudo Durante 50 Anos – Caso 2-87 – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos (Jirau na El. 87,00 m)
Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)





6.5.2. <u>Simulações Considerando um Crescimento de 2% ao Ano na Produção de</u> Sedimento no Rio Madeira

Tabela 6.28 Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 0-C - Condições Naturais (sem barragens)

PERIODO	0 AN	NOS	5 AN	NOS	10 A	NOS	20 Al	NOS	50 AN	NOS
	TALVEGUE	NA								
431	81.05	101.66	81.05	101.68	81.05	101.69	81.05	101.76	81.05	102.33
423	78.15	99.97	78.15	99.99	78.15	100.02	78.15	100.14	78.15	101.06
415	76.35	98.82	76.35	98.85	76.35	98.89	76.35	99.04	76.36	100.22
405	76.66	94.62	76.66	94.80	76.66	95.02	76.66	95.65	76.66	98.30
398	68.24	92.97	68.24	93.26	68.24	93.60	68.25	94.49	68.81	97.67
396	68.95	92.91	69.02	93.20	69.09	93.55	70.32	94.43	78.08	97.44
375	70.65	91.66	70.66	92.03	70.66	92.45	70.65	93.39	71.56	95.80
372	73.85	91.46	73.86	91.84	73.86	92.28	73.86	93.26	78.78	95.55
369	72.94	91.29	72.97	91.69	72.97	92.14	73.43	93.13	75.67	95.40
359	67.15	90.82	67.55	91.23	67.67	91.70	67.42	92.74	72.23	94.80
349	58.86	90.52	59.43	90.92	60.70	91.37	62.94	92.38	66.91	94.27
338	61.97	90.21	65.78	90.46	64.76	90.96	65.70	91.94	68.71	93.70
329	38.98	90.12	48.71	90.17	52.22	90.59	53.04	91.58	57.73	93.16
327	49.07	90.07	50.65	90.14	55.20	90.51	56.16	91.49	56.12	93.16
320	71.96	89.87	71.96	89.92	71.97	90.23	73.71	91.13	76.73	92.75
315	54.62	89.48	54.62	89.54	54.62	89.89	54.88	90.82	59.98	92.34
309	53.95	89.39	56.57	89.42	64.07	89.58	69.57	90.42	72.37	91.78
306	59.01	89.33	59.01	89.36	59.01	89.53	60.35	90.37	63.51	91.69
301	50.26	89.07	50.26	89.10	52.26	89.24	54.94	90.03	59.79	91.15
292	60.47	88.80	61.51	88.81	64.68	88.82	69.64	89.29	71.74	90.00
286	37.09	88.75	37.09	88.75	37.34	88.75	49.47	89.09	54.10	89.64
283	51.24	88.59	51.24	88.59	51.24	88.59	54.57	88.74	54.05	89.28
279	54.80	88.45	54.80	88.45	54.80	88.45	57.09	88.55	63.85	88.99
272	53.68	87.87	53.68	87.87	53.68	87.87	53.68	87.88	53.68	87.97
267	63.95	87.10	63.95	87.10	63.95	87.10	63.95	87.10	63.96	87.18
258	53.37	85.61	53.37	85.61	53.37	85.61	53.37	85.62	53.77	85.68
256	58.37	85.40	58.37	85.40	58.37	85.40	58.38	85.41	58.89	85.47
255	55.05	85.26	55.05	85.26	55.05	85.26	55.05	85.26	55.06	85.33
253	56.57	84.95	56.57	84.95	56.57	84.95	56.57	84.96	56.62	85.02
243	59.95	83.97	59.95	83.97	59.95	83.97	59.95	83.98	60.41	84.05
228	59.95	81.76	59.95	81.76	59.95	81.76	59.95	81.77	59.95	81.87
211	59.95	74.76	59.95	74.77	59.95	74.77	59.95	74.80	59.95	75.25
210	61.97	72.19	61.97	72.19	61.97	72.19	61.97	72.26	61.97	73.12
207	33.56	71.68	33.56	71.68	33.56	71.68	33.56	71.78	37.59	73.12
200	40.63	71.27	40.63	71.28	40.63	71.28	41.35	71.36	44.45	72.56
195	38.37	71.13	38.40	71.13	38.48	71.13	40.86	71.16	46.35	72.18
190	49.59	70.97	49.59	70.97	49.59	70.97	49.62	70.97	52.62	71.83
184	50.23	70.65	50.23	70.64	50.23	70.64	50.23	70.64	53.03	71.34
172	45.05	70.02	45.05	70.02	45.05	70.02	45.05	70.02	47.74	70.33
166	51.85	69.74	51.85	69.73	51.85	69.73	51.85	69.73	52.44	69.97
158	36.58	69.33	36.58	69.32	36.58	69.32	36.58	69.32	39.22	69.45
151	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04	52.67	69.07
145	51.97	68.61	51.97	68.60	51.97	68.60	51.97	68.60	51.97	68.61
139	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89
128	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.74
120	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.60
110	50.96	63.16	50.96	63.16	50.96	63.16	50.96	63.16	50.96	63.19
105	50.96	62.28	50.96	62.28	50.96	62.28	50.96	62.28	50.96	62.32
98	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.06
96	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	54.71
88	39.96	54.15	39.96	54.14	39.96	54.14	39.96	54.15	39.96	53.49
81	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	25.00	53.49
75	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.09
63	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.61	52.34
42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.75	51.23
26	29.78	50.38	29.78	50.38	29.78	50.38	29.78	50.38	29.81	50.38
0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.09	49.12	26.11	49.12



Figura 6.29
Condição Crítica – Simulação do Trecho em Estudo Durante 50 Anos – Caso 0 – (Condições Naturais)
Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

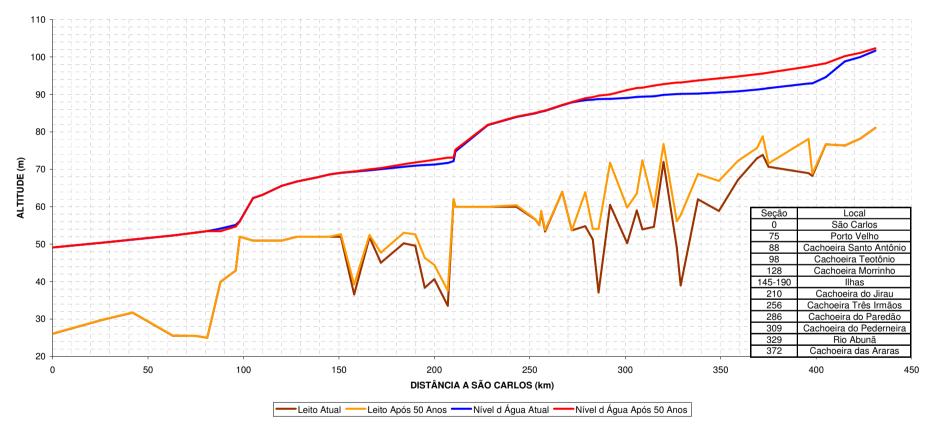




Tabela 6.30 Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 1S-C – Após a Construção do AHE Santo Antônio

PERIODO	0 AN	NOS	5 AN	IOS	10 A	NOS	20 A	NOS	50 A	NOS
SEÇAO	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	
431	81.05	101.67	81.05	101.68	81.05	101.69	81.05	101.76	81.05	102.36
423	78.15	99.97	78.15	99.99	78.15	100.02	78.15	100.15	78.15	101.11
415	76.35	98.82	76.35	98.85	76.35	98.89	76.35	99.05	76.36	100.27
405	76.66	94.63	76.66	94.82	76.66	95.04	76.66	95.68	76.66	98.41
398	68.24	92.99	68.24	93.28	68.24	93.63	68.25	94.54	68.84	97.79
396	68.95	92.93	69.02	93.23	69.09	93.57	70.40	94.48	78.27	97.55
375	70.65	91.69	70.65	92.06	70.65	92.48	70.65	93.44	71.63	95.91
372	73.85	91.48	73.86	91.87	73.86	92.31	73.86	93.30	78.95	95.66
369	72.94	91.32	72.98	91.72	72.97	92.17	73.48	93.18	75.73	95.51
359	67.15	90.85	67.55	91.26	67.67	91.73	67.41	92.78	72.36	94.91
349	58.86	90.56	59.47	90.96	60.71	91.41	62.94	92.43	66.97	94.38
338	61.97	90.24	65.82	90.49	64.82	90.99	65.73	91.99	68.85	93.80
329	38.98	90.15	48.65	90.21	52.22	90.63	53.03	91.63	57.81	93.26
327	49.07	90.11	50.72	90.18	55.33	90.55	56.22	91.54	56.39	93.26
320	71.96	89.91	71.96	89.96	71.97	90.27	73.74	91.19	76.69	92.87
315	54.62	89.52	54.62	89.58	54.62	89.93	55.73	90.85	60.60	92.44
309	53.95	89.43	56.56	89.46	64.31	89.62	69.18	90.46	72.37	91.89
306	59.01	89.38	59.01	89.40	59.01	89.57	60.51	90.41	64.14	91.78
301	50.26	89.11	50.26	89.14	52.26	89.28	54.87	90.06	59.75	91.24
292	60.47	88.85	61.49	88.86	64.57	88.86	69.80	89.32	72.05	90.15
286	37.09	88.80	37.09	88.80	37.32	88.80	50.28	89.10	54.58	89.78
283	51.24	88.64	51.24	88.64	51.24	88.64	53.93	88.75	54.20	89.43
279	54.80	88.50	54.80	88.51	54.80	88.51	56.56	88.58	63.78	89.15
272	53.68	87.93	53.68	87.93	53.68	87.93	53.68	87.94	53.69	88.15
267	63.95	87.16	63.95	87.16	63.95	87.16	63.95	87.17	63.96	87.39
258	53.37	85.69	53.37	85.69	53.37	85.69	53.37	85.70	53.94	85.92
256	58.37	85.48	58.37	85.49	58.37	85.49	58.38	85.50	58.97	85.72
255	55.05	85.34	55.05	85.34	55.05	85.34	55.05	85.36	55.06	85.58
253	56.57	85.04	56.57	85.05	56.57	85.05	56.57	85.06	56.65	85.30
243	59.95	84.08	59.95	84.08	59.95	84.08	59.95	84.09	60.52	84.37
228	59.95	81.91	59.95	81.91	59.95	81.91	59.95	81.93	59.96	82.29
211	59.95	75.41	59.95	75.41	59.95	75.41	59.95	75.50	59.95	76.69
210	61.97	73.39	61.97	73.40	61.97	73.40	61.97	73.54	61.97	75.25
207	33.56	73.09	33.56	73.10	33.56	73.10	33.56	73.23	39.69	75.25
200	40.63	72.82	40.68	72.83	40.75	72.83	42.04	72.93	47.12	74.76
195	38.37	72.73	38.44	72.73	38.46	72.73	41.74	72.79	48.79	74.44
190	49.59	72.63	49.59	72.63	49.59	72.63	50.00	72.65	54.92	74.14
184	50.23	72.44	50.23	72.45	50.23	72.45	50.23	72.46	55.84	73.69
172	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.11	49.75	72.88
166	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.96	55.47	72.61
158	36.58	71.71	36.58	71.72	36.58	71.72	36.58	71.74	39.99	72.25
151	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.59	51.98	71.61	56.21	71.98
145	51.97	71.38	51.97	71.39	51.97	71.39	51.97	71.41	52.69	71.70
139	51.97	71.15	51.97	71.16	51.97	71.16	51.97	71.18	53.08	71.43
128	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.87	51.97	70.89	52.66	71.09
120	50.96	70.58	50.96	70.59	50.96	70.59	50.96	70.61	50.96	70.82
110	50.96	70.25	50.96	70.26	50.96	70.26	50.97	70.28	51.00	70.51
105	50.96	70.21	51.07	70.22	51.08	70.22	51.15	70.24	55.10	70.43
98	51.97	70.11	52.08	70.11	52.11	70.11	53.35	70.12	52.24	70.28
96	42.98	70.13	43.37	70.13	43.92	70.13	46.89	70.14	55.36	70.26
88	39.96	70.10	40.33	70.10	40.62	70.10	41.51	70.10	49.25	70.10
81	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47
75	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07
63	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33
42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22
26	29.78	50.38	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37
0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12



Figura 6.31 Condição Crítica – Simulação do Trecho em Estudo Durante 50 Anos – Caso 1S – Após a Construção do AHE Santo Antônio Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

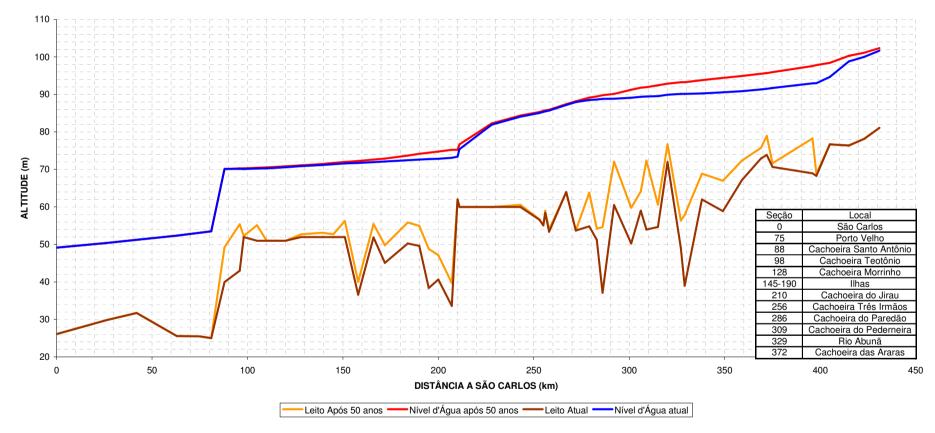




Tabela 6.32 Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 1J-C-90 – Após a Construção do AHE Jirau – El. 90,00 m

PERIODO	0 AN	NOS	5 AN	NOS	10 A	NOS	20 A	NOS	50 A	NOS
SEÇAO	TALVEGUE	NA								
431	81.05	101.92	81.05	101.97	81.05	102.06	81.05	102.28	81.05	104.04
423	78.15	100.41	78.15	100.50	78.15	100.64	78.15	101.00	78.16	103.34
415	76.35	99.40	76.35	99.52	76.35	99.68	76.35	100.14	76.98	102.83
405	76.66	96.67	76.66	96.90	76.66	97.25	76.66	98.15	76.89	101.99
398	68.24	95.79	68.25	96.06	68.25	96.46	68.34	97.50	74.80	101.33
396	68.95	95.75	69.93	96.02	71.44	96.41	75.19	97.39	80.78	101.17
375	70.65	95.02	70.66	95.27	70.68	95.60	70.71	96.41	75.74	99.74
372 369	73.85 72.94	94.91 94.83	73.90 73.06	95.17 95.08	74.24 73.53	95.50 95.41	76.77 74.58	96.27 96.17	82.25 78.88	99.51 99.36
359	67.15	94.53	67.23	94.79	67.23	95.41	68.36	95.85	74.86	98.79
349	58.86	94.32	61.59	94.53	61.60	94.87	63.98	95.55	69.89	98.29
338	61.97	94.13	66.51	94.20	67.20	94.53	67.04	95.22	72.04	97.77
329	38.98	94.06	44.93	94.09	53.56	94.25	54.26	94.94	60.56	97.30
327	49.07	94.04	50.50	94.06	56.45	94.20	58.75	94.87	61.13	97.30
320	71.96	93.94	71.99	93.95	73.87	94.02	75.55	94.63	81.49	96.83
315	54.62	93.83	55.22	93.84	57.54	93.86	64.42	94.34	68.35	96.53
309	53.95	93.78	54.62	93.79	55.71	93.80	64.47	94.10	71.08	96.07
306	59.01	93.75	59.02	93.76	59.19	93.77	67.13	93.98	71.33	95.86
301	50.26	93.67	50.87	93.68	51.61	93.68	58.85	93.73	64.59	95.54
292	60.47	93.61	60.80	93.61	61.15	93.61	62.98	93.61	79.32	94.90
286	37.09	93.58	37.09	93.58	37.09	93.58	37.19	93.58	51.75 66.83	94.58
283 279	51.24 54.80	93.53 93.50	51.24 54.80	93.53 93.50	51.24 54.80	93.53 93.50	51.24 54.80	93.53 93.50	63.90	94.20 94.09
279	53.68	93.18	53.68	93.19	53.68	93.19	53.68	93.19	53.84	93.59
267	63.95	92.83	63.95	92.83	63.95	92.83	63.95	92.83	63.98	93.26
258	53.37	92.22	53.37	92.22	53.37	92.22	53.37	92.22	53.61	92.67
256	58.37	92.16	58.37	92.16	58.37	92.16	58.37	92.16	64.60	92.55
255	55.05	92.12	55.05	92.12	55.05	92.12	55.05	92.12	58.70	92.47
253	56.57	92.03	56.57	92.03	56.57	92.03	56.57	92.03	62.19	92.30
243	59.95	91.70	59.95	91.70	59.95	91.70	59.95	91.70	61.55	91.76
228	59.95	91.07	59.95	91.07	59.95	91.07	59.95	91.07	59.96	91.07
211	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08
210	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92
207 200	33.56 40.63	71.68 71.27	33.56 40.63	71.68 71.27	33.56 40.63	71.68 71.27	33.56 40.63	71.68 71.27	33.56 42.57	72.24 71.81
195	38.37	71.27	38.37	71.13	38.37	71.13	38.37	71.13	43.93	71.51
190	49.59	70.97	49.59	70.97	49.59	70.97	49.59	70.97	51.34	71.32
184	50.23	70.65	50.23	70.64	50.23	70.64	50.23	70.64	51.55	70.78
172	45.05	70.02	45.05	70.02	45.05	70.02	45.05	70.02	45.36	70.04
166	51.85	69.74	51.85	69.73	51.85	69.73	51.85	69.73	51.91	69.75
158	36.58	69.33	36.58	69.32	36.58	69.32	36.58	69.32	36.76	69.33
151	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04	51.97	69.04
145	51.97	68.61	51.97	68.60	51.97	68.60	51.97	68.60	51.97	68.61
139	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89	51.97	67.89
128	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.74	51.97	66.75
120	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.59	50.96	65.60
110 105	50.96 50.96	63.16 62.28	50.96 50.96	63.16 62.28	50.96 50.96	63.16 62.28	50.96 50.96	63.16 62.28	50.96 50.96	63.19 62.33
98	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.15	51.97	56.01
96	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	55.15	42.98	54.71
88	39.96	54.15	39.96	54.14	39.96	54.14	39.96	54.14	39.96	53.48
81	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	25.00	53.48
75	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.08
63	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.56	52.34
42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.23
26	29.78	50.38	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37	29.81	50.38
0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.11	49.12



Figura 6.33 Condição Crítica – Simulação Durante 50 Anos – Caso 1J-90 – Após Construção de Jirau – Nível d'Água na El. 90,00 m Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

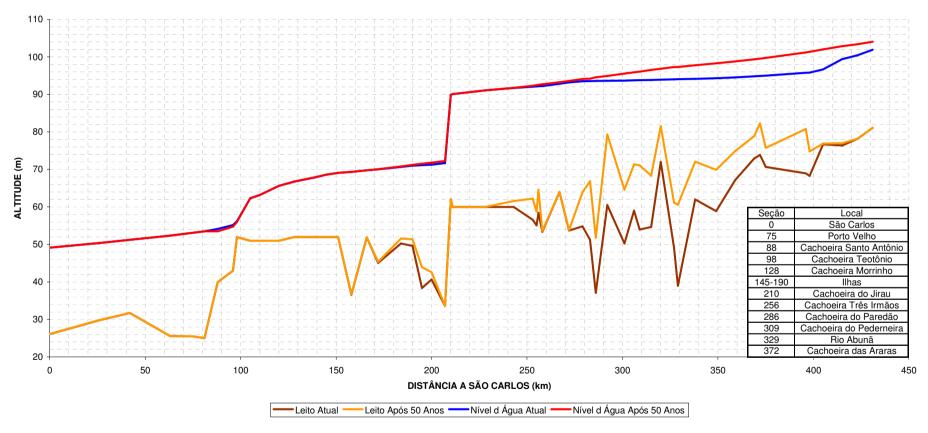




Tabela 6.34 Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 2-90-C – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos – AHE Jirau na El. 90,00 m

PERIODO	1A 0	NOS	5 AN	NOS	10 A	NOS	20 A	NOS	50 A	NOS
SEÇAO	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE		TALVEGUE	NA	TALVEGUE	
431	81.05	101.92	81.05	101.97	81.05	102.06	81.05	102.28	81.05	104.04
423	78.15	100.41	78.15	100.50	78.15	100.64	78.15	101.00	78.16	103.34
415	76.35	99.40	76.35	99.52	76.35	99.68	76.35	100.14	76.98	102.83
405	76.66	96.67	76.66	96.90	76.66	97.25	76.66	98.15	76.89	101.99
398	68.24	95.79	68.25	96.06	68.25	96.46	68.34	97.50	74.80	101.33
396	68.95	95.75	69.93	96.02	71.44	96.41	75.19	97.39	80.78	101.17
375 372	70.65 73.85	95.02 94.91	70.66 73.90	95.27 95.17	70.68 74.24	95.60 95.50	70.71 76.77	96.41 96.27	75.74 82.25	99.74 99.51
369	72.94	94.83	73.96	95.08	73.53	95.41	74.58	96.17	78.88	99.36
359	67.15	94.53	67.23	94.79	67.23	95.12	68.36	95.85	74.86	98.79
349	58.86	94.32	61.59	94.53	61.60	94.87	63.98	95.55	69.89	98.29
338	61.97	94.13	66.51	94.20	67.20	94.53	67.04	95.22	72.04	97.77
329	38.98	94.06	44.93	94.09	53.56	94.25	54.26	94.94	60.56	97.30
327	49.07	94.04	50.50	94.06	56.45	94.20	58.75	94.87	61.13	97.30
320	71.96	93.94	71.99	93.95	73.87	94.02	75.55	94.63	81.49	96.83
315	54.62	93.83	55.22	93.84	57.54	93.86	64.42	94.34	68.35	96.53
309	53.95	93.78	54.62	93.79	55.71	93.80	64.47	94.10	71.08	96.07
306	59.01	93.75	59.02 50.97	93.76	59.19 51.61	93.77	67.13	93.98	71.33	95.86
301 292	50.26 60.47	93.67 93.61	50.87 60.80	93.68 93.61	51.61 61.15	93.68 93.61	58.85 62.98	93.73 93.61	64.59 79.32	95.54 94.90
286	37.09	93.58	37.09	93.58	37.09	93.58	37.19	93.58	51.75	94.58
283	51.24	93.53	51.24	93.53	51.24	93.53	51.24	93.53	66.83	94.20
279	54.80	93.50	54.80	93.50	54.80	93.50	54.80	93.50	63.90	94.09
272	53.68	93.18	53.68	93.19	53.68	93.19	53.68	93.19	53.84	93.59
267	63.95	92.83	63.95	92.83	63.95	92.83	63.95	92.83	63.98	93.26
258	53.37	92.22	53.37	92.22	53.37	92.22	53.37	92.22	53.61	92.67
256	58.37	92.16	58.37	92.16	58.37	92.16	58.37	92.16	64.60	92.55
255	55.05	92.12	55.05	92.12	55.05	92.12	55.05	92.12	58.70	92.47
253	56.57	92.03	56.57	92.03	56.57	92.03	56.57	92.03	62.19	92.30
243 228	59.95 59.95	91.70 91.07	59.95 59.95	91.70 91.07	59.95 59.95	91.70 91.07	59.95 59.95	91.70 91.07	61.55 59.96	91.76 91.07
211	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08	59.95	90.08
210	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92	61.97	89.92
207	33.56	73.09	33.56	73.10	33.56	73.10	33.56	73.10	35.29	73.95
200	40.63	72.82	40.63	72.82	40.63	72.82	40.63	72.83	44.64	73.58
195	38.37	72.73	38.37	72.73	38.37	72.73	38.37	72.73	45.24	73.34
190	49.59	72.63	49.59	72.63	49.59	72.63	49.59	72.63	53.42	73.10
184	50.23	72.44	50.23	72.44	50.23	72.44	50.23	72.45	52.84	72.76
172	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.09	46.52	72.26
166 158	51.85 36.58	71.94 71.71	51.85 36.58	71.94 71.72	51.85 36.58	71.94 71.72	51.85 36.58	71.94 71.72	51.99 37.01	72.10 71.87
151	51.97	71.71	51.97	71.72	51.97	71.72	51.97	71.72	53.10	71.71
145	51.97	71.38	51.97	71.39	51.97	71.39	51.97	71.39	51.97	71.71
139	51.97	71.15	51.97	71.16	51.97	71.16	51.97	71.16	51.97	71.26
128	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.86	51.98	70.97
120	50.96	70.58	50.96	70.59	50.96	70.59	50.96	70.59	50.96	70.70
110	50.96	70.25	50.96	70.25	50.96	70.25	50.96	70.26	50.97	70.38
105	50.96	70.21	51.02	70.22	51.03	70.22	51.05	70.22	52.23	70.33
98	51.97	70.11	52.06	70.11	52.07	70.11	52.10	70.11	52.83	70.20
96	42.98	70.13	43.06	70.13	43.07	70.13	43.10	70.13	52.82	70.20
88 81	39.96 24.99	70.10 53.47	40.07 24.99	70.10 53.47	40.11 24.99	70.10 53.47	40.33 24.99	70.10 53.47	46.51 24.99	70.10 53.48
75	25.48	53.47	24.99 25.48	53.47	25.48	53.47	24.99 25.48	53.47	25.48	53.48
63	25.55	52.33	25.55	52.33	25.46	52.33	25.55	52.33	25.55	52.34
42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.23
26	29.78	50.38	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.39
0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.14



Figura 6.35
Condição Crítica – Simulação Durante 50 Anos – Caso 2-90 – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos
(Jirau na El. 90,00 m)
Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

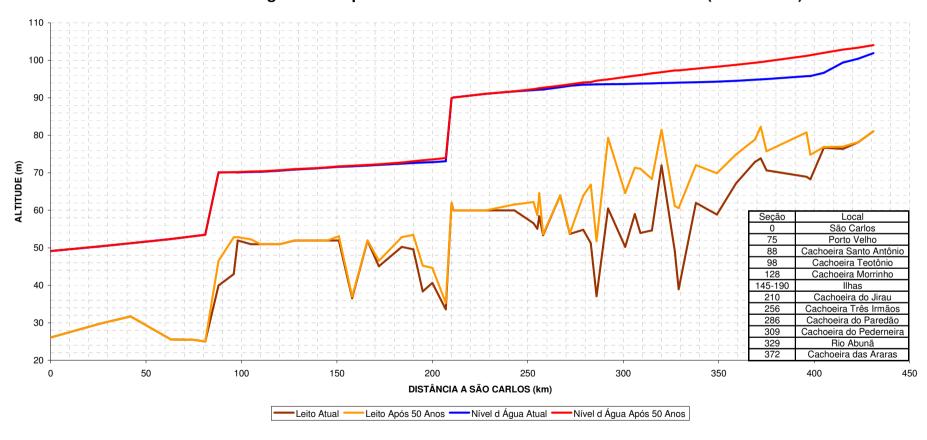




Tabela 6.36 Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 1J-87-C – Após a Construção do AHE Jirau – El. 87,00 m

PERIODO	0 Al	NOS	5 Al	NOS	10 A	NOS	20 A	NOS	50 A	NOS
SEÇAO	TALVEGUE	NA								
431	81.05	101.78	81.05	101.81	81.05	101.86	81.05	102.07	81.05	103.38
423	78.15	100.18	78.15	100.23	78.15	100.31	78.15	100.67	78.16	102.52
415	76.35	99.10	76.35	99.16	76.35	99.27	76.35	99.73	76.59	101.93
405	76.66	95.85	76.66	96.07	76.66	96.39	76.66	97.35	76.66	100.93
398	68.24	94.77	68.25	95.05	68.25	95.46	68.25	96.58	72.98	100.30
396	68.95	94.72	69.43	95.00	70.12	95.41	73.71	96.49	80.26	100.12
375	70.65	93.84	70.65	94.14	70.66	94.56	70.70	95.50	74.43	98.63
372	73.85	93.72	73.86	94.02	73.91	94.45	75.49	95.38	81.59	98.39
369 359	72.94 67.15	93.61 93.27	73.11 67.32	93.92 93.58	73.16 67.26	94.35 94.02	74.37 67.58	95.27 94.94	77.63 74.24	98.24 97.66
349	58.86	93.03	60.94	93.31	61.55	93.75	63.54	94.64	68.78	97.16
338	61.97	92.81	66.56	92.92	66.66	93.38	66.70	94.27	71.13	96.64
329	38.98	92.74	46.07	92.77	53.11	93.06	53.37	93.99	59.64	96.15
327	49.07	92.70	50.80	92.74	57.18	92.99	58.29	93.91	60.56	96.15
320	71.96	92.58	71.96	92.61	73.79	92.74	75.09	93.64	79.87	95.71
315	54.62	92.42	54.92	92.44	58.45	92.49	62.38	93.33	67.23	95.32
309	53.95	92.36	55.25	92.37	57.65	92.39	65.65	93.01	70.86	94.86
306	59.01	92.32	59.01	92.33	59.13	92.35	64.30	92.92	70.66	94.62
301	50.26	92.21	50.68	92.21	51.49	92.23	61.13	92.49	61.25	94.29
292	60.47	92.10	61.02	92.10	61.64	92.10	67.27	92.12	79.13	93.46
286	37.09	92.07	37.09	92.07	37.09	92.07	38.29	92.07	49.43	93.13
283	51.24	91.99	51.24	91.99	51.24	91.99	51.24	91.99	65.21	92.67
279	54.80	91.94	54.80	91.94	54.80	91.94	54.80	91.94	63.06	92.50
272	53.68	91.57	53.68	91.57	53.68	91.57	53.68	91.57	53.98	91.92
267 258	63.95	91.12 90.35	63.95	91.13	63.95	91.13 90.35	63.95	91.13	63.95	91.49 90.74
256	53.37 58.37	90.35	53.37 58.37	90.35 90.25	53.37 58.37	90.35	53.37 58.37	90.35 90.25	53.64 63.33	90.74
255	55.05	90.18	55.05	90.19	55.05	90.19	55.05	90.19	57.74	90.49
253	56.57	90.06	56.57	90.06	56.57	90.06	56.57	90.06	61.26	90.28
243	59.95	89.63	59.95	89.63	59.95	89.63	59.95	89.63	60.45	89.65
228	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78
211	59.95	87.24	59.95	87.24	59.95	87.24	59.95	87.24	59.96	87.24
210	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99
207	33.56	71.67	33.56	71.67	33.56	71.67	33.56	71.67	34.34	72.55
200	40.63	71.27	40.63	71.27	40.63	71.27	40.63	71.27	43.56	72.09
195	38.37	71.13	38.37	71.13	38.37	71.13	38.37	71.13	44.67	71.77
190	49.59	70.96	49.59	70.96	49.59	70.96	49.59	70.96	51.93	71.44
184	50.23	70.64	50.23	70.64	50.23	70.64	50.23	70.64	52.24	70.97
172	45.05	70.01 69.73	45.05	70.01 69.72	45.05	70.01 69.72	45.05	70.01 69.72	46.43	70.11 69.79
166 158	51.85 36.58	69.73	51.85 36.58	69.72	51.85 36.58	69.72	51.85 36.58	69.72	51.99 37.72	69.79
151	51.97	69.03	51.97	69.03	51.97	69.03	51.97	69.03	52.00	69.03
145	51.97	68.60	51.97	68.59	51.97	68.59	51.97	68.59	51.97	68.59
139	51.97	67.87	51.97	67.87	51.97	67.87	51.97	67.87	51.97	67.86
128	51.97	66.71	51.97	66.71	51.97	66.71	51.97	66.71	51.97	66.70
120	50.96	65.54	50.96	65.54	50.96	65.54	50.96	65.54	50.96	65.54
110	50.96	63.05	50.96	63.05	50.96	63.05	50.96	63.05	50.96	63.04
105	50.96	62.11	50.96	62.11	50.96	62.11	50.96	62.11	50.96	62.09
98	51.97	56.88	51.97	56.88	51.97	56.88	51.97	56.88	51.97	56.96
96	42.98	56.58	42.98	56.58	42.98	56.58	42.98	56.58	42.98	56.69
88	39.96	56.03	39.96	56.03	39.96	56.03	39.96	56.03	39.98	56.16
81	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	25.00	53.48
75	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.08
63	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.56	52.34
42 26	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.23
0	29.78 26.06	50.38 49.12	29.78 26.06	50.37 49.12	29.78 26.06	50.37 49.12	29.78 26.06	50.37 49.12	29.81 26.11	50.38 49.12
U	20.00	43.12	20.00	43.12	20.00	43.12	20.00	43.12	20.11	43.14



Figura 6.37
Simulação do Trecho em Estudo Durante 50 Anos – Caso 1J-87 – Após a Construção do AHE Jirau – Nível d'Água na El. 87,00 m
Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

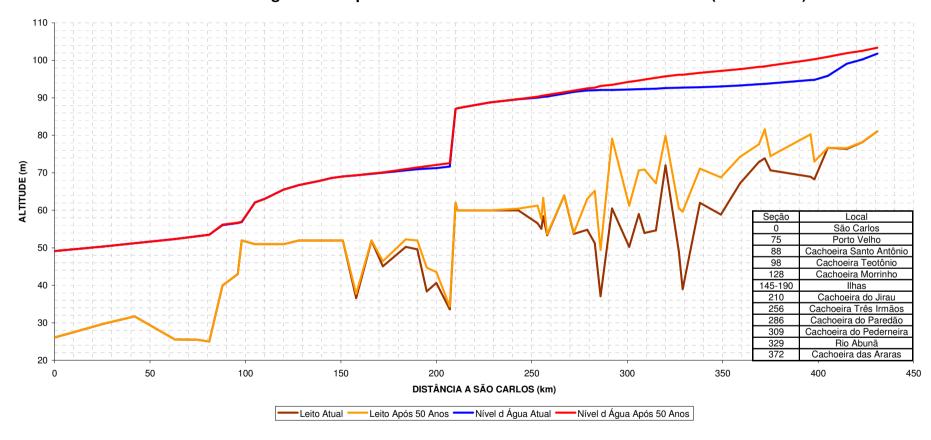




Tabela 6.38 Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos Caso 2-87-C – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos – AHE Jirau na El. 87,00 m

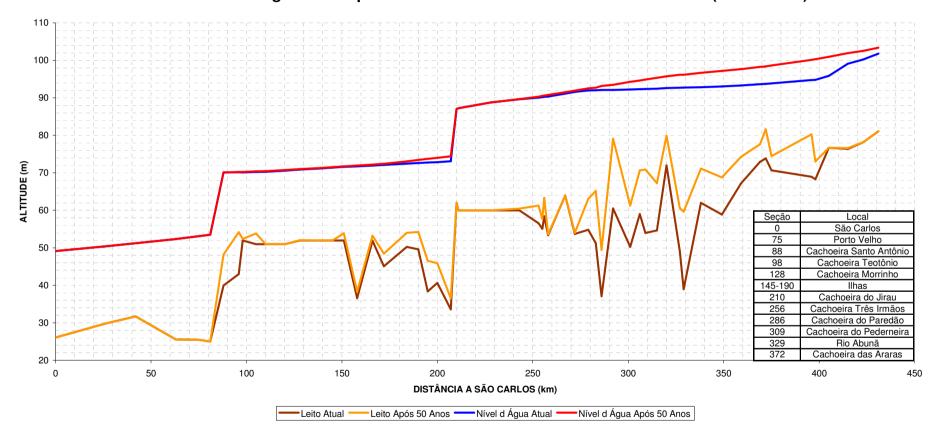
PERIODO	0 AN	NOS	5 AN	NOS	10 A	NOS	20 A	NOS	50 A	NOS
SEÇAO	TALVEGUE	NA								
431	81.05	101.78	81.05	101.81	81.05	101.86	81.05	102.07	81.05	103.38
423	78.15	100.18	78.15	100.23	78.15	100.31	78.15	100.67	78.16	102.52
415	76.35	99.10	76.35	99.16	76.35	99.27	76.35	99.73	76.59	101.93
405	76.66	95.85	76.66	96.07	76.66	96.39	76.66	97.35	76.66	100.93
398	68.24	94.77	68.25	95.05	68.25	95.46	68.25	96.58	72.98	100.30
396	68.95	94.72	69.43	95.00	70.12	95.41	73.71	96.49	80.26	100.12
375	70.65	93.84	70.65	94.14	70.66	94.56	70.70	95.50	74.43	98.63
372	73.85	93.72	73.86	94.02	73.91	94.45	75.49	95.38	81.59	98.39
369	72.94	93.61	73.11	93.92	73.16	94.35	74.37	95.27	77.63	98.24
359	67.15	93.27	67.32	93.58	67.26	94.02	67.58	94.94	74.24	97.66
349	58.86	93.03	60.94	93.31	61.55	93.75	63.54	94.64	68.78	97.16
338	61.97	92.81	66.56	92.92	66.66	93.38	66.70	94.27	71.13	96.64
329	38.98	92.74	46.07	92.77	53.11	93.06	53.37	93.99	59.64	96.15
327	49.07	92.70	50.80	92.74	57.18	92.99	58.29	93.91	60.56	96.15
320	71.96	92.58	71.96	92.61	73.79	92.74	75.09	93.64	79.87	95.71
315	54.62	92.42	54.92	92.44	58.45	92.49	62.38	93.33	67.23	95.32
309	53.95	92.36	55.25	92.37	57.65	92.39	65.65	93.01	70.86	94.86
306	59.01	92.32	59.01	92.33	59.13	92.35	64.30	92.92	70.66	94.62
301	50.26	92.21	50.68	92.21	51.49	92.23	61.13	92.49	61.25	94.29
292	60.47	92.10	61.02	92.10	61.64	92.10	67.27	92.12	79.13	93.46
286	37.09	92.07	37.09	92.07	37.09	92.07	38.29	92.07	49.43	93.13
283	51.24	91.99	51.24	91.99	51.24	91.99	51.24	91.99	65.21	92.67
279	54.80	91.94	54.80	91.94	54.80	91.94	54.80	91.94	63.06	92.50
272	53.68	91.57	53.68	91.57	53.68	91.57	53.68	91.57	53.98	91.92
267	63.95	91.12	63.95	91.13	63.95	91.13	63.95	91.13	63.95	91.49
258	53.37	90.35	53.37	90.35	53.37	90.35	53.37	90.35	53.64	90.74
256	58.37	90.25	58.37	90.25	58.37	90.25	58.37	90.25	63.33	90.59
255	55.05	90.18	55.05	90.19	55.05	90.19	55.05	90.19	57.74	90.49
253	56.57	90.06	56.57	90.06	56.57	90.06	56.57	90.06	61.26	90.28
243	59.95	89.63	59.95	89.63	59.95	89.63	59.95	89.63	60.45	89.65
228	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78	59.95	88.78
211	59.95	87.24	59.95	87.24	59.95	87.24	59.95	87.24	59.96	87.24
210	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99	61.97	86.99
207	33.56	73.09	33.56	73.10	33.56	73.10	33.56	73.10	36.55	74.41
200	40.63	72.82	40.63	72.83	40.63	72.83	40.63	72.83	45.88	73.99
195	38.37	72.73	38.37	72.73	38.37	72.73	38.37	72.73	46.53	73.72
190	49.59	72.63	49.59	72.63	49.59	72.63	49.59	72.63	54.19	73.44
184	50.23	72.44	50.23	72.45	50.23	72.45	50.23	72.45	53.99	73.05
172	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.09	45.05	72.09	48.45	72.39
166	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.94	53.22	72.19
158	36.58	71.71	36.58	71.72	36.58	71.72	36.58	71.72	38.27	71.91
151	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.59	53.89	71.73
145	51.97	71.38	51.97	71.39	51.97	71.39	51.97	71.39	51.97	71.52
139	51.97	71.15	51.97	71.16	51.97	71.16	51.97	71.16	51.99	71.30
128	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.87	52.03	71.02
120	50.96	70.58	50.96	70.59	50.96	70.59	50.96	70.59	50.96	70.75
110	50.96	70.25	50.96	70.25	50.96	70.26	50.96	70.26	50.97	70.44
105	50.96	70.21	51.03	70.22	51.04	70.22	51.07	70.22	53.82	70.37
98	51.97	70.11	52.08	70.11	52.09	70.11	52.12	70.11	52.37	70.24
96	42.98	70.13	43.07	70.13	43.08	70.13	43.24	70.13	54.15	70.22
88	39.96	70.10	40.16	70.10	40.33	70.10	40.79	70.10	48.19	70.10
81	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.47	24.99	53.48
75	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.07	25.48	53.08
63	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.33	25.55	52.34
42	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.22	31.70	51.23
26	29.78	50.38	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.37	29.78	50.39
0	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.12	26.06	49.14



Figura 6.39

Condição Crítica – Simulação Durante 50 Anos – Caso 2-87 – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos
(Jirau na El. 87,00 m)

Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)





6.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Desenho PJ-0576-G3-GR-DE-0001 a 0004 servirá de referência para alguns tópicos abordados na análise dos resultados. Trata-se de uma imagem de satélite de todo o trecho, na qual estão assinaladas as seções empregadas na modelagem, com a terminologia adotada no HEC-6, ou seja, a quilometragem, de jusante para montante, a partir da Vila de São Carlos.

Na seqüência são apresentadas as conclusões mais importantes propiciadas pela modelagem realizada, considerando o rio Madeira em condições naturais, os efeitos da introdução de cada reservatório individualmente e a sinergia provocada pela sua implantação.

Para efeito de análise o estirão em estudo foi dividido em quatro trechos, a saber:

Trecho I – a montante de Abunã, seções acima da 329.

Trecho II – correspondente ao futuro reservatório de Jirau, entre as seções 329 e 210.

Trecho III – correspondente ao futuro reservatório de Santo Antônio, entre as seções 210 e 88.

Trecho IV – a jusante da futura barragem de Santo Antônio, seções 88 a 0.

6.6.1. Espacialização dos Sedimentos nos Reservatórios

A espacialização dos sedimentos no estirão fluvial em estudo é apresentada no mapeamento uni-dimensional (ao longo do rio) identificando os principais locais de provável deposição considerando os efeitos sinérgicos entre os reservatórios.

6.6.2. <u>Tendência Natural do Rio Madeira no Trecho em Estudo</u>

Os resultados das simulações indicaram que existe uma tendência natural ao assoreamento em alguns trechos localizados ao longo do estirão estudado. O primeiro desses trechos inicia-se a jusante da cachoeira do Ribeirão (seção 396), a montante de Abunã, prolongando-se até pouco a jusante da cachoeira do Paredão (seção 272), já na área do futuro reservatório de Jirau. Outro trecho com tendência natural ao assoreamento situa-se imediatamente a jusante da cachoeira do Jirau (seção 207 a 166), num estirão entre 30 e 40 km de extensão.



Comparando-se as figuras 6.17 e 6.29, que mostram a evolução esperada do perfil do leito do rio Madeira em condições naturais, pode-se perceber que, a persistir a atual tendência de crescimento da produção de sedimento na bacia, com taxa avaliada em 2% ao ano, estes dois trechos irão apresentar uma evolução sensível nos próximos 50 anos, independentemente da construção das usinas.

A Figura 6.40 (recorte do Desenho PJ-0576-G3-GR-DE-0003), mostra o primeiro dos trechos mencionados acima – nota-se a presença de pequenas ilhas nas imediações das seções 320, 315, 309 e 306, além do trecho mais assoreado a jusante da cachoeira do Paredão, com grandes ilhas já consolidadas.



Figura 6.40
Trecho do Rio Madeira sujeito ao Assoreamento, de Acordo com a Modelagem

A Figura 6.41 mostra o segundo dos trechos mencionados, a jusante da cachoeira do Jirau, todo pontilhado de ilhas já bastante consolidadas. Pode-se ainda notar depósitos de sedimentos nas curvas do rio Madeira (lado interno) a montante da futura barragem do Jirau, num trecho para o qual o modelo não indicou tendência natural de assoreamento. Embora o modelo não tenha este nível de sensibilidade, pode ser que este sedimento não



se consolide, sendo removido no início do período de cheia e novamente depositado durante a recessão do rio Madeira.

Figura 6.41
Trecho do Rio Madeira sujeito ao Assoreamento, de Acordo com a Modelagem

6.6.3. Balanço Sedimentológico

Foi feito, com auxílio do modelo, um balanço sedimentológico do rio Madeira ao longo de todo o estirão em estudo, que demonstrou que apenas as frações arenosas ficam retidas no trecho estudado, mesmo com a implantação dos reservatórios. O transporte do material siltoso e arenoso, que é feito por suspensão, apresentou equilíbrio em todas as simulações realizadas.

É importante frisar que a fração areia representa cerca de 12% do sedimento transportado pelo rio Madeira, considerando a média calculada a partir das medições de descarga sólida disponíveis, conforme mostrado na Tabela 6.10.

O resultado do balanço sedimentológico é apresentado sob forma de eficiência de retenção de sedimentos, expressa pela porcentagem de sedimentos retidos ao longo de 50 anos de simulação em relação ao volume total de sedimentos afluente no mesmo período.



A Tabela 6.42 apresenta estes resultados, para a condição estabilizada, ou seja, admitindo-se que as atuais taxas de produção de sedimento permanecerão estáveis pelos próximos 50 anos. É importante notar nesta tabela que o percentual total não corresponde à soma dos percentuais em cada trecho. Isto porque o percentual de cada trecho referese ao volume afluente no próprio trecho.

Tabela 6.42
Capacidade de Retenção de Sedimento (areia) do rio Madeira em 50 Anos de Simulação
Condição Estabilizada (R = 0%)

Trecho	Sem Barragens	Com Santo Antônio	Com Jirau	Com Santo Antônio e Jirau	
I	7%	7%	19%	19%	
II	27%	30%	69%	69%	
III	6%	75%	12%	86%	
IV	0	0	0	0	
Total	40%	84%	78%	93%	

A Tabela 6.43 apresenta os mesmos resultados, para a condição crítica, ou seja, admitindo-se que a produção de sedimento irá crescer a uma taxa de 2% ao ano, pelos próximos 50 anos.

Tabela 6.43
Capacidade de Retenção de Sedimento (areia) do rio Madeira em 50 Anos de Simulação Condição Crítica (R = 2%)

Trecho	Trecho Sem Barragens		Com Jirau	Com Santo Antônio e Jirau	
I	18%	18%	30%	30%	
II	33%	33%	65%	65%	
III	21%	79%	21%	89%	
IV	0	0	0	0	
Total	57%	88%	80%	97%	

A análise desses quadros permite concluir:

Para a condição estabilizada:



Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

- O estirão em estudo possui uma capacidade de retenção de 40% de todo o sedimento arenoso que a ele aporta durante 50 anos.
- A introdução da barragem de Santo Antônio eleva esta capacidade para 84%.
- A introdução da barragem de Jirau eleva a capacidade de retenção de areia para 78%.
- A introdução das duas barragens faz com que a capacidade de retenção de sedimento alcance 93%.

Em condições críticas, com o crescimento da produção de sedimento da bacia a uma taxa de 2% ao ano, os dois reservatórios garantem a retenção de 97% do sedimento afluente ao longo de 50 anos de operação.

O remanso provocado pelo reservatório de Jirau acrescenta 12% à capacidade natural de retenção de sedimentos do trecho situado a montante de Abunã (trecho I).

Não se observou tendência de erosão no trecho IV (a jusante de Santo Antônio) devido à retenção de sedimentos pelos reservatórios a montante. Todavia, deve ser considerado que o modelo não representa este trecho com a mesma precisão que representa os trechos II e III, a montante.

6.6.4. Evolução do Sedimento Junto às Barragens

O modelo HEC-6 permite avaliar a evolução dos depósitos sedimentares ao longo dos reservatórios, particularmente nas proximidades das barragens. Estes resultados podem ser comparados com aqueles obtidos nos estudos de vida útil, apresentados no item 5.

No reservatório de Jirau, o modelo HEC-6 indicou que os depósitos sedimentares se formarão no trecho de montante, não sendo esperado que o sedimento alcance a barragem em 50 anos. De fato, pode ser facilmente visualizado, nos gráficos apresentados no item 6.5, que o perfil do leito do rio Madeira não sofre alterações entre as seções 210 (barragem de Jirau) e 243 (7 Km a jusante da Ilha Três Irmãos).

Já no reservatório de Santo Antônio, espera-se a ocorrência de depósitos sedimentares junto à barragem, particularmente no trecho situado a jusante da cachoeira Teotônio, onde as profundidades serão maiores e as velocidades, em consegüência, menores.



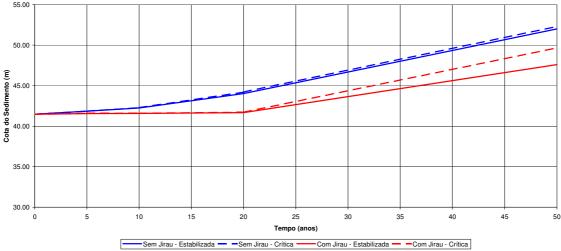
A Tabela 6.44, a seguir, mostra a evolução das cotas do leito do rio neste trecho próximo à barragem de Santo Antônio, com e sem a presença do reservatório de Jirau a montante, para as condições estabilizada e crítica de produção de sedimento na bacia.

Tabela 6.44 Evolução da Cota dos Sedimentos Junto à Barragem de Santo Antônio

Tempo	Sem o Reserv	atório de Jirau	Com o Reservatório de Jirau		
(anos)	Condição Estabilizada	Condição Crítica	Condição Estabilizada	Condição Crítica	
0	41,47	41,47	41,47	41,47	
5	41,84	41,85	41,56	41,57	
10	42,25	42,27	41,57	41,59	
20	44,02	44,20	41,67	41,71	
50	51,99	52,31	47,59	49,66	

A Figura 6.45, a seguir, ilustra os resultados da evolução da cota de sedimento depositado no trecho inferior do reservatório de Santo Antônio.

Figura 6.45
Evolução da Cota dos Sedimentos Junto à Barragem de Santo Antônio



6.6.5. Granulometria do Material Depositado

O material transportado pelo rio Madeira possui granulometria muito fina, sendo constituído por 88% de silte e argila, conforme demonstram as medições de descarga sólida realizadas. Os depósitos indicados nas simulações com o modelo HEC-6 serão



Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

constituídos exclusivamente de areias, conforme já explicado na apresentação do balanço sedimentológico.

Considerando ainda a granulometria média apresentada na Tabela 6.10, este material pode ser distribuído de acordo com a seguinte granulometria:

- 61% areias muito finas (< 0,0625 mm)
- . 31% areias finas (0,0625 mm a 0,125 mm)
- 7% areias médias (0,125 mm a 0,25 mm)
- 1% areias grossas (> 0,25 mm)

Esta granulometria refere-se aos depósitos do leito do rio, modelados pelo HEC-6. Outros depósitos, decorrentes de distribuições de velocidades irregulares em determinados trechos de rio, reentrâncias nas margens e bolsões marginais de reservatório têm ocorrências prováveis, porém suas determinações são limitadas pelo caráter unidimensional do modelo adotado.

Certamente ocorrerão também depósitos irregularmente distribuídos no leito do rio, como é o caso dos depósitos localizados nos lados internos das curvas, onde a velocidade do escoamento é menor. Estes depósitos, entretanto, nem sempre são definitivos ou consolidados – acabam por ser removidos durante a ocorrência de vazões maiores, quando as velocidades aumentam.

6.6.6. Permanência dos Depósitos Identificados

A modelagem realizada nesta etapa não permitiu identificar a sazonalidade dos depósitos, apenas quantificando os depósitos permanentes acumulados. Este mesmo modelo permite estudar a sazonalidade, mas, para isso, seria necessário ampliar o leque de observações para fundamentar um ajuste mais adequado do modelo.



7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES



Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

Foi realizada uma análise bem diversificada do comportamento sedimentológico do rio Madeira, considerando suas condições atuais e tendências naturais e as modificações introduzidas pela implantação dos reservatórios das Usinas Hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, isoladamente ou em conjunto. Estas análises consideraram ainda, como condição crítica, a possibilidade de que a taxa de crescimento da produção de sedimentos que se verificou nos últimos anos, em torno de 2% ao ano, venha a se manter pelos próximos 50 anos.

O trecho analisado se estende por cerca de 430 km, desde a formação do rio Madeira, na confluência dos rios Mamoré e Beni, na fronteira do Brasil com a Bolívia, até a confluência do rio Madeira com o rio Jamari, cerca de 80 km a jusante de Porto Velho.

O diagnóstico do comportamento sedimentológico do rio Madeira foi feito com base em estudos anteriores, medições de descarga sólida realizadas nas estações fluviométricas existentes, viagem de inspeção na qual grande parte do trecho de interesse foi percorrido a barco, e em estudos hidráulicos baseados na modelagem do escoamento em todo o estirão.

O prognóstico de assoreamento do reservatório foi feito através de duas metodologias distintas: a metodologia clássica de estudos de vida útil, que considera a evolução do assoreamento do reservatório com base na sua capacidade de retenção de sedimentos, estimada empiricamente a partir da sua geometria, e uma modelagem de hidráulica fluvial considerando a capacidade de transporte de sedimento do rio Madeira ao longo de todo o estirão de interesse, baseada em seções topobatimétricas levantadas e em medições de descarga sólida realizadas.

Algumas simplificações metodológicas utilizadas na modelagem de hidráulica fluvial merecem ser enfatizadas, de modo a situar claramente a precisão envolvida e orientar uma busca por dados complementares que permitam o emprego futuro de metodologias mais aprofundadas.

- A quantidade de seções transversais empregadas na modelagem, apesar de ser superior ao normalmente disponível em estudos similares no Brasil, não é suficiente. Particularmente os trechos I (a montante de Abunã) e IV (a jusante de Santo Antônio) tiveram uma caracterização geométrica precária, em virtude do pequeno número de seções disponíveis.
- Nos trechos II e III, 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.



Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

- 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 IV 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, bem como as imprecisões inerentes ao processo de medições de descargas sólidas, determinam uma utilização mais qualitativa dos resultados da modelagem, valorizando mais as tendências observadas e menos as avaliações quantitativas geradas pelo modelo.

As conclusões obtidas nas abordagens da metodologia clássica de estudos de vida útil e modelagem de hidráulica fluvial, são apresentadas em detalhe nos itens 5 (Avaliação do Assoreamento dos Reservatórios) e 6 (Modelagem Hidrossedimentológica do Rio Madeira).

As avaliações de assoreamento do reservatório podem ser consideradas conservadoras em relação à modelagem hidrossedimentológica, pelos seguintes motivos:

- A modelagem hidrossedimentológica se concentra mais no processo sedimentar do leito do rio, numa análise unidimensional, deixando de considerar os depósitos de sedimento ocorridos nas zonas sem escoamento, braços de reservatório, etc.
- A análise do assoreamento considera os reservatórios de forma aproximada, baseada na forma de sua curva cota área volume, sem considerar o fato de que os dois reservatórios do rio Madeira são essencialmente lineares, com o barramento funcionando apenas como um obstáculo que eleva o nível d'água. Como as reduções de velocidade são pequenas, conforme demonstrado nos estudos hidráulicos do item 4, a capacidade de retenção de sedimento considerada tende a ser conservadora.

De todo modo, os resultados obtidos pelos dois métodos, embora numericamente diferentes, não foram conflitantes. O grau de aprofundamento obtido nesses estudos foi satisfatório para a fase atual, de Estudos de Viabilidade.

O assoreamento dos reservatórios pode trazer algumas conseqüências importantes ao meio ambiente e à própria economicidade dos empreendimentos, dentre elas:

O material depositado pode alcançar o circuito hidráulico de geração, acarretando dificuldades operativas e comprometendo a durabilidade dos equipamentos hidromecânicos. Esta possibilidade foi analisada nos itens 5.23, 5.33 e 6.3, indicando



as cotas esperadas do sedimento depositado junto ao pé da barragem. Por este motivo, os projetos foram desenvolvidos buscando minimizar este efeito, através da manutenção de um dique submerso a montante do Canal de Adução da Tomada D'água (Santo Antônio) e de uma cota de segurança no Canal de Adução (Jirau).

 A intensificação dos efeitos de remanso, com elevação gradual dos NA na região de montante dos reservatórios, ficou demonstrada nos perfis de linha d'água elaborados e apresentados no item 6.5.

No caso da implantação da AHE Santo Antônio anteceder a do AHE Jirau, o assoreamento poderia eventualmente afetar a curva chave do Canal de Fuga, com a conseqüente perda energética, em razão da redução da queda disponível. Isto ocorrerá somente se o tempo de defasagem ultrapassar a 15 anos, na hipótese da confirmação da condição crítica (produção de sedimento crescendo a 2% ao ano). Caso contrário, isto é, AHE Jirau anteceder a AHE Santo Antônio, os efeitos do remanso sobre a curva chave somente serão perceptíveis para horizontes de operação bem superiores. Em qualquer das situações não são esperadas conseqüências adversas sobre a navegação.

Na região a montante e de entrada do reservatório do AHE Jirau as alterações dos níveis d'água são mais acentuados do que no reservatório de Santo Antônio, sendo diretamente proporcionais à produção de sedimentos e inversamente proporcionais ao nível d'água do reservatório. Este aumento dos níveis d'água pode sustentar comportamentos adicionais de remanso não perceptíveis nos estudos realizados nas condições atuais.

Deve ser destacado que os assoreamentos dos reservatórios estudados serão minimizados a medida da implantação dos demais aproveitamentos de montante na bacia, em especial aqueles componentes do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira, atualmente em estudos, a saber: AHE Guajará Mirim no rio Madeira (BR-BO) e AHE Cachuela Esperanza no rio Beni (BO).

Finalmente, recomenda-se a realização de campanhas complementares de coleta de dados, com o seguinte escopo básico:

- Levantamento de seções topobatimétricas complementares ao longo de todo estirão;
- Instalação e operação de uma régua limnimétrica no rio Madeira, a montante da confluência com o rio Jamarí, com amarração altimétrica da mesma em relação ao Datum do Projeto, de modo a se estabelecer uma curva-chave para o local.
- Levantamento de perfis longitudinais do leito e da linha d'água do rio Madeira, ao longo de todo o estirão em estudo.



Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

- Levantamento topobatimétrico detalhado da região próxima aos futuros barramentos, de modo a permitir o emprego de modelos bidimensionais dedicados à análise do fluxo de sedimento na proximidade das Tomadas d'Água.
- Continuação das campanhas sedimentométricas, incluindo medições de descarga sólida em alguns afluentes mais importantes, como é o caso do rio Abunã e dos rios Mutum-Paraná e Jaci-Paraná.



8. BIBLIOGRAFIA



Bordas, M. P., ^a E. Lanna & F. R. Semmelmann, "Evaluation dês Risques d'Érosion et de Sédimentation au Brésil à Partir de Bilans Sédimentologiques Rudimentaires", Sediment Budgets (ed. By M. P. Bordas & D. E. Walling), Proc: Porto Alegre Symposium, december, 1988 – IAHS Publ. No. 174, 1988.

Carvalho, N. O., "Hidrossedimentologia Prática", Publicação CPRM-ELETROBRÁS, 372 p., Rio de Janeiro, 1994.

Carvalho, N. O., N. Filizola Jr., P. M. C. Santos e J. E. F. W. Lima, "Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios", Publicação ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 132 p., Brasília, 2000.

Filizola Jr., N. P., "O Fluxo de Sedimentos em Suspensão nos Rios da Bacia Amazônica Brasileira", Publicação ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 1999.

Guyot, J. L., N. Filizola, J. Quintanilha e J. Cortez, "Dissolved Solids and Suspended Sediment Yields in the Madeira Basin, from the Bolivian Andes to the Amazon", Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives – Proceedings of the Exeter Symposium, July 1996 – IAHS Publ. No. 236, 1996.

IPH – Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, "Diagnóstico das Condições Sedimentológicas dos Principais Rios Brasileiros", Publicação ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S. A., Agosto de 1992.

Krone, R. B., "Flume Studies of the Transport of Sediment in Estuarial Shoaling Processes", Hydraulic Engineering Laboratory, University of California, Berkeley, CA, 1962.

Marin, E. M., "Hidraulica e Ingeniería Fluvial", Universidad Politecnica de Madrid – Escuela Tecnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid, 1985.

Marinha do Brasil, Diretoria de Hidrografia e Navegação, "Atlas da Hidrovia Madeira – Amazonas, de Itacoatiara a Porto Velho", 1^a. edição, 1999.

Parthenaides, E., "Erosion and Deposition of Cohesive Soils", Journal of the Hydraulics Division, ASCE, pp. 755-771, March 1965.

Souza, R. S., e L. M. N. de Araújo, "Análise Geoambiental Preliminar da Hidrovia do Rio Madeira, Amazônia, Brasil",

U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), "HEC-RAS, River Analysis System – User's Manual", Computer Program Documentation CPD-68, Version 3.1, November, 2002.

U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), "HEC-RAS, River Analysis System – Hydraulic Reference Manual", Computer Program Documentation CPD-69, Version 3.1, November, 2002.



Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), "HEC-RAS, River Analysis System Applications Guide", Computer Program Documentation CPD-70, Version 3.1, November, 2002.
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), "Guidelines for the Calibration and Application of Computer Program HEC-6", Training Document No. 13, Davis, CA, October 1992.
- U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC), "HEC-6, Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs, User's Manual," June 1991, Davis, CA.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE), "River Hydraulics," DRAFT EM 1110-2-1415, 1992, Washington, D.C.
- Yang, C. T., "Incipient Motion and Sediment Transport," Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 99, No. HY10, Proc. Paper 10067, pp. 1679-1704, October 1973.
- Yang C. T. and Wan, S., "Comparisons of Selected Bed-Material Load Formulas," ASCE Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 117, No. 8, pp. 973-989, August 1991.



ÍNDICE

Item	Assunto	Página
1.	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	1.1
1.1. 1.2. 1.3.	Introdução Justificativa do Trabalho e Abordagem Geral Organização do Relatório	1.2 1.3 1.5
2.	CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO MADEIRA NO ESTIRÃO EM ESTUDO	2.1
2.1.	DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS REALIZADOS	2.2
	Campanhas de Campo e Distribuição das Estações Variáveis Mensuradas e Metodologia de Amostragem	2.2 2.6
2.2. 2.2.1.	SUMÁRIO DOS PARÂMETROS ATUAIS DE QUALIDADE DA ÁGUA Regime Fluvial	2.8
	Variáveis Físicas, Físico-Químicas e Químicas de Interesse à Modelagem da Qualidade da Água Análise Bacteriológica	2.9 2.17
2.3.	CONCENTRAÇÕES MEDIDAS AO LONGO DO RIO MADEIRA E TRIBUTÁRIOS	2.18
3.	CARACTERIZAÇÃO DOS FUTUROS RESERVATÓRIOS	3.1
	CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DOS RESERVATÓRIOS Reservatório do AHE Jirau Reservatório do AHE Santo Antônio	3.2 3.3 3.5
3.2.1.	Análise das Condições de Estratificação e Eutrofização Estratificação Eutrofização	3.6 3.6 3.9
3.3.	SELEÇÃO DO MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA	3.10
4.	DETERMINAÇÃO DAS CARGAS DEVIDO AO AFOGAMENTO DA VEGETAÇÃO	4.1
4.1. 4.2.	METODOLOGIA CÁLCULO DA BIOMASSA NA ÁREA DOS RESERVATÓRIOS	4.2 4.2
4.3.	DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE CARBONO PRESENTE NA BIOMASSA	4.5
4.4.	DISCRETIZAÇÃO DA BIOMASSA VIVA ACIMA DO SOLO	4.6
4.5.	QUANTIFICAÇÃO DO CARBONO OXIDÁVEL NA PARCELA RAPIDAMENTE DEGRADÁVEL	
4.6. 4.7.	CÁLCULO DA DENSIDADE MÉDIA DO CARBONO DEGRADÁVEL NOS RESERVATÓRIOS INCORPORAÇÃO DA FITOMASSA NOS RESERVATÓRIOS	4.11 4.14
	Reservatório de Jirau	4.14
		4.17



5	ESTABELECIMENTO DO MODELO DE QUALIDADE DA AGUA	5.1
5.1.2. 5.1.3. 5.1.4.	DESCRIÇÃO DO MODELO UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES – QUAL2E Representação Conceitual do Modelo Representação Funcional do Modelo Características Hidráulicas e Dispersão Longitudinal Constituintes e Reações Considerados nas Simulações Correção da Temperatura	5.2 5.3 5.5 4.7 5.8 4.11
5.2.1. 5.2.2. 5.2.3.	CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA AS CONDIÇÕES ATUAIS Segmentação do Estirão Fluvial Características Hidráulicas dos Trechos Cenários Escolhidos Para Calibragem e Condições de Contorno Associadas Calibração dos Parâmetros	5.12 5.15 5.15 5.16 5.17
5.3.	MODIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA CONSIDERAR O EFEITO DOS RESERVATÓRIOS	5.20
6.	SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NOS FUTUROS RESERVATÓRIOS	6.1
6.2.2. 6.2.3. 6.2.4.		
6.3.	Análise dos Resultados	6.10
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	7.1
8.	REFERÊNCIAS	8.1



1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO



1.1. INTRODUÇÃO

A presente Nota Técnica tem por objetivo consolidar os estudos de modelagem matemática, realizados para caracterização dos impactos decorrentes da implantação dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio sobre a qualidade da água do rio Madeira.

Os estudos realizados cobriram todo o estirão do rio Madeira desde sua confluência com o rio Abunã, na entrada do futuro reservatório da UHE Jirau, até a confluência com o rio Jamarí, cerca de 80 km a jusante da barragem de Santo Antônio. Inserem-se em uma programação de trabalho mais abrangente, a ser complementada nas fases posteriores com novos levantamentos de campo e uma modelagem mais detalhada de cada reservatório.

Para esta etapa inicial dos estudos levou-se em consideração o escopo básico estabelecido no Termo de Referência, relativo à caracterização do meio físico na Área de Influência Direta (item 4.6.2.1) — Recursos Hídricos, onde se lê (grifos nossos):

Avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, a partir de um refinamento dos dados obtidos na bacia hidrográfica. Esse estudo deverá contar com análises de parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e hidrobiológicos, com a identificação das principais fontes de poluição. As estações, parâmetros, freqüência e metodologias deverão ser apresentados e justificados, considerando a sazonalidade da região estudada.

Avaliar a qualidade da água futura do reservatório e a jusante desse, considerando as fases de implantação e de operação. Essa atividade deverá ser realizada a partir do uso de modelos matemáticos específicos. Essa previsão da qualidade da água deverá abordar também a possível dinâmica de eutrofização do reservatório, relacionada à biomassa inundada e à carga potencial de nutrientes.

Para atendimento a esse escopo, foi realizada uma modelagem de qualidade da água dos dois reservatórios, considerando os efeitos sinérgicos entre eles. Esta modelagem foi feita com o emprego de um modelo unidimensional, conforme justificado mais adiante, que foi calibrado de forma a reproduzir as condições observadas no presente e, posteriormente, alimentado com as cargas decorrentes da vegetação a ser afogada durante o enchimento dos reservatórios. Para essa condição futura, os parâmetros do modelo foram também adaptados, buscando melhor representar as novas condições hidráulicas e de autodepuração reinantes após o enchimento.

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. Foram coletadas amostras de água para análises laboratoriais em oito estações, ao longo do rio Madeira, e seis estações em alguns tributários selecionados. Este estudo fundamentou o estabelecimento das condições atuais para efeito de calibração do modelo de qualidade da água.

Para avaliação da biomassa afogada pelos reservatórios e determinação das principais cargas a ela associadas, foi tomado como base o documento "Diagnóstico do Uso da Terra e da Cobertura Vegetal das Áreas de Influência dos Aproveitamentos de Jirau e Santo Antônio" (referência 2), que apresentou a caracterização da cobertura vegetal das áreas dos futuros reservatórios, incluindo a estimativa da biomassa estocada (serrapilheira) e da biomassa verde (biomassa viva acima do solo), associadas a cada tipologia de cobertura. Estes dados foram integrados sobre a área a ser inundada pelos reservatórios, para composição das cargas a serem fornecidas ao modelo de qualidade da água.

As simulações realizadas contemplaram, além da situação atual, as situações posteriores à implantação dos reservatórios, considerando:

- . Implantação do reservatório de Jirau isoladamente;
- Implantação do reservatório de Santo Antônio isoladamente;
- Implantação do reservatório de Jirau com a usina de Santo Antônio já em operação; e
- Implantação do reservatório de Santo Anônio com a usina de Jirau já em operação.

Para todas essas situações foram consideradas condições hidrológicas críticas (vazões de estiagem) e normais.

1.2. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO E ABORDAGEM GERAL

A construção de uma barragem e a formação de um reservatório ocasiona mudanças significativas num curso d'água, reduzindo as velocidades médias do escoamento e aumentando, por conseqüência, o tempo de permanência da água no trecho inundado, com reflexos sobre a qualidade da água.

A inundação da vegetação existente (ou remanescente) na área do reservatório é responsável por um dos principais 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.

Duas fases são identificadas no processo de estabelecimento de um reservatório:

 Fase de enchimento do reservatório, onde se observa a ocorrência de condições mais críticas em termos de qualidade da água. A biomassa vegetal residente é



afogada e se decompõe, liberando uma grande quantidade de compostos orgânicos e nutrientes, com possibilidades até de estabelecimento de condições anóxicas. Durante este período, que se prolonga até o reservatório alcançar o seu nível operacional, incorporando toda a vegetação existente, a biomassa de rápida decomposição vai sendo oxidada, com consumo intenso de oxigênio.

 Fase de operação, na qual ocorre, ao longo do tempo, o consumo de toda a matéria orgânica inundada, num ritmo menos acelerado, e posterior estabilização das condições bioquímicas do meio aquático.

Para representar estes processos recorre-se, normalmente, a modelos de simulação de qualidade da água em reservatórios, com representação do reservatório em uma, duas e, até mesmo, três dimensões, dependendo das dimensões e complexidade do corpo hídrico, além, naturalmente, da disponibilidade de dados.

Os dois reservatórios do rio Madeira considerados no presente estudo apresentam características bem marcantes, com escoamento predominantemente unidimensional ao longo de seu traçado longitudinal. Em outras palavras, os dois reservatórios apresentam características de regime fluvial, com ocorrência de poucas (mas importantes) áreas marginais alagadas, podendo ser representados matematicamente através de modelos unidimensionais de escoamento e de qualidade da água.

Por este motivo, empregou-se no presente estudo água o modelo QUAL2E, desenvolvido pela EPA — Environmental Protection Agency para simulação de qualidade da água de rios e estuários. 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.

No item 3 deste relatório é apresentada uma justificativa dessa escolha fundamentada na morfometria dos dois reservatórios e em índices e modelos simplificados de estratificação e eutrofização de reservatórios.

De forma resumida, a abordagem geral empregada no presente trabalho consta de:

- Caracterização da qualidade da água do rio Madeira com base em ensaios de laboratório realizados com amostras retiradas de diversos pontos no corpo d'água principal e em seus principais afluentes, cobrindo as quatro fases principais do ciclo hidrológico;
- Determinação da quantidade de biomassa afogada pelos reservatórios, com base no inventário florestal realizado e com auxílio de dados complementares obtidos em estudos similares realizados para outros reservatórios amazônicos:
- Estabelecimento de um modelo de qualidade da água para todo o estirão do rio Madeira, com base na caracterização feita anteriormente;



Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatório do Rio Madeira

- Simulação de cenários futuros, considerando a implantação de cada reservatório em primeira ou segunda adição, de modo a analisar os efeitos sinérgicos existentes; e
- Análise dos resultados das simulações, caracterização dos impactos sobre a qualidade da água e estabelecimento de possíveis medidas mitigadoras.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O presente relatório está organizado da seguinte forma:

Item 1 – esta nota introdutória, que justifica e descreve a abordagem geral do trabalho;

Item 2 – apresentação de uma caracterização geral da qualidade da água do Madeira no estirão fluvial de interesse aos estudos, com base em trabalhos realizados anteriormente, buscando estabelecer condições atuais para a calibração do modelo matemático de qualidade da água.

Item 3 – apresentação da metodologia empregada nos estudos, justificando, com base em elementos da morfologia dos reservatórios, o emprego do modelo unidimensional de qualidade da água em rios em vez do modelo típico de reservatório.

Item 4 – Determinação das cargas decorrentes do afogamento da vegetação pelos reservatórios, tomando por base os estudos de caracterização da vegetação realizados anteriormente.

Item 5 – Estabelecimento do modelo de qualidade da água do reservatório, incluindo a descrição do modelo Qual2 e sua calibração para as condições atuais.

Item 6 – Simulação da evolução da qualidade da água ao longo do estirão em estudo, considerando as cargas estimadas no item 4, parâmetros adaptados do modelo, para considerar as novas propriedades hidráulicas do rio após o represamento, e as diversas condições de entrada em operação dos dois empreendimentos.

Item 7 – apresentação das principais conclusões relativas ao estudo realizado, identificação dos impactos e recomendações decorrentes, seja com relação à mitigação dos efeitos negativos detectados seja com relação ao aprimoramento futuro dos trabalhos.



2. CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO MADEIRA NO ESTIRÃO EM ESTUDO



A principal fonte de referência para os estudos de modelagem matemática de qualidade da água, no que diz respeito à caracterização da qualidade da água do rio Madeira no estirão em estudo, foi o Diagnóstico Ambiental do Sistema Fluvial do Rio Madeira no Trecho de Implantação das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio (Referência 1), desenvolvido como parte integrante dos Estudos de Impacto Ambiental dos referidos aproveitamentos.

Na seqüência apresenta-se uma breve descrição dos estudos realizados e, também, um sumário dos parâmetros de qualidade da água obtidos.

2.1. DESCRIÇÃO DOS ESTUDOS REALIZADOS

O Diagnóstico Ambiental do Sistema Fluvial do Rio Madeira no Trecho de Implantação das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio foi desenvolvido pela Fundação Djalma Batista, no período de 2003 a 2005, em conformidade com as recomendações estabelecidas no Termo de Referência elaborado por FURNAS Centrais Elétricas S.A.

Os estudos limnológicos englobaram o trecho do rio Madeira compreendido entre as cidades de Abunã e Porto Velho, incluindo seus principais tributários — rio Mutumparaná, e seu afluente pela margem esquerda, o rio Cotia, e rio Jaciparaná, pela margem direita; e rio Abunã e igarapé São Simão, pela margem esquerda.

2.1.1. Campanhas de Campo e Distribuição das Estações

No período de novembro de 2003 a agosto de 2004, foram realizadas cinco campanhas de campo, com duração aproximada de 10 dias, a intervalos regulares de aproximadamente 60 dias, assim estabelecidas:

- 1ª Campanha de Campo: 10 a 18 de novembro de 2003;
- 2ª Campanha de Campo: 28 de janeiro a 05 de fevereiro de 2004;
- . 3ª Campanha de Campo: 21 a 31 de março de 2004;
- · 4ª Campanha de Campo: 18 a 26 de maio de 2004; e,
- 5ª Campanha de Campo: 20 a 31 de julho de 2004.

Em cada campanha de campo foram realizadas amostragens de água e material biológico em 14 estações ao longo da bacia do rio Madeira, entre as cidades de Abunã e Porto Velho, distribuídas segundo as recomendações estabelecidas no Termo de Referência, da seguinte forma:

- 8 estações ao longo do eixo longitudinal do rio Madeira; e,
- 6 estações em afluentes (tributários) selecionados.

A Tabela 2.1 e as Figuras 2.2 e 2.3, a seguir, mostram a localização das estações de coleta e suas distâncias aproximadas.



Tabela 2.1 Localização das Estações de Coleta

Rio Madeira

Ponto de Coleta	Localização (GPS)		Referencial
MAD10	09°44'03"S	65°21'01"W	A montante do rio Abunã
MAD20	09°36'44"S	65°23'30"W	A montante do igarapé São Simão
MAD30	09°35'10"S	64°57'22"W	A montante do rio Mutumparaná
MAD40	09°20'29"S	64°43'55"W	A montante do eixo Jirau
MAD50	09°11'34"S	64°22'37"W	A jusante do rio Jaciparaná
MAD60	08°52'02"S	64°04'21"W	A montante do eixo Teotônio
MAD80	08°47'50"S	63°57'41"W	A montante do eixo Santo Antônio
MAD90	08°38'50"S	63°54'40"W	A jusante de Porto Velho

Tributários

Ponto de Coleta	Localização (GPS)		Referencial
ABU10	09°41'38"S	65°26'39"W	rio Abunã
SSM10	09°30'34"S	65°17'55"W	igarapé São Simão
MTM30	09°36'59"S	64°55'58"W	rio Mutumparaná (Rodovia)
MTM10	09°40'43"S	64°58'42"W	rio Mutumparaná, à montante do rio Cotia
COT10	09°40'44"S	64°58'50"W	rio Cotia
JAC10	09°11'34"S	64°22'37"W	rio Jaciparaná



Figura 2.2 Mapa de Localização das Estações de Coleta

Fonte: Referência 1





Guajará-Mirim - km 480 1520 km à montante da foz do rio Madeira Rio Mamoré - Rio Yata - Rio Beni Rio Madeira Vila de Abunã -- Rio Abunã Rio Cotia Ig. São Simão Rio Mutumparaná -Cach, Jirau Vila de Jaciparaná -Rio Jaciparaná Cach, Teotônio Cach. Stº. Antônio Porto Velho - Balsa - km 0 1040 km à montante da foz do rio Madeira Distâncias aproximadas de Fonte: Referência Porto Velho à: Lago Cuniã = 115 km Rio Jamarí = 80 km Rio Jamarí -Belmonte = 20 km Cach. Stº. Antônio = 20 km Cach. Teotônio = 30 km O Lago Cuniã Salto Jirau = 180 km Abunã = 300 km Estações limnológicas Rio Beni = 420 km Rio Madeira Guajará-Mirim = 480 km Afluentes Rio Guaporé = 720 km Costa Marques = 990 km

Figura 2.3 Esquema de Localização das Estações de Coleta

2.5



As estações MAD10 a MAD40 (rio Madeira), ABU10 (rio Abunã), SSM10 (igarapé São Simão), MTM30 e MTM10 (rio Mutumparaná), e COT10 (rio Cotia) localizam-se na área de influência a montante da AHE Jirau. As estações MAD50 a MAD80 (rio Madeira) e JAC10 (rio Jaciparaná) localizam-se na área de influência a montante da AHE Santo Antônio. Por fim, a estação MAD90 (rio Madeira) está localizada a jusante do AHE Santo Antônio e da cidade de Porto Velho.

2.1.2. Variáveis Mensuradas e Metodologia de Amostragem

As variáveis físicas, físico-químicas, químicas e biológicas mensuradas nos estudos e que servirão de subsídio aos estudos de modelagem da qualidade da água são apresentadas na Tabela 2.4. Além dessas, foram obtidos outros parâmetros, tais como condutividade elétrica, turbidez, sólidos suspensos, metais pesados, ferro e composição iônica, que estão detalhadamente apresentados na Referência 1.

Tabela 2.4 Variáveis de Interesse à Modelagem

Medições de Campo

Temperatura da Água	ōC
Turbidez	F.T.U.
Oxigênio Dissolvido	mg/L

Grupo 2

Nitrogênio Orgânico Total (Kjeldahl)	mg/L
Amônia (NH ₃)	mg/L
Nitrato (NO ₃)	mg/L
Ortofosfato (PO ₄)	mg/L
Fósforo Total (P)	mg/L
Fósforo Total Dissolvido (P)	mg/L
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	mg/L
Carbono Orgânico Dissolvido	mg/L

Grupo 3

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	mg/L
Coliformes Totais	NMP/100mL
Coliformes Fecais	NMP/100mL

Em todos os pontos de amostragem do rio Madeira e tributários foram registrados a data e horário de coleta, profundidade, temperatura do ar, transparência e coletada amostra de água superficial para determinação da turbidez. Em seguida foram realizados perfis verticais de temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH utilizando-se potenciômetros de campo. Os referidos perfis abrangeram a calha central e margens esquerda e direita no rio Madeira e somente a calha central dos



tributários, e foram usados para caracterizar a oscilação espacial e temporal dessas variáveis nos ambientes amostrados.

A amostragem das variáveis físicas e/ou químicas do Grupo 2 constou de coletas de água da sub-superfície e do fundo nas oito estações do rio Madeira, sendo amostrado tanto a calha central como as margens esquerda e direita, totalizando 48 pontos de amostragem. Nos tributários foi estabelecido somente um ponto de coleta, na superfície (calha central), totalizando seis pontos de amostragem. Com isso, obteve-se um total de 54 pontos de coleta para as variáveis do Grupo 2.

Para as variáveis do Grupo 3 foram coletadas somente amostras de água superficial, em todos os tributários e em quatro estações selecionadas no rio Madeira (MAD10, MAD40, MAD60 e MAD90), totalizando 10 pontos de coleta.

Para as variáveis de interesse para os estudos de modelagem matemática de qualidade da água, as metodologias de determinação foram as seguintes:

- Distribuição vertical de temperatura (℃) e oxigênio dissolvido (mg/L e % de saturação) avaliada simultaneamente com oxímetro portátil WTW ProfiLine Oxi197, equipado com sensor (compensado para temperatura), acoplado a um agitador subaquático modelo BR325 e cabo de 25 m;
- Turbidez (FTU) determinada através de leitura direta da amostra de água em espectrofotômetro referenciada à água deionizada;
- DBO (mg/L) determinada através da incubação por cinco dias seguida de análise dos teores de oxigênio, o qual foi estimado pelo método tritrimétrico de Winkler modificado:
- DQO (mg/L) determinada pelo método de oxidação com permanganato de potássio;
- Ortofosfato (P-PO4), amônia (N-NH3), nitrato (N-NO3), fósforo total (PT) e fósforo total dissolvido (PTD) – determinados utilizando-se as técnicas de análise por dosagem espectrofotométrica descritas nas Referências 3 e 3. Os resultados são expressos em mg/L;
- Nitrogênio orgânico total (mg/L) estimado através do método clássico de Kjeldahl, onde as amostras passam pelos processos de digestão ácida, destilação e titulação;
- Carbono orgânico (mg/L) foi determinado por cálculo baseado nos valores de DQO;
- Coliformes (NMP/100mL) foi determinado o número mais provável (NMP/100mL) de coliformes totais e fecais nas amostras de água segundo a metodologia descrita na Referência 5. Os valores obtidos foram comparados com os exigidos pela Resolução Conama nº 20 que classifica as águas interiores do Brasil.



2.2. SUMÁRIO DOS PARÂMETROS ATUAIS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Na seqüência são apresentados os principais aspectos abordados no *Diagnóstico* Ambiental do Sistema Fluvial do Rio Madeira no Trecho de Implantação das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio.

2.2.1. Regime Fluvial

Antes da apresentação e discussão dos resultados obtidos, vale ressaltar o marcante comportamento sazonal da bacia do rio Madeira.

O regime hidrológico do rio Madeira 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 freqüência em setembro, enquanto que as máximas verificam-se nos meses de março e abril. A flutuação média anual da água do rio varia na faixa de 10,8-12,4 metros. A variação entre o pico de água alta e água baixa é de aproximadamente 15,4-21,8 metros.

Os registros fluviométricos, diários e mensais, do rio Madeira nos anos de 2003 e 2004, que cobre, portanto, o período no qual foram realizadas as campanhas, estão apresentados nas Figuras 2.5 a 2.7.

Observa-se que a amplitude de variação do nível de água do rio Madeira no ano de 2003 oscilou de 11,4 m, em Jirau, a 15,3 m, em Abunã. Em 2004, a amplitude oscilou entre 11,2 m, em Jirau, e 12,7 m, em Abunã. De modo geral, o pico máximo de água alta ocorreu entre janeiro-março e o mínimo entre setembro-outubro.

A amplitude de variação da vazão de água do Madeira, medida em Porto Velho, em 2003, foi de 33.021 m³/s, sendo ligeiramente inferior em 2004, da ordem de 30.908 m³/s. A vazão mais alta para o período (36.096 m³/s) ocorreu no mês de março de 2003, enquanto a mais baixa (2.533 m³/s) foi registrada em outubro de 2004. De modo geral, o pico máximo da vazão ocorreu entre fevereiro-março e o mínimo entre setembro-outubro.

Considerando-se os períodos de cada uma das cinco campanhas realizadas e as informações extraídas das Figuras 2.1.1 a 2.1.3, pode-se estabelecer para cada campanha uma fase do ciclo hidrológico, como se segue:

- 1ª campanha (10 a 18 de novembro de 2003): fase de enchente (2003);
- 2ª campanha (28 de janeiro a 05 de fevereiro de 2004): fase de cheia (2004);
- 3ª campanha (21 a 31 de março de 2004): fase de cheia (2004);
- 4ª campanha (18 a 26 de maio de 2004): fase de vazante (2004); e,
- 5ª campanha (20 a 31 de julho de 2004): fase de seca (2004).



2.2.2. <u>Variáveis Físicas, Físico-Químicas e Químicas de Interesse à Modelagem da Qualidade da Água</u>

Na sequência são transcritos alguns resultados e análises apresentados no Diagnóstico Ambiental do Sistema Fluvial do Rio Madeira no Trecho de Implantação das Usinas Hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio.

A análise dos perfis verticais de temperatura da água, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e pH realizados na calha central e margens esquerda e direita do rio Madeira evidenciaram a ausência de variabilidade espacial bem definida, indicando uma homogeneidade na massa de água presente no rio ao longo das diferentes fases do ciclo hidrológico. Ou seja, os perfis verticais não indicaram a presença de ambientes quimicamente diferenciados nas margens do rio devido à influência dos afluentes nas condições hídricas do Madeira.

Dessa forma, os resultados apresentados para o rio Madeira referem-se aqueles obtidos para a calha central, que podem ser considerados representativos do sistema como um todo.

a) Turbidez

A turbidez das águas do rio Madeira oscilou de 106 FTU (enchente) a 80 FTU (seca) e foi em média 89 ± 17 FTU, apresentando uma tendência decrescente ao longo do período de estudo.

A turbidez apresentou valor médio de 17 ± 15 FTU e amplitude de variação de 7 FTU a 14 FTU na maioria dos tributários, a exceção dos rios Jaciparaná e Abunã, que apresentaram valores de 25 FTU e 35 FTU, respectivamente.

b) Temperatura

A análise dos dados de temperatura revelou considerável uniformidade térmica em toda a coluna de água do rio Madeira ao longo do período de estudo (média global de 27,4 \pm 1,6 °C). As temperaturas superficiais e do fundo mostraram amplitude de variação similar (24,4°C a 29,6°C) e valor médio de 27,4 \pm 0,2 °C.

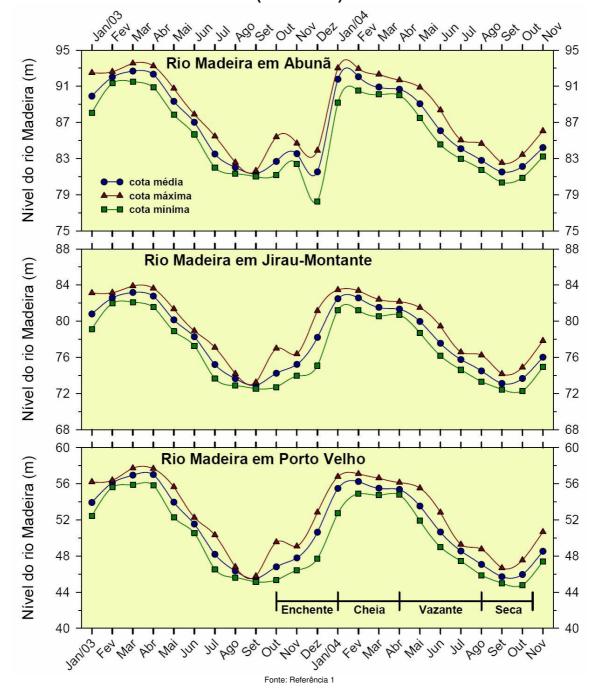


95 Rio Madeira em Abunã Nível do rio Madeira (m) 91 91 variação de nível variação de nível máximo de máximo de 15,28m 12,65m 87 93,54m em 87 93,01m em 23/03/03 24/01/04 83 83 79 79 mínimo de mínimo de 80,36m em 78,26m em 30/09/04 01/12/03 75 75 88 88 Nível do rio Madeira (m) Rio Madeira em Jirau-Montante 84 84 variação de nível variação de nível 11,38m 11,17m 80 80 máximo de máximo de 83,90m em 83,46m em 24/03/03 24/01/04 76 76 72 72 mínimo de mínimo de 72,52m em 72,29m em 15/09/03 04/10/04 68 68 60 60 Nível do rio Madeira (m) Rio Madeira em Porto Velho 56 56 variação de nível variação de nível máximo de 12,61m máximo de 12,32m 52 52 57,73m em 57,10m em 26/03/03 27/02/04 48 48 44 mínimo de 44 mínimo de 45,12m em 44,78m em 16/09/03 05/10/04 40 60, 40, 40, 40, 11, 11, 40, 26, 01; Fonte: Referência 1

Figura 2.5 Variação Diária do Nível d'Água no Rio Madeira (2003-2004)



Figura 2.6 Variação Média do Nível d'Água no Rio Madeira, em Abunã, Jirau e Porto Velho (2003-2004)

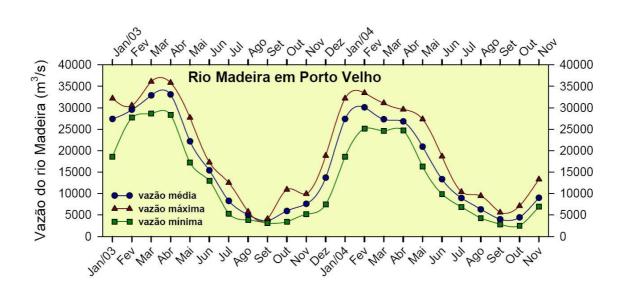


2.11



Der Janios Mai 40000 40000 Vazão do rio Madeira (m³/s) Rio Madeira em Porto Velho 35000 35000 30000 30000 variação de vazão variação de vazão 30.908 m3/s 25000 33.021 m³/s 25000 máximo de 36.096 m³/s máximo de 20000 20000 em 26/03/03 33.441 m3/s 15000 em 27/02/04 15000 10000 10000 mínimo de mínimo de 3.075 m³/s 2.533 m³/s 5000 5000 em 16/09/03 em 05/10/04 0

Figura 2.7
Variações Diária e Média da Vazão do Rio Madeira, em Porto Velho (2003-2004)



Fonte: Referência 1

A dinâmica espacial da temperatura evidencia nítida tendência crescente ao longo dos pontos de coleta, enquanto sua dinâmica sazonal evidencia padrão decrescente, com valores mais altos na enchente e mais baixos nas fases de vazante e seca (maio a julho de 2004), que reflete o inverno na região, bem como a ocorrência do fenômeno da "friagem" e o conseqüente resfriamento da coluna de água nesta época do ano.

Nos tributários, a temperatura apresentou valores mínimos e máximos entre $23,6^{\circ}C$ (rio Abunã) e $30,9^{\circ}C$ (rios Abunã e Jaciparaná), mostrando uma amplitude máxima de $7,3^{\circ}C$ e valor médio de $25,8 \pm 1,7^{\circ}C$. A dinâmica espacial da temperatura evidencia considerável uniformidade térmica em toda a coluna de água, enquanto sua dinâmica sazonal mostra padrão similar àquele do rio



Madeira, com valores mais altos na enchente e mais baixos nas fases de vazante e seca.

c) Oxigênio Dissolvido

O rio Madeira apresentou um alto grau de oxigenação e considerável uniformidade na coluna de água, com média global de $6,15\pm1,23$ mg/L ($78,3\pm15,4$ % saturação). Os teores de oxigênio dissolvido detectados nas camadas superficiais e profundas do Madeira foram bastante similares, variando de um mínimo de 4,1 mg/L (52-53%) a um máximo de 8,7 mg/L (114,0%), com valor médio de $6,32\pm1,19$ mg/L ($80,6\pm15,3\%$) e $6,32\pm1,24$ mg/L ($80,5\pm15,8\%$), respectivamente. A dinâmica espacial do oxigênio evidencia nítida tendência crescente ao longo dos pontos de coleta, notadamente à jusante das cachoeiras de Teotônio e Santo Antônio, com valores acima de 100% de saturação. Por outro lado, sua dinâmica sazonal evidencia um padrão de distribuição bem definido, com a ocorrência de teores relativamente altos nos períodos correspondente às fases de enchente e seca, com concentrações próximas de 100% de saturação, e valores mais baixos ao longo da fase de cheia, quando seus teores variaram entre 44% e 95% de saturação.

Nos tributários, os teores de oxigênio dissolvido foram menores, com valor médio global de $5,40\pm0,96$ mg/L $(67,1\pm12,6$ % saturação) e amplitude de variação de 3,63 mg/L (44,9%) a 7,29 mg/L (99,1%), ambos detectados no rio Jaciparaná. Dentre os ambientes amostrados, o rio Jaciparaná foi o que apresentou os menores teores $(4,96\pm1,18$ mg/L ou $62,4\pm16,2$ % saturação), enquanto o rio Mutumparaná as melhores condições de oxigenação da massa de áqua $(6,09\pm0,33$ mg/L ou $75,8\pm6,2$ % saturação).

A dinâmica espacial do oxigênio nos tributários evidencia considerável uniformidade na distribuição do oxigênio dissolvido com a profundidade, enquanto sua dinâmica sazonal mostra padrão similar àquele do rio Madeira, com a ocorrência de teores relativamente altos no período correspondente à fase de enchente, com concentrações próximas de 100% de saturação (80,4-99,1%), e valores mais baixos na cheia, quando seus teores variaram entre 50% e 70% de saturação.

d) Demanda de Oxigênio

A concentração de oxigênio no meio aquático é o reflexo das interações entre os processos que consomem e que produzem oxigênio naquele ambiente. Além da respiração, processos abióticos estão relacionados com a disponibilidade e com a demanda de oxigênio no meio hídrico.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no rio Madeira foi, em média, ligeiramente inferior àquela observada nos tributários. No Madeira, a DBO oscilou de 0,11 mg/L a 2,40 mg/L, com valor médio de $1,12 \pm 0,60$ mg/L. Nos



tributários a amplitude de variação da DBO foi de 0,30 mg/L a 2,70 mg/L, com valor médio de 1,31 \pm 0,49 mg/L.

No Madeira, as maiores DBO foram observadas na estação MAD60 (1,36 \pm 0,39 mg/L) e as menores na estação MAD10 (0,77 \pm 0,38 mg/L). Nos tributários, os maiores índices da DBO foram detectados no rio Mutumparaná-MTM10 (1,52 \pm 0,86 mg/L) e os menores no rio Abunã (1,17 \pm 0,42 mg/L).

A DBO apresentou um padrão de distribuição sazonal no rio Madeira caracterizado pela ocorrência de valores máximos associados às fases de cheia e vazante. Nos tributários, a dinâmica sazonal da DBO evidenciou uma tendência a valores crescentes ao longo do período de estudo, atingindo seu máximo na vazante/04.

A demanda química do oxigênio (DQO) no rio Madeira foi em média 40.0 ± 15.6 mg/L, com seus valores oscilando entre o mínimo de 14.3 mg/L e o máximo de 75.1 mg/L, sendo observada pequena diferença entre as amostras superficiais (37.8 ± 13.3 mg/L) e do fundo (42.2 ± 17.5 mg/L). Nos tributários, os valores de DQO foram ligeiramente inferiores, variando de 9.1 mg/L (JAC10) a 44.3 mg/L (JAC10), com média de 22.6 ± 10.3 mg/L.

No rio Madeira, a DQO apresentou distribuição relativamente homogênea entre as estações de coleta, tanto para as amostras superficiais como do fundo. Nos tributários, o rio Abunã apresentou a maior DQO (30,9 mg/L), variando entre 18-23 mg/L nos outros pontos de amostragem.

Durante o ciclo hidrológico verifica-se que, em média, a demanda química de oxigênio no rio Madeira e tributários diminuiu da cheia para a seca elevando-se em seguida na enchente.

De modo geral, a demanda bioquímica utilizou 18% (rio Madeira) a 25% (tributários) do oxigênio disponível, enquanto que o oxigênio presente nos rios representou apenas de 16% (rio Madeira) a 23% (tributários) da demanda química necessária de suas águas. Isso demonstra que o consumo bioquímico de oxigênio foi muito pequeno em relação àquele utilizado pela DQO. Como estes consumos acontecem no mesmo ambiente, todo o oxigênio presente representou pequena parcela (13% a 18%) das demandas bioquímica e química de suas águas, implicando, portanto, em considerável déficit potencial de oxigênio nesses ambientes. Vale ressaltar que esta é uma análise linear, com dados médios e que as demandas foram maiores ou menores de acordo com a época do ciclo hidrológico e com o rio relacionado.

A avaliação do déficit é estática, mas evidencia a importância dos processos que estão naturalmente ocorrendo no meio hídrico. Sob este aspecto, a situação química dos ambientes parece ser crítica; no entanto, estes valores são biologicamente similares aos encontrados nas águas amazônicas, nas quais o déficit de oxigênio parece ser uma característica intrínseca (e.g., Darwich, 1995;



Kern et al., 1996; Melack & Fisher, 1983). Esse déficit de oxigênio no meio pode ser maior ou menor se ocorrerem fatores externos ao ambiente provocando, por exemplo, a redução da velocidade da corrente ou o aumento do material em suspensão nas águas.

Apesar do grande consumo de oxigênio, foram sempre registradas elevadas concentrações desse gás no ambiente, provavelmente em decorrência da turbulência e difusão nos rios, com a concentração de oxigênio dissolvido oscilando entre 50-80% (cheia e vazante) e 80-100% (seca e enchente) de saturação.

e) Fósforo

A análise das frações inorgânica (ortofosfato), dissolvida (PTD) e total (PT) do fósforo mostra que suas concentrações foram maiores no rio Madeira em comparação com as registradas nos tributários. O teor de ortofosfato na água do rio Madeira variou de valores abaixo do limite de quantificação (ou 0,000 mg/L) a 0,016 mg/L, observando-se um valor médio de 0,005 \pm 0,004 mg/L. As concentrações superficiais do ortofosfato situaram-se abaixo daquelas detectadas nas amostras da água do fundo, como atestam os respectivos valores médios de 0,003 \pm 0,003 mg/L e 0,007 \pm 0,005 mg/L. Nos tributários, o ortofosfato apresentou uma amplitude de variação de 0,000 mg/L a 0,008 mg/L, com valor médio de 0,002 \pm 0,003 mg/L.

O teor de fósforo total dissolvido (PTD) no rio Madeira apresentou a mesma tendência de maiores valores na água do fundo $(0.014 \pm 0.009 \text{ mg/L})$ em comparação com as amostras superficiais $(0.008 \pm 0.008 \text{ mg/L})$. Em contrapartida, o teor de fósforo total (PT) apresentou, em geral, pouca variação entre as amostras superficiais e do fundo, com amplitude de variação ao redor de 0.020 mg/L e 0.100 mg/L. A média global para as frações total e dissolvida no rio Madeira foi de $0.059 \pm 0.023 \text{ mg/L}$ e $0.014 \pm 0.012 \text{ mg/L}$, respectivamente. Nos tributários, a média global para as frações total e dissolvida foi de $0.026 \pm 0.018 \text{ mg/L}$ (0.00 mg/L a 0.022 mg/L) e $0.007 \pm 0.009 \text{ mg/L}$ (0.00 mg/L a 0.057 mg/L), respectivamente.

A dinâmica espacial das frações de fósforo no rio Madeira se caracterizou por apresentar padrão irregular, registrando-se a ocorrência de maiores teores na estação MAD60, particularmente quanto às frações inorgânica e dissolvida. A fração total apresentou os maiores índices na estação MAD20 e tendência decrescente nas amostras superficiais. A análise do conteúdo de fósforo nos tributários mostrou que também não há um padrão definido de distribuição espacial.

A dinâmica sazonal do fósforo no rio Madeira evidencia uma tendência decrescente nos valores das amostras do fundo ao longo do período de estudo, para as frações inorgânica e dissolvida; as amostras superficiais, por sua vez,



mostram tendência inversa, isto é, crescente. Já a fração total apresentou, em geral, valores com muito pouca variação em todas as fases do ciclo hidrológico, embora evidenciando leve tendência decrescente. Nos tributários, o padrão de distribuição sazonal do conteúdo de fósforo se apresentou de forma bastante irregular.

f) Nitrogênio

Com relação às duas formas de nitrogênio inorgânico investigadas, os valores do nitrato foram, em média, mais que o dobro daqueles detectados para a amônia. No rio Madeira, a água do fundo apresentou teores de amônia e nitrato similares aos da superfície, sendo que a amônia variou de 0,04 mg/L a 0,27 mg/L $(0,11\pm0,04$ mg/L), enquanto que para o nitrato a amplitude de variação foi de 0,14 mg/L a 0,96 mg/L $(0,47\pm0,21$ mg/L) . Nos tributários os teores de amônia variaram de 0,00 mg/L a 0,25 mg/L, evidenciando um valor médio de 0,09 \pm 0,07 mg/L. Os teores de nitrato, por sua vez, oscilaram entre 0,01 mg/L e 0,74 mg/L (MTM30), com valor médio de 0,26 \pm 0,15 mg/L.

No rio Madeira e tributários, as duas formas de nitrogênio apresentaram distribuição relativamente homogênea entre as estações de coleta, a exceção do pico de concentração do nitrato (0,39 mg/L) detectado no rio Abunã. A dinâmica espacial do nitrato no rio Madeira se caracterizou por apresentar tendência decrescente ao longo do período de estudo, tanto para as amostras superficiais como do fundo, mais evidente no rio Madeira. Quanto à amônia, seus teores apresentaram uma distribuição sazonal relativamente homogênea.

g) Nitrogênio Orgânico Total

O teor de nitrogênio orgânico total (NOT) no rio Madeira apresentou variação significativa entre a superfície e o fundo. As concentrações superficiais oscilaram entre 0,9 mg/L e 14,2 mg/L, com média de 4,6 \pm 3,6 mg/L. Para as amostras da água do fundo seus teores variaram de 3,9 mg/L a 48,3 mg/L, com um valor médio de 16,7 \pm 8,8 mg/L. A média global para o período de estudo foi de 10,7 \pm 9,0 mg/L. A análise do conteúdo de NOT nos tributários mostra que as concentrações foram, em geral, bem menores que aquelas detectadas no rio Madeira, oscilando entre 0,7 mg/L e 5,9 mg/L, com média global de 2,3 \pm 1,4 mg/L.

A dinâmica espacial do nitrogênio orgânico no rio Madeira evidencia uma tendência crescente nos teores das amostras do fundo ao longo do período de estudo. As amostras superficiais, por sua vez, mostram tendência a uma distribuição homogênea, o mesmo sendo observado com relação aos tributários. Sua dinâmica sazonal se caracterizou por apresentar padrão relativamente homogêneo nos tributários e no Madeira, sendo que neste último deve-se registrar a ocorrência de maiores teores na vazante, particularmente quanto às amostras do fundo.



h) Carbono Orgânico Dissolvido

A concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) no rio Madeira apresentou valores oscilando entre 5,4 mg/L e 28,2 mg/L, mostrando grande similaridade entre a superfície (14,2 \pm 5,0 mg/L) e fundo (15,9 \pm 6,6 mg/L), evidenciando uma média global de 15,0 \pm 5,9 mg/L. Nos tributários, o teor de COD variou de 3,4 mg/L a 16,6 mg/L, com valor médio de 8,5 \pm 3,8 mg/L.

A dinâmica espacial do carbono orgânico no rio Madeira não mostra diferenças marcantes entre os valores detectados ao longo das estações de coleta, o mesmo sendo observado com relação aos tributários, a exceção do rio Abunã. Sua dinâmica sazonal, contudo, evidencia padrão bem definido, com tendência decrescente nos teores da cheia (pico máximo) para a seca (pico mínimo). Nos tributários observa-se tendência crescente nos valores da enchente para a cheia, decrescendo ao longo da vazante e seca.

O COD origina-se, principalmente, da decomposição de plantas e animais e a partir de produtos da excreção destes organismos. Sua concentração está diretamente relacionada com os estado trófico do corpo d'água e com o tipo de influência à qual o mesmo está submetido.

Alguns estudos (Referências 6 e 7) mostram que o fato de haver pouca variação vertical de COD, como verificado no rio Madeira, sugere que o COD seja composto principalmente por material de difícil decomposição.

2.2.3. Análise Bacteriológica

Tomando-se por base os critérios de classificação das águas continentais apresentados na Resolução Nº 20 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (Brasil, 1986), os resultados obtidos nas análises bacteriológicas mostraram o não comprometimento da qualidade da água do rio Madeira, no que tange a presença de coliformes fecais, pois os valores só excederam o padrão estabelecido para rios Classe I uma única vez (700 NMP/100mg), na fase de vazante.

Quanto aos coliformes totais, os resultados revelaram valores acima do tolerável para Rios Classe I, mas abaixo do padrão estabelecido para Rios Classe II (1.100 NMP/100mg a 1.700 NMP/100mg), em quatro ocasiões, entre as fases de cheja e vazante.

Nos tributários as análises mostraram um maior comprometimento da qualidade da água, principalmente com relação à presença de coliformes totais. Os níveis de coliformes fecais excederam o padrão estabelecido para rios Classe I, em cinco ocasiões (600-800 NMP/100mg) entre as fases de cheia e vazante, particularmente no igarapé São Simão e no rio Cotia. Por sua vez, as análises revelaram valores de coliformes totais acima do tolerável para Rios Classe I,



mas abaixo do padrão estabelecido para Rios Classe II (1.100-3.000 NMP/100mL) na maioria dos ambientes amostrados em 14 ocasiões, abrangendo todas as fases do ciclo hidrológico.

2.3. CONCENTRAÇÕES MEDIDAS AO LONGO DO RIO MADEIRA E TRIBUTÁRIOS

As Tabelas 2.8 e 2.9, a seguir, apresentam as concentrações dos diversos constituintes ao longo do rio Madeira e seus tributários, para cada Cenário.

Tabela 2.8 Concentrações Observadas ao Longo do Rio Madeira

LOCAL	MÊS	CENÁRIO	Temperat	OD	DBO	Norg	Amônia	Nitrato	Ortofosfato	Fósforo Orgânico	Carbono Orgânico
			°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	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
MAD- 30	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
	NOV	Enchente	29,6	6,76	0,25	11,3	0,07	0,81	0,006	0,014	10,7
MAD	JAN	Cheia	28,1	4,12	0,28	11,5	0,23	0,62	0,002	0,005	24,4
MAD- 40	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
	NOV	Enchente	29,5	7,70		13,5	0,11	0,83	0,009	0,027	11,0
MAD	JAN	Cheia	28,3	5,09		13,5	0,17	0,59	0,006	0,013	23,2
MAD- 50	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
	NOV	Enchente	29,2	7,22	1,48	8,9	0,08	0,78	0,010	0,036	10,0
MAD	JAN	Cheia	27,6	4,90	1,82	9,0	0,09	0,49	0,011	0,020	23,3
MAD- 60	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
	NOV	Enchente	29,3	8,56	1,15	7,4	0,09	0,78	0,008	0,012	11,9
MAD	JAN	Cheia	27,7	6,08	1,96	7,5	0,15	0,44	0,004	0,007	21,6
MAD- 90	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



Tabela 2.9 Concentrações Observadas ao Longo dos Tributários do Rio Madeira

LOCAL	MÊS	CENÁRIO	Temperat	OD	DBO	Norg	Amônia	Nitrato	Ortofosfato	Fósforo Orgânico	Carbono Orgânico
			°C	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
	NOV	Enchente	30,4	6,92	0,68	2,9	0,01	0,74	0,002	0,009	12,3
ADLI	JAN	Cheia	27,3	4,93	0,84	3,6	0,25	0,45	0,002	0,010	16,0
ABU- 10	MAR	Cheia	26,3	4,18	1,75	4,4	0,18	0,28	0,001	0,006	13,2
	MAI	Vazante	23,6	5,99	1,26	1,6	0,15	0,34	0,001	0,005	9,4
	JUL	Estiagem	25,6	6,71	1,32	2,2	0,02	0,13	0,001	0,004	7,1
	NOV	Enchente	26,7	6,42	1,01	1,9	0,02	0,47	0,000	0,000	8,8
0014	JAN	Cheia	24,9	4,31	1,77	2,5	0,12	0,33	0,004	0,018	10,3
SSM- 10	MAR	Cheia	25,0	5,25	1,51	3,3	0,08	0,30	0,002	0,013	8,8
	MAI	Vazante	23,9	6,14	2,25	0,9	0,01	0,25	0,002	0,005	3,6
	JUL	Estiagem	23,9	6,35	0,67	2,2	0,03	0,07	0,000	0,005	3,7
	NOV	Enchente	29,9	6,90	0,89	4,6	0,05	0,21	0,000	0,000	7,6
N4TN4	JAN	Cheia	25,5	5,75	1,69	5,1	0,15	0,22	0,001	0,000	8,8
MTM- 30	MAR	Cheia	26,4	6,04	1,15	5,9	0,18	0,24	0,001	0,000	16,1
	MAI	Vazante	23,9	6,00	1,15	3,3	0,02	0,25	0,000	0,000	5,8
	JUL	Estiagem	24,8	6,40	1,24	3,4	0,06	0,07	0,000	0,002	4,2
	NOV	Enchente	28,5	6,69	1,15	1,0	0,13	0,27	0,000	0,000	7,0
ООТ	JAN	Cheia	25,8	5,05	1,40	1,7	0,11	0,20	0,001	0,000	9,1
COT- 10	MAR	Cheia	25,9	4,24	1,46	0,7	0,05	0,21	0,000	0,000	7,8
	MAI	Vazante	24,2	5,65	1,68	1,0	0,00	0,16	0,000	0,005	5,6
	JUL	Estiagem	24,3	6,09	0,84	0,7	0,08	0,05	0,000	0,003	5,4
	NOV	Enchente	30,8	7,20	1,76	1,6	0,16	0,41	0,004	0,009	8,3
	JAN	Cheia	26,6	4,46	1,09	2,2	0,08	0,33	0,001	0,000	9,1
JAC-10	MAR	Cheia	25,8	3,65	0,80	3,0	0,19	0,34	0,002	0,000	16,6
	MAI	Vazante	25,6	5,54	1,27	2,0	0,00	0,32	0,000	0,000	5,8
	JUL	Estiagem	26,3	6,37	1,15	2,0	0,11	0,01	0,001	0,003	3,4



3. CARACTERIZAÇÃO DOS FUTUROS RESERVATÓRIOS



Os reservatórios formados pela implantação dos aproveitamentos de Jirau e Santo Antônio possuem características peculiares, cujo conhecimento foi fundamental para a definição da metodologia empregada na modelagem de qualidade da água desenvolvida e na compreensão de alguns resultados obtidos nas simulações. Este item é dedicado a apresentar e analisar as principais propriedades dos dois reservatórios.

3.1. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DOS RESERVATÓRIOS

3.1.1. Reservatório do AHE Jirau

O AHE Jirau será implantado no denominado "trecho das corredeiras" do rio Madeira, formando um reservatório com área de 258 km², em seu nível d'água máximo normal, e volume total de 2.015 hm³. A Tabela 3.1 apresenta a curva cota-área-volume do reservatório de Jirau.

Tabela 3.1

Tabela Cota x Área, e Cota x Volume do Reservatório de Jirau

Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)	Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)
65,00	0,00	0,00	80,00	79,88	585,31
66,00	5,31	2,66	81,00	86,31	668,40
67,00	10,61	10,61	82,00	93,01	758,07
68,00	15,66	23,75	83,00	100,85	855,00
69,00	20,62	41,89	84,00	111,96	961,40
70,00	25,86	65,13	85,00	128,23	1.081,50
71,00	31,10	93,61	86,00	147,65	1.219,44
72,00	36,07	127,19	87,00	171,30	1.378,91
73,00	41,39	165,92	88,00	197,23	1.563,18
74,00	46,48	209,85	89,00	224,47	1.774,02
75,00	51,77	258,98	90,00	258,00	2.015,26
76,00	56,91	313,31	91,00	305,44	2.296,98
77,00	62,18	372,85	92,00	375,60	2.637,50
78,00	67,86	437,87	93,00	433,55	3.042,07
79,00	73,56	508,58	94,00	492,68	3.505,19

O aproveitamento será operado com NA normal de operação variável ao longo do ano, como recurso para que o remanso provocado pelo reservatório não altere os níveis d'água atuais do rio Madeira a montante de Abunã, para a vazão média mensal de cada mês. Em razão dessa regra operativa, as características do reservatório se modificam mês a mês, conforme pode ser visto na Tabela 3.2.

Nesta Tabela são apresentados: a área do reservatório, a área do estirão fluvial em condições naturais, o volume do reservatório, seu comprimento, o tempo de residência



médio mensal, estimado pelo quociente entre o volume do reservatório e a vazão média mensal, a profundidade média, estimada pelo quociente entre o volume e a área do reservatório, e o acréscimo de área inundada obtido pela diferença entre a área inundada com reservatório e em condições naturais.

A área do reservatório, o volume, e a profundidade média aumentam no período de cheias diminuindo no período de estiagem. Por outro lado, o comprimento do reservatório tem um comportamento diferente, diminuindo no período de cheias e aumentando no período de estiagem.

- O tempo de residência, em geral muito pequeno, varia de um mínimo de cerca de 18 horas em março a um máximo de 40 horas em setembro;
- O acréscimo de área inundada é também muito pequeno variando entre 108 e 31 km², respectivamente em janeiro e setembro.

Considerando o reservatório em sua cota máxima operativa (cota 90,00m) podem ser ainda definidas as seguintes características morfométricas:

Largura média	2,39 km
Diâmetro equivalente	18,12 km
Perímetro	664 km
Índice de desenvolvimento de margens - IDM	11,56
IDM do retângulo de área equivalente	3,85

O índice de desenvolvimento de margens é elevado, situando-se entre os maiores dentre os reservatórios brasileiros. Este valor certamente está afetado pela influência dos afluentes remansados (maior devido à pequena área inundada) e pela própria forma alongada do reservatório (ver IDM do retângulo equivalente). De qualquer forma, reflete a existência das inúmeras reentrâncias que ocorrem, particularmente na margem direita, que é mais acidentada. Este índice sugere a existência de bolsões com qualidade da água inferior à do corpo do reservatório.

O mais importante desses bolsões corresponde à área inundada junto à foz do rio Mutumparaná, que deverá constituir um ambiente destacado em relação ao corpo principal do reservatório.



Tabela 3.2 Características Morfométricas do Reservatório do AHE Jirau

				Resei	vatório			Área do	. ,
Mês	Vazão Média Mensal	NA operativo	Área	Extensão	Volume	Tempo de Residência	Profundidade Média	Estirão Fluvial em Condições Naturais	Acréscimo de Área
	m³/s	m	km²	Km	hm³	h	m	km²	km²
Janeiro	23.900	90,0	244,03	108,650	2015,26	23	8,26	136,45	107,58
Fevereiro	29.100	90,0	220,03	88,300	2015,26	19	9,16	133,74	86,29
Março	33.600	90,0	200,22	70,418	2015,26	17	10,07	132,46	67,76
Abril	30.200	90,0	220,02	84,825	2015,26	19	9,16	133,89	86,13
Maio	22.700	89,5	225,51	108,000	1894,64	23	8,40	137,42	88,09
Junho	15.900	87,0	168,63	113,288	1378,91	24	8,18	121,10	47,53
Julho	10.600	85,0	155,27	128,302	1081,50	28	6,97	124,02	31,25
Agosto	6.800	83,0	138,38	128,302	855,00	35	6,18	115,54	22,84
Setembro	5.600	82,5	136,87	128,302	806,54	40	5,89	109,94	26,93
Outubro	6.800	83,0	138,38	128,302	855,00	35	6,18	115,54	22,84
Novembro	10.400	85,0	155,27	128,302	1081,50	29	6,97	124,02	31,25
Dezembro	16.600	87,5	171,72	115,927	1471,05	25	8,57	120,74	50,98
Mínimo	5.600	82,5	136,87	70,42	806,54	17	5,9	109,94	22,84
Médio	17.683	86,9	181,19	110,91	1457,10	26	7,8	125,41	55,79
Máximo	33.600	90,0	244,03	128,30	2015,26	40	10,1	137,42	107,58



3.1.2. Reservatório do AHE Santo Antônio

O AHE Santo Antônio será implantado na parte final do "trecho das corredeiras" do rio Madeira, formando um reservatório com área de 271 km², em seu nível d'água máximo normal, e volume total de 2.075 hm³. A Tabela 3.3 apresenta a curva cota-área-volume do reservatório de Santo Antônio.

Tabela 3.3

Tabela Cota x Área, e Cota x Volume do Reservatório de Santo Antônio

Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)	Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)
40,00	4,58	24,15	58,00	40,04	274,64
41,00	5,05	28,97	59,00	47,43	318,38
42,00	5,64	34,31	60,00	58,31	371,24
43,00	6,22	40,24	61,00	79,51	440,15
44,00	6,75	46,73	62,00	102,28	531,05
45,00	7,10	53,65	63,00	133,32	648,84
46,00	7,45	60,92	64,00	159,08	795,04
47,00	8,14	68,72	65,00	180,30	964,73
48,00	8,91	77,24	66,00	197,41	1153,58
49,00	9,80	86,60	67,00	214,18	1359,38
50,00	10,49	96,74	68,00	226,80	1579,87
51,00	11,53	107,75	69,00	246,23	1816,38
52,00	13,76	120,39	70,00	271,26	2075,13
53,00	16,30	135,42	71,00	306,54	2364,03
54,00	20,75	153,94	72,00	344,95	2689,78
55,00	25,12	176,88	73,00	395,27	3059,88
56,00	30,00	204,44	74,00	438,52	3476,78
57,00	35,18	237,03	75,00	480,40	3936,24

Considerando o reservatório em sua cota máxima operativa (cota 70,00m), podem ser ainda calculados os seguintes índices morfométricos:

Profundidade média Comprimento 7,70 km 125 km



Largura média	2,17 km
Diâmetro equivalente	18,58 km
Perímetro	806 km
Índice de desenvolvimento de margens - IDM	13,71
IDM do retângulo de área equivalente	3.76

O índice de desenvolvimento de margens, da mesma forma que em Jirau, é elevado e reflete, igualmente, a influência dos afluentes remansados, além da própria forma alongada do reservatório (ver IDM do retângulo equivalente). No caso de Santo Antônio, entretanto, em vez de grandes bolsões laterais ao corpo principal, o que se nota é um grande conjunto de pequenos afluentes, cada um recebendo grande influência do remanso do reservatório.

Destaca-se no reservatório de Santo Antônio sua reduzida profundidade média, inferior a 10 m. Como o barramento é construído a montante de uma queda natural, a cachoeira de Santo Antônio, e provoca o afogamento outra queda natural pouco a montante, a cachoeira Teotônio, a profundidade do trecho restante, que corresponde à maior porção do comprimento do reservatório, é baixa.

3.2. Análise das Condições de Estratificação e Eutrofização

3.2.1. Estratificação

Com a formação dos reservatórios, as condições de qualidade da água se alteram, devendo essas mudanças ser estudadas para prognóstico da condição ambiental futura e dos impactos que podem surgir. Alguns aspectos, no que tange à qualidade da água, devem ser avaliados, como níveis de concentração de DBO, oxigênio dissolvido, nutrientes, propriedades físicas, como temperatura e turbidez e condições de eutrofização.

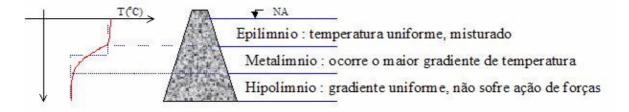
A temperatura da água, mais especificamente, o perfil vertical de temperatura, é o mais importante parâmetro para a modelagem da água de lagos e reservatórios. A razão dessa importância é o seu papel na determinação da estabilidade térmica, que regula não somente as trocas verticais de energia, mas também as de nutrientes. Quanto maior for o gradiente vertical, maior a estabilidade, e mais restritas as trocas verticais.

Em lagos e reservatórios onde a profundidade é grande e a velocidade longitudinal é, em geral, pequena, as características do barramento podem produzir estratificação vertical de temperatura, massa específica e de parâmetros de qualidade da água. Embora este não seja o caso dos reservatórios de Jirau e Santo Antônio, é conveniente analisar a questão, pelo menos de forma preliminar, para melhor justificar a abordagem proposta no presente trabalho.

Quando a estratificação de temperatura ocorre, formam-se as camadas ditas epilímnio, metalímnio e hipolímnio (Figura 3.4).



Figura 3.4 Gradiente de Temperatura em Reservatórios



O epilímnio tende a ter temperatura uniforme e estar misturado devido às ações externas. No metalímnio ocorre o maior gradiente de temperatura denominado de termoclina. Nesta zona se equilibram as ações do vento, radiação solar e empuxo da massa d'água. No hipolímnio o gradiente é uniforme e a massa d'água não sofre a ação das forças externas.

Essas forças podem modificar a posição da termoclina por aprofundamento do epilímnio.

As condições externas que influenciam no processo de estratificação são:

- radiação solar;
- ação do vento;
- entrada e saída do fluxo e sua temperatura.

A ação do vento produz turbulência e mistura das diferentes camadas do reservatório, sendo um importante elemento de estabilização em reservatórios rasos. A radiação solar, com o aquecimento da camada superior produz sua expansão e redução de densidade. O fluxo de entrada e saída da água no reservatório também tem influência nesse processo, devido às suas características de volume, temperatura, densidade e concentração dos parâmetros associados às vazões afluentes e defluentes.

Para uma análise preliminar das condições de qualidade da água dos reservatórios criados pelas futuras barragem de Jirau e Santo Antônio, serão utilizados dois métodos já consagrados, que avaliam a possibilidade de estratificação considerando o tempo de residência (ou tempo de detenção) e o número de Froude Densimétrico, respectivamente. Estas avaliações preliminares são importantes para a definição da necessidade e tipo de modelo matemático a se utilizar para uma análise mais detalhada. Os critérios, a metodologia e os resultados encontrados são descritos a seguir.

Do ponto de vista geral, Water Resources Engineers Inc. (referência 8) classificou os reservatórios com base no tempo de detenção, que é a relação entre volume e a vazão média de entrada. A classificação é a seguinte:

 Pequena vazão/volume – Neste caso classificam-se grandes reservatórios com tempo de detenção maior do que um ano. Pequenas variações sazonais ocorrem no armazenamento e a vazão de saída é retirada da superfície.



- Vazão média/volume Também são classificados grandes reservatórios com tempo de detenção entre quatro meses e um ano. Estes reservatórios apresentam estratificação e grande variação do armazenamento.
- Grande vazão/volume Reservatórios nesta classe são geralmente do tipo escoamento de rio com tempo de detenção menor que 4 meses. A estratificação é difícil de se formar e a variação longitudinal da temperatura pode ocorrer.

Aplicando-se este critério aos reservatórioos de Jirau e Santo Antônio obtém-se os resultados apresentados na Tabela 3.5.

Tabela 3.5
Análise da Estratificação Pelo Critério do Tempo de residência

Reservatório	Jirau	Santo Antônio
Vazão Média (m³/s)	17.687	17.983
Vazão Mínima (m³/s)	3.591	3.651
Volume (hm³)	2.015	2.075
Tempo de Residência Médio	32 horas	32 horas
Tempo de Residência Máximo	6,5 dias	6,6 dias
Prognóstico	Não estratifica	Não estratifica

De acordo com a referência 8, estes resultados indicam que os dois reservatórios são do tipo "rio", não devendo apresentar estratificação.

O outro processo para avaliação preliminar da estratificação térmica do reservatório, considera a equação baseada no número de Froude Densimétrico. A equação é a seguinte:

$$Fd = \sqrt{\frac{1}{g * e}} \frac{L * Q}{Dm * V}$$

Onde:

Fd = número de Froude Densimétrico:

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.

As condições de estratificação a partir do Froude Densimétrico são as seguintes:

se Fd > 1 → sistema misturado:

se Fd < $1/\pi = 0.3183 \rightarrow$ sistema estratificado;

se 0,3183 < Fd < 1 → estratificação intermitente.



Esta equação se baseia na comparação entre a força de inércia do fluxo que atravessa o reservatório e a força gravitacional que tende a manter a estabilidade densimétrica. Transformando a equação acima para unidades convenientes e adotando para gradiente médio de massa específica o valor e = 0,9843E-06 (referência 9), resulta

$$Fd = 0.32 \frac{L * Q}{H * V}$$

Onde:

L – comprimento, em Km,

Q – vazão em trânsito, em m³/s,

H - profundidade média, em m e

V - volume, em 10^6 m³.

Aplicando-se este critério aos reservatórios de Jirau e Santo Antônio obtém-se os resultados apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6
Análise da Estratificação Pelo Critério do Número de Froude Densimétrico

Reservatório	Jirau	Santo Antônio
Volume (hm³)	2.015	2.075
Comprimento (km)	108	125
Profundidade Média (m)	10,1	7,6
Vazão Média (m³/s)	17.687	17.983
Froude Densimétrico	30	45,6
Prognóstico	Não estratifica	Não estratifica
Vazão Mínima (m³/s)	3.591	3.651
Profundidade Máxima (m)	30	30
Froude Densimétrico	2,05	2,35
Prognóstico	Não estratifica	Não estratifica

Foram realizados dois cálculos, o primeiro com vazões e profundidades médias e o segundo com vazões mínimas e profundidades máximas estimadas junto à barragem. Nos dois casos, o número de Froude Densimétrico ficou muito acima do limite considerado para estratificação.

3.2.2. Eutrofização

A eutrofização é o processo natural de enriquecimento das águas com os nutrientes necessários ao crescimento da vida vegetal aquática (Referência 9), manifestando-se por meio do aumento da produtividade biológica do lago ou reservatório.Pode-se classificar lagos e reservatórios de acordo com essa produtividade em oligotróficos, mesotróficos e eutróficos.



Um reservatório ou lago é eutrófico quando é rico em nutrientes, apresentando alta produtividade biológica, e oligotrófico em caso contrário. Os lagos mesotróficos, de produtividade média, representam um estado intermediário. Os nutrientes podem chegar ao reservatório através dos seguintes meios:

- Pelos rios afluentes que trazem cargas orgânicas domésticas, industriais, agrícolas e naturais;
- Carga orgânica decorrente da biomassa inundada;
- Demanda bentônica do fundo do lago que acumula as outras entradas por deposição de sedimentos.

Enquanto a eutrofização natural é um processo lento, a eutrofização associada à atividade humana, também chamada acelerada ou cultural, desequilibra o ambiente aquático podendo trazer a degradação das condições de qualidade da água, o crescimento de algas, e a formação de gases.

No meio aquático, as algas são os produtores primários. O crescimento das algas ocorre numa zona eufótica próxima à superfície, onde a intensidade da luz é apropriada para fotossíntese. A produtividade das algas é controlada principalmente pela intensidade da luz e pela presença de macro e micronutrientes.

O rio Madeira possui águas turvas, carregadas de matéria sólida em suspensão, apresentando transparência inferior a 20 cm em todos os ensaios realizados. Esta característica dificulta o crescimento das algas, fato que é refletido nos baixos teores de clorofila-a detectados (média de 2 ug/l). Essa condição pode ser ligeiramente alterada pela presença dos reservatórios, mas não se pode esperar grandes modificações porque as mudanças no escoamento serão pequenas, conforme demonstrado nos estudos sedimentológicos realizados (Referência 10).

Os afluentes do rio Madeira, por sua vez, possuem águas mais límpidas, com menores cargas de sedimento e maior transparência. Como os afluentes estão associados aos bolsões marginais dos reservatórios, o maior tempo de residência das águas nestes "apêndices", associado com a maior penetração de luz solar e com pequenas profundidades, pode criar condições para a ocorrência de braços eutrofizados.

3.3. SELEÇÃO DO MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA

As análises realizadas quanto à geometria dos dois reservatórios do rio Madeira e às suas características hidráulicas permitiram concluir que o prognóstico da qualidade da água dos futuros reservatórios e do rio Madeira a jusante pode ser desenvolvido com emprego de um modelo unidimensional de qualidade da água, de aplicação tipicamente fluvial.



Optou-se por empregar o modelo QUAL2E, por se tratar de um modelo versátil, de aplicação bastante difundida e de domínio público (Referências 11 e 12). Este modelo permite simular 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 é apresentada no item 5, identificando suas principais funcionalidades e o emprego dado ao mesmo no presente trabalho.

Não serão abordados neste trabalho os processos associados aos bolsões inindados lateralmente ao rio Madeira, para os quais recomenda-se a realização de estudos específicos de aprimoramento.



4. DETERMINAÇÃO DAS CARGAS DEVIDO AO AFOGAMENTO DA VEGETAÇÃO



4.1. METODOLOGIA

A estimativa da densidade de carbono biodegradável, expressa em kg/m², foi definida com base nas áreas ocupadas por cada espécie vegetal, agrupadas por tipologia.

A partir das áreas relativas a cada tipologia, foram definidas as densidades de carbono biodegradável presentes na área diretamente afetada pelo reservatório, respeitando-se a seguinte sistemática:

- Determinação do potencial de biomassa, expresso em toneladas por hectare, discretizada por tipologia vegetal e tipo de matéria orgânica, representados pelas seguintes parcelas: biomassa estocada (serrapilheira) e biomassa verde (biomassa viva acima do solo).
- A partir dos dados do potencial de biomassa, foi definida para cada tipologia, a quantidade de carbono presente, considerando uma taxa média de carbono sobre a biomassa potencial.
- A quantidade de carbono presente na biomassa verde foi discretizada, de modo a quantificar apenas o carbono presente na matéria orgânica de rápida decomposição (galho, folha e casca). Para esta discretização, foram empregados os resultados dos estudos realizados para o reservatório da UHE Samuel, no rio Jamari.
- Considerando-se a massa total de carbono presente em cada tipologia, foi estimada a quantidade de carbono biodegradável componente de cada tipo de matéria orgânica. Nesta sistemática consideraram-se os resultados dos ensaios de biodegradação realizados em laboratório, elaborados para o EIA/ RIMA da UHE Porto Primavera para a CESP (Consórcio Themag-Engea-Umah). Os ensaios revelaram a composição das seguintes taxas de carbono biodegradável: folhas= 0,20; galhos= 0,11; cascas= 0,082 e serrapilheira= 0,25.
- Considerando-se as parcelas dos estratos vegetais identificados na área diretamente afetada, definiu-se, pela média ponderada, a densidade média de carbono biodegradável presente em cada reservatório.

Nos cálculos, desconsiderou-se a matéria vegetal integrante do tronco (fuste) e dos galhos grossos, tendo em vista as baixas taxas de biodegradação normalmente verificadas nestes substratos.

4.2. CÁLCULO DA BIOMASSA NA ÁREA DOS RESERVATÓRIOS

A qualidade da água do rio madeira, após o estabelecimento dos reservatórios de Santo Antônio e Jirau, será alterada devido à modificação nas propriedades hidráulicas do trecho represado (menores velocidades, criação de bolsões sem circulação,



diminuição da reaeração devido à queda da turbulência, etc.) e também devido ao aumento na quantidade de nutrientes disponibilizados pela matéria orgânica presente na área inundada.

Esta matéria orgânica se apresenta de diferentes formas, cada uma delas possuindo características próprias. Para fins do presente trabalho, a matéria orgânica foi dividida em duas categorias: a biomassa estocada no piso da floresta na forma de serrapilheira e a biomassa aérea em pé.

A serrapilheira é o material recentemente depositado sobre o chão da floresta, constituído por folhas, ramos, flores, frutos e outras partes constituintes do corpo das plantas. Camadas de serrapilheira podem representar uma fonte de nutrientes que podem ser rapidamente decompostas facilitada pela sua estrutura composta por partículas pequenas.

As folhas concentram grande parte dos nutrientes de reciclagem periódica, sendo responsáveis pela maior fração de serrapilheira produzida pela floresta. Além do grande volume produzido, as folhas são de fácil e rápida decomposição, liberando assim grande quantidade de nutrientes no sistema e alterando a qualidade da água logo após o represamento.

A biomassa aérea em pé, ou biomassa verde, constitui-se da própria comunidade florestal da área atingida pelo represamento. Esta biomassa, principalmente as folhas, flores, frutos e ramos de pequeno calibre, poderá vir a somar-se à biomassa estocada, quando do represamento, pela morte repentina dos indivíduos. A qualidade da água poderá a vir a ser afetada pela decomposição maciça desta biomassa.

Durante a realização do diagnóstico do uso da terra e da cobertura vegetal das áreas de influência dos aproveitamentos hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio, foi elaborada uma estimativa da biomassa estocada e da biomassa verde para a área diretamente afetada – ADA.

A estimativa da biomassa estocada foi realizada com base em amostras de serrapilheira coletadas em 349 pontos amostrais distribuídos na área de influência dos dois aproveitamentos, contemplando quatro formações vegetacionais características: Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas, Floresta Ombrófila Aluvial, Campinarana Florestada e Campinarana Arborizada. A Tabela 4.1 a seguir mostra a distribuição dos pontos amostrais pelas diversas tiopologias de vegetação.



Tabela 4.1 Número de Pontos de Coleta de Serrapilheira por Formação Vegetacional, Nas Áreas dos Dois Aproveitamentos Hidrelétricos

	Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	Floresta Ombrófila Aluvial	Campinarana Florestada	Campinarana Arborizada
AHE Salto do Jirau	70	40	70	26
AHE Sto Antônio	51	92	-	-

Em cada ponto amostral foram coletadas quatro subamostras, marcadas a campo por um gabarito de madeira medindo 0,5 x 0,5 m de lado, perfazendo uma área de 0,25 m². Assim, cada amostra foi constituída de 1 m² de área. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas com o número do ponto de coleta. Em seguida, o material passou por uma pré-secagem em sacos de papel e em seguida encaminhadas para secagem em estufas a 60°C, até atingirem peso constante. Posteriormente foram pesadas para determinação do peso seco. Para diminuir erros procedentes de pesagem, para cada sub-amostra procedeu-se a duas aferições e tirou-se a média.

A Tabela 4.2 a seguir mostra os valores de biomassa estocada na serrapilheira para as quatro fisionomias vegetais estudadas, na área de influência dos dois aproveitamentos.

Tabela 4.2 Biomassa Estocada na Serrapilheira (ton/ha)

	Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	Floresta Ombrófila Aluvial	Campinarana Florestada	Campinarana Arborizada
AHE Salto do Jirau	8,10	10,14	9,72	11,37
AHE Sto Antônio	10,96	15,02		

Para a estimativa da biomassa aérea, o material básico de trabalho consistiu nas tabelas de saída do inventário florestal, relativo a todas as árvores com DAP > 10 cm, exceto para a campinarana arborizada com DAP > 5 cm. Os dados utilizados se referem a um total de cinco formações florestais: floresta ombrófila aberta de terras baixas, floresta ombrofial aluvial, transição de floresta ombrofila aberta de terras baixas e campinarana florestada, campinarana florestada e campinarana arborizada. A estimativa de biomassa aérea verde das formações florestais foram calculadas através da equação desenvolvida por Brown (Referência 13):

$$Y = 42,69 - 12,8(d) + 1,242(d^2)$$

sendo d = diâmetro centro de classe.



A Tabela 4.3 a seguir mostra os valores de biomassa verde estimados para as quatro fisionomias vegetais estudadas, na área de influência dos dois aproveitamentos.

Tabela 4.3
Biomassa Verde na Área dos Aproveitamentso de Jirau e Santo Antônio (ton/ha)

	Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	Floresta Ombrófila Aluvial	Campinarana Florestada	Campinarana Arborizada
AHE Salto do Jirau	311,13	308,15	209,56	60,58
AHE Sto Antônio	286,52	364,67		

Foi ainda determinada, para a transição entre Floresta Aberta e Campinarana Florestada a biomassa verde de 193,99 ton/ha.

4.3. DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE CARBONO PRESENTE NA BIOMASSA

Para determinação da quantidade de carbono presente na biomassa foi considerada uma taxa média de 50% sobre o peso seco.

Assim, para a biomassa estocada os valores apresentados no Quadro 4.2 foram simplesmente multiplicados por 0,50 para o cálculo da massa de carbono presente na Serrapilheira.

Da mesma forma, para a biomassa verde os valores apresentados no Quadro 4.3 foram simplesmente multiplicados por 0,50 para o cálculo da massa de carbono presente na biomassa acima do solo.

As Tabelas 4.4 e 4.5, a seguir, apresenta os resultados das estimativas de quantidade de carbono nas diferentes formações vegetais estudadas nas áreas dos dois aproveitamentos.

Tabela 4.4

Quantidade de Carbono Estocado na Serrapilheira (ton/ha)

	Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	Floresta Ombrófila Aluvial	Campinarana Florestada	Campinarana Arborizada
AHE Salto do Jirau	4,05	5,07	4,86	5,68
AHE Sto Antônio	5,48	7,51		



Tabela 4.5

Quantidade de Carbono Presente na Biomassa Verde, na Área dos
Aproveitamentos de Jirau e Santo Antônio (ton/ha)

	Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	Floresta Ombrófila Aluvial	Campinarana Florestada	Campinarana Arborizada
AHE Salto do Jirau	155,6	154,1	104,8	30,3
AHE Sto Antônio	143,3	182,3		

4.4. DISCRETIZAÇÃO DA BIOMASSA VIVA ACIMA DO SOLO

A biomassa viva acima do solo, ou biomassa verde, compreende os troncos (fuste), os galhos, galhos finos e folhas (folhas, flores e frutos). Para discretizar a biomassa calculada para cada uma das cinco formações vegetais estudadas na área de influência dos aproveitamentos de jirau e Santo Antônio tomou-se por base o resultado dos estudos realizados para o reservatório da UHE Samuel, no rio Jamarí, relatados por Cardenas (Referência 14).

Considerando os dados fornecidos de duas quadras do reservatório e apropriando apenas as parcelas correspondentes à biomassa verde determinada, foram obtidos os percentuais para cada parcela apresentados na Tabela 4.6, a seguir.

Tabela 4.6
Divisão da Biomassa Verde, Modificado de Cárdenas (op. Citado)

FRAÇÃO DA BIOMASSA VERDE	Participação no Total
Fuste (troncos)	50.00%
Galhos grossos e médios	17.40%
Galhos finos no dossel, no sub-bosque e cipós	16,60%
Folhas no dossel e no sub-bosque	7.60%
Cascas	8.40%

Com base nessa discretização, e considerando-se que a matéria vegetal integrante do tronco e dos galhos grossos apresenta baixas taxas de biodegradação, nota-se que apenas uma parcela de 33% da biomassa verde representa, ao ser afogada, um acréscimo significativo de demanda de oxigênio para o corpo d'água. A decomposição dos troncos e galhos se dá em períodos muito longos, introduzindo apenas uma pequena elevação da demanda basal de oxigênio.

As Tabela 4.7 e 4.8, a seguir, apresentam, respectivamente para os reservatórios de Jirau e Santo Antônio, a distribuição do estoque de carbono disponível na biomassa verde pelas parcelas rapidamente biodegradáveis, aplicando a distribuição levantada para o reservatório do AHE Samuel, apresentada na Tabela 4.6, aos totais



apresentados na Tabela 4.4. Apresentam também, ao final, o estoque de carbono na serrapilheira, que também é rapidamente biodegradável, obtido diretamente da Tabela 4.5.



Tabela 4.7
Distribuição do Carbono Total Presente na Biomassa Afogada Pelo Reservatório de Jirau (Por Formação Vegetal - Apenas nas Parcelas Rapidamente Biodegradáveis)

	Carbono Total	Carbono	na Parcela Rap	idamente Biode	gradável
	na Biomassa Verde (t/ha)	galhos	folhas	casca	serrapilheira
		16,6%	7,6%	8,4%	(inventário)
Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	155,6	25,83	11,83	13,07	4,05
Floresta Ombrófila Aluvial	154,1	25,58	11,71	12,94	5,07
Campinarana Florestada	104,8	17,40	7,96	8,80	4,86
Campinarana Arborizada	30,3	5,03	2,30	2,55	5,68
Transição entre Floresta Aberta e Campinarana Florestada	97,0	16,10	7,37	8,15	4,97

Tabela 4.8

Distribuição do Carbono Total Presente na Biomassa Afogada Pelo Reservatório de Santo Antônio (Por Formação Vegetal - Apenas nas Parcelas Rapidamente Biodegradáveis)

	Carbono Total	Carbono Total nas Parcelas Rapidamente Biodegradáveis					
	na Biomassa Verde	galhos	folhas	casca	serrapilheira		
	(t/ha)	16,6%	7,6%	8,4%	(inventário)		
Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	143,3	23,79	10,89	12,04	5,48		
Floresta Ombrófila Aluvial	182,3	30,26	13,85	15,31	7,51		



4.5. QUANTIFICAÇÃO DO CARBONO OXIDÁVEL NA PARCELA RAPIDAMENTE DEGRADÁVEL

Para determinação da quantidade de carbono oxidável presente em cada parcela vegetal, foram consideradas as taxas determinadas nos estudos de biodegradação realizados em laboratório para os EIA/RIMA da UHE Porto Primavera, que foram as seguintes:

Folhas → 20,0%
 Galhos → 11,0%
 Cascas → 8,2%
 Serrapilheira → 25%

Os cálculos foram efetuados a partir das Tabelas 4.7 e 4.8, já apresentados, nos quais se desconsiderou a matéria vegetal integrante do tronco e dos galhos grossos, tendo em vista as baixas taxas de biodegradação normalmente verificadas neste substrato.

As Tabelas 4.9 e 4.10, a seguir, resumem o conteúdo de carbono oxidável disponível nas parcelas rapidamente degradáveis em cada uma das formações vegetacionais estudadas para a área de influência dos aproveitamentos de Jirau e Santo Antônio.

A partir desses quadros, e considerando as áreas correspondentes a cada formação vegetacional, pode ser determinada a quantidade total de carbono oxidável afogado em cada reservatório, para estimação da carga de demanda bioquímica de oxigênio associada.



Tabela 4.9

Determinação do Carbono Oxidável Por Total no Reservatório de Jirau
(Por Formação Vegetal - Apenas nas Parcelas Rapidamente Biodegradáveis)

	Carbono Oxidá	ivel nas Parcelas	s Rapidamente I	Biodegradáveis	Carbono	
	galhos	folhas	casca	serrapilheira	Oxidável Total	
	11,0%	20,0%	8,2%	25%	(ton/ha)	
Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	2,84	2,37	1,07	1,01	7,29	
Floresta Ombrófila Aluvial	2,81	2,34	1,06	1,27	7,49	
Campinarana Florestada	1,91	1,59	0,72	1,22	5,44	
Campinarana Arborizada	0,55	0,46	0,21	1,42	2,64	
Transição entre Floresta Aberta e Campinarana Florestada	1,77	1,47	0,67	1,24	5,16	

Tabela 4.10

Determinação do Carbono Oxidável Total no Reservatório de Santo Antônio (Por Formação Vegetal - Apenas nas Parcelas Rapidamente Biodegradáveis)

	Carbono Oxi	Carbono Oxidável nas Parcelas Rapidamente Biodegradáveis				
	galhos	folhas	casca	serrapilheira	Oxidável Total	
	11,0%	20,0%	8,2%	25%	(ton/ha)	
Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas	2,62	2,18	0,99	1,37	7,15	
Floresta Ombrófila Aluvial	3,33	2,77	1,26	1,88	9,23	



4.6. CÁLCULO DA DENSIDADE MÉDIA DO CARBONO DEGRADÁVEL NOS RESERVATÓRIOS

As Tabelas 4.11 e 4.12, obtidos do diagnóstico do uso da terra e da cobertura vegetal das áreas de influência dos aproveitamentos hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio, apresentam as classes de uso e cobertura vegetal presentes nas áreas diretamente afetadas dos dois reservatórios.

As parcelas que contribuem com biomassa afogada encontram-se enfatizadas, nesses quadros.

Tabela 4.11 Classes de uso e cobertura vegetal presentes na AID, entorno e ADA do AHE Jirau

Classes / Código adotados no banco de dados georreferenciado	Área Inundada (ha)	%
Floresta ombrófila aberta submontana com palmeiras (Faps)	4,05	0,02
Associação de Floresta ombrófila aberta das terras baixas com palmeiras com floresta ombrófila aberta aluvial (Fap + Fal)	7.665,98	30,16
Transição de floresta ombrófila aberta das terras baixas e campinarana florestada (Fap + Cf)	2.387,39	9,39
Campinarana Florestada (Cf)	483,15	1,90
Associação de Campinarana Gramíneo-Lenhosa com Campinarana Arborizada (Cgl + Carb)	414,92	1,63
Formações pioneiras de várzea (Fpv)	432,65	1,70
Afloramentos rochosos (Ar)	218,64	0,86
Bancos de Areia (Ba)	334,08	1,31
Pastagem (P)	1.784,23	7.02
Desmatamento (D)	43,80	0,17
Ocupação ribeirinha (Or)	371,05	1,46
Área urbana (Au)	74,37	0,30
Corpo de Água (Ag)	11.202,63	44,08
TOTAL	25.416,96	100



Tabela 4.12 Classes de uso e cobertura vegetal presentes na AID, entorno e ADA do AHE Santo Antônio

Classes / Códigos adotados no banco de dados georreferenciado	Área Inundada (ha)	%
Associação de Floresta ombrófila aberta das terras baixas com palmeiras com floresta ombrófila aberta aluvial (Fap + Fal)	9.076,96	29,94
Formações pioneiras de várzea (Fpv)	1.371,70	4,52
Afloramentos rochosos (Ar)	354,89	1,17
Bancos de Areia (Ba)	1.473,38	4,86
Pastagem (P)	1.698,66	5,60
Desmatamento (D)	13,24	0,04
Ocupação ribeirinha (Or)	68,78	0,22
Área urbana (Au)	25,55	0,09
Mineração (M)	1,59	0,01
Psicultura (Ps)	15,15	0,05
Balneário (B)	3,15	0,02
Corpo de Água (Ag)	16.214,60	53,48
TOTAL	30.317,68	100

A massa total de carbono oxidável, expressa em toneladas, pode ser obtida com facilidade, apenas multiplicando-se a densidade de carbono oxidável de cada parcela, formação vegetal, expressa em ton/ha, pela área coberta pela formação. As Tabelas 4.13 e 4.14, a seguir, apresentam estes cálculos, respectivamente para o reservatório de Jirau e Santo Antônio.

Para as áreas de desmatamento, que logo apresentam características de formação de vegetação secundária, foi adotada a densidade de carbono oxidável correspondente a campinarana arborizada, ou seja, 2,05 ton/ha.

Para as áreas de Pastagem, não contempladas no diagnóstico, adotou-se uma densidade de 0,80 ton/ha, que corresponde ao valor obtido no inventário florestal realizado para os Estudos de Impacto Ambiental da UHE Serra do Facão.

obtendo-se a densidade média, ponderada pela porcentagem de participação de cada formação vegetal.



Tabela 4.13 Cálculo da Massa de Carbono Oxidável Afogada no Reservatório do AHE Jirau

Classes / Código adotados no banco de dados georreferenciado	Área Inundada (ha)	Densidade (ton/ha)	Carbono Oxidável (ton)
Floresta ombrófila aberta submontana com palmeiras (Faps)	4,05	7,49	30,3
Associação de Floresta ombrófila aberta das terras baixas com palmeiras com floresta ombrófila aberta aluvial (Fap + Fal)	7.665,98	7,29	55.885
Transição de floresta ombrófila aberta das terras baixas e campinarana florestada (Fap + Cf)	2.387,39	5,16	12.319
Campinarana Florestada (Cf)	483,15	5,44	2.628
Associação de Campinarana Gramíneo-Lenhosa com Campinarana Arborizada (Cgl + Carb)	414,92	2,64	1.095
Formações pioneiras de várzea (Fpv)	432,65	5,44	2.354
Pastagem (P)	1.784,23	0,80	1.427
Desmatamento (D)	43,80	2,64	115,6
TOTAL			75.854

Tabela 4.14
Cálculo da Massa de Carbono Oxidável Afogada no Reservatório do AHE Santo Antônio

Classes / Código adotados no banco de dados georreferenciado	Área Inundada (ha)	Densidade (ton/ha)	Carbono Oxidável (ton)
Associação de Floresta ombrófila aberta das terras baixas com palmeiras com floresta ombrófila aberta aluvial (Fap + Fal)	9.076,96	7,15	64.900
Formações pioneiras de várzea (Fpv)	1.371,70	5,44	7.462
Pastagem (P)	1.698,66	0,80	1.359
Desmatamento (D)	13,24	2,64	35,0
TOTAL			73.756



4.7. INCORPORAÇÃO DA FITOMASSA NOS RESERVATÓRIOS

A vegetação afogada corresponde a uma carga total de 76.000 toneladas de carbono oxidável, no reservatório de Jirau, e 74.000 toneladas de carbono oxidável, no reservatório de Santo Antônio. A transferência destas cargas para os corpos d'água se dá gradualmente, seja devido ao processo de solubilização da biomassa afogada, seja devido ao processo de afogamento da biomassa, à medida em que o reservatório vai enchendo.

Pode-se admitir que a biomassa afogada vai sendo solubilizada a uma taxa de 0,080/dia, ou seja, a cada dia, 8% do carbono oxidável remanescente na biomassa afogada se torna disponível. Mas a cada dia, apenas uma fração da biomassa total, conforme determinada no item 4.6, é afogada pelo reservatório, durante o processo de enchimento. Assim, é necessário que se conheça o processo de enchimento dos reservatórios para que se possa determinar a quantidade de carbono oxidável solubilizado ao longo do tempo.

Apresenta-se, a seguir, uma análise da incorporação da fitomassa nos reservatórios de Jirau e Santo Antônio, considerando os processos de enchimento previstos nos estudos de viabilidade.

4.7.1. Reservatório de Jirau

O reservatório do AHE Jirau tem um volume pequeno em relação à magnitude das vazões afluentes. Por esta razão, seu enchimento ocorrerá em poucos dias, dependendo fundamentalmente da regra operativa que venha a ser adotada para o Vertedouro durante este período.

O cronograma de implantação do projeto estabelece o mês de outubro com meta para consolidação do fechamento do leito do rio pelas pré-ensecadeiras, com toda a vazão afluente passando pelo Vertedouro, que estará parcialmente concluído nessa ocasião. Durante o mês de novembro, serão realizados os trabalhos necessários para que o enchimento do reservatório possa ser concluído.

O tempo de enchimento foi calculado considerando a seguinte regra operacional para o Vertedouro:

- O Vertedouro será operado durante o período de elevação da ensecadeira de modo a manter a igualdade entre as vazões afluentes e defluentes, até a consecução da cota final das ensecadeiras (mês de outubro);
- Ao atingir as cotas finais das ensecadeiras o Vertedouro é parcialmente fechado de forma a garantir uma vazão mínima para jusante admitida por hipótese igual 3.240 m³/s que corresponde ao valor de Q_{7.10} em AHE Jirau, e o enchimento do reservatório.

Admitindo a ocorrência de um ano hidrologicamente seco, definido como aquele com 90 % de permanência de vazões iguais ou maiores, a vazão afluente média mensal em



novembro é igual a 6.232 m³/s e o nível d´água inicial do reservatório é igual a 72,48 m (controlado pelo Vertedouro). O volume do reservatório entre esta cota e o NA normal operativo do mês de novembro, 85,00 m, é igual a 1.081 x 106 m³. Nessas condições o tempo de enchimento do reservatório é de apenas 3,6 dias.

A Tabela 4.15 apresenta os cálculos de tempo de enchimento do reservatório de Jirau, para a primeira etapa, em novembro, considerando três situações hidrológicas distintas. Para efeito dos estudos de qualidade da água, a situação crítica corresponde, naturalmente, ao regime hidrológico mais seco, associado a uma permanência de 90% na Tabela.

Tabela 4.15
Tempos de Enchimento do Reservatório de Jirau – Primeira Etapa

			Vazões		Reservatório					
Mês	Regime Hidrológico	Perma- nência	Afluentes m³/s	NA inicial m	NA Operacional m	Volume Inicial 10 ⁶ m ³	Volume Final 10 ⁶ m ³	Diferença Volume 10 ⁶ m ³	Vazão Defluente m³/s	Tempos de enchimento dias
Novembro	Seco	90%	6.232	72,48	85,00	145,78	1.081,50	935,72	3240	3,6
	Médio	50%	9.594	74,24	85,00	221,64	1.081,50	859,86	3240	1,6
	Úmido	10%	14.413	76,24	85,00	327,60	1.081,50	753,90	3240	0,8

A regra de operação definida para o reservatório de Jirau prevê que o NA máximo normal operativo seja variável ao longo do ano. Com o enchimento sendo feito em novembro (NA normal na El. 85,00 m), o reservatório somente estará completamente cheio em janeiro, quando o NA normal operativo alcança a Cota 90,00 m, sendo ainda necessária uma etapa intermediária em dezembro, quando o NA normal operativo é na El. 87,50 m. Assim, o enchimento do reservatório do AHE Jirau se processa em três etapas:

- Etapa 1 enchimento no início de novembro, até a El. 85,00 m.
- Etapa 2 elevação do NA operativo para a El. 87,50 m, no início de novembro; e
- Etapa 3 elevação do NA operativo para a cota máxima, El. 90,00 m, no início de janeiro.

Conseqüentemente, a carga de carbono oxidável vai sendo incorporada ao reservatório (solubilizada) gradativamente, em função da parcela de biomassa que vais sendo afogada.

Foi elaborado um modelo simples de transferência de carbono rapidamente oxidável para o reservatório, para simular este processo de enchimento por etapas. O modelo vai acumulando a biomassa afogada, à medida em que o enchimento se processa, e calcula a carga transferida ao reservatório aplicando uma taxa de transferência de carbono de 0,080/dia sobre a massa de carbono remanescente.

A Figura 4.16 apresenta o resultado da simulação do enchimento do reservatório de Jirau em três etapas, informando a evolução cronológica da carga de carbono oxidável disponível e da carga transferida ao corpo hídrico.



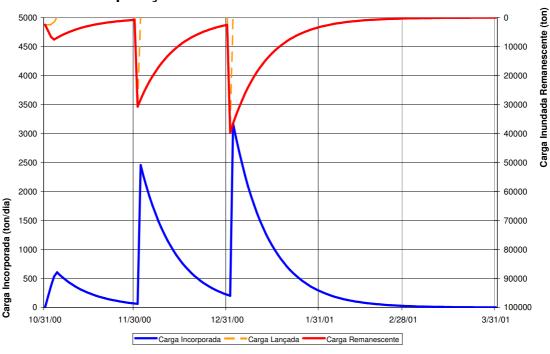


Figura 4.16 Incorporação da Biomassa no Reservatório de Jirau

Este gráfico evidencia que existem três situações a serem analisadas, correspondentes às taxas máximas de transferência de carbono oxidável observadas em cada mês.

A Tabela 4.17 resume os principais resultados obtidos na simulação realizada, informando as cargas máximas verificadas em cada mês e as correspondentes vazões em trânsito (vazões com permanência de 90%). Considerando que o modelo de qualidade da água a ser empregado funciona em regime estacionário, julgou-se mais adequado realizar simulações considerando as cargas máximas de cinco dias. Deste modo, a Tabela 4.17 apresenta ainda as cargas de DBO, Nitrogênio e Fósforo calculadas a partir da transferência de carbono respeitando as seguintes relações:

relação de demanda de oxigênio por matéria carbonácea = 2,

= 2.7 kg(DBO/kg(C))

relação de nitrogênio por matéria carbonácea

= 0.024542 kg(N)/kg(C)

relação de fósforo por matéria carbonácea = 0.002971 kg(P)/kg(C)

Tabela 4.17 Cargas Transferidas ao Reservatório de Jirau Pela Biomassa Afogada

	Novembro	Dezembro	Janeiro
Vazão com Permanência de 90 % (m³/s)	6.232	10.402	17.500
Vazão residual durante o enchimento (m³/s)	3.240	3.240	3.240
Nível d'água do reservatório (m)	85,00	87,50	90,00
Tempo de enchimento (dias)	3,6	0,60	0,44



Tabela 4.17 (Continuação) Cargas Transferidas ao Reservatório de Jirau Pela Biomassa Afogada

	Novembro	Dezembro	Janeiro
Carga máxima de carbono oxidável (ton/dia)	605	2.456	3.175
Carga máxima média de cinco dias (ton/dia)	536	2.093	2.706
Carga máxima média de dez dias (ton/dia)	459	1.736	2.245
DBO associada à média de 5 dias (ton/dia)	1.447	5.651	7.306
Nitrogênio associado à média de 5 dias (ton/dia)	13,2	51,4	66,4
Fósforo associado à média de 5 dias (ton/dia)	1,59	6,22	8,04

Este quadro define os cenários críticos de qualidade da água associados com o enchimento do reservatório de Jirau.

4.7.2. Reservatório de Santo Antônio

Da mesma forma que em Jirau, o reservatório do AHE Santo Antônio tem um volume pequeno em relação à magnitude das vazões afluentes, de forma que seu enchimento também ocorrerá em poucos dias.

O cronograma de implantação do projeto estabelece o mês de outubro com meta para consolidação do fechamento do leito do rio pelas pré-ensecadeiras, com toda a vazão afluente passando pelo Vertedouro, parcialmente construído, nessa ocasião. Durante o mês seguinte, novembro, será dado início ao enchimento do reservatório até seu nível d'água máximo normal, na El. 70,00 m, em uma única etapa.

O tempo de enchimento foi calculado considerando a seguinte regra operacional para o Vertedouro:

- O Vertedouro será operado durante o período de elevação da ensecadeira (outubro) de modo a manter a igualdade entre as vazões afluentes e defluentes, até a consecução da cota final das ensecadeiras;
- Ao atingir as cotas finais das ensecadeiras (início de novembro) o Vertedouro é parcialmente fechado de forma a garantir uma vazão mínima para jusante, admitida por hipótese igual 3.293 m³/s, que corresponde ao valor de Q_{7,10} em AHE Santo Antônio, possibilitando o enchimento do reservatório.

Admitindo a ocorrência de um ano hidrologicamente seco, definido como aquele com 90 % de permanência de vazões iguais ou maiores, a vazão afluente média mensal em novembro é igual a 6.336 m³/s e o nível d´água do reservatório é igual a 50,95 m (controlado pelo Vertedouro). O volume do reservatório entre esta cota e o NA normal operativo, 70,00 m, é igual a 1.967,63 x 106 m³. Nessas condições o tempo de enchimento do reservatório é de apenas 7.5 dias.



A Tabela 4.18 apresenta os cálculos de tempo de enchimento do reservatório de Santo Antônio no mês de novembro, considerando três situações hidrológicas distintas. Para efeito dos estudos de qualidade da água, a situação crítica corresponde, naturalmente, ao regime hidrológico mais seco, associado a uma permanência de 90% na Tabela. A Tabela mostra também o que ocorreria se o enchimento fosse realizado em dezembro, numa eventual hipótese de atraso no cronograma de execução da obra.

Tabela 4.18
Tempos de Enchimento do Reservatório de Santo Antônio

Mân do	Domino Domo		Nazões		Reservatório					
Mês de Enchimento	Regime Hidrológico	Perma- nência	Afluentes m³/s	NA inicial m	Volume Inicial 10 ⁶ m ³	Volume Final 10 ⁶ m ³	Diferença Volume 10 ⁶ m ³	Vazão Defluente m³/s	enchimento dias	
Novembro	Seco	90%	6.336	50,95	107,20	2.075,13	1.967,93	3.293	7,5	
	Médio	50%	9.755	52,61	129,56	2.075,13	1.945,57	3.293	3,5	
	Úmido	10%	14.654	54,55	166,56	2.075,13	1.908,57	3.293	1,9	
Dezembro	Seco	90%	10.576	52,95	134,67	2.075,13	1.940,46	3.293	3,1	
	Médio	50%	16.744	55,28	184,60	2.075,13	1.890,53	3.293	1,6	
	Úmido	10%	21.166	56,79	230,19	2.075,13	1.844,94	3.293	1,2	

Da mesma forma procedida para o reservatório de Jirau, foi feita uma simulação da incorporação do carbono rapidamente oxidável no reservatório de Santo Antônio, considerando o enchimento concluído em 7,5 dias, no mês de novembro. Admitiuse, do mesmo modo, uma taxa de transferência de carbono de 0,080/dia sobre a massa de carbono remanescente.

A Figura 4.19 apresenta o resultado da simulação do enchimento do reservatório de Santo Antônio, informando a evolução cronológica da carga de carbono oxidável disponível e da carga transferida ao corpo hídrico.



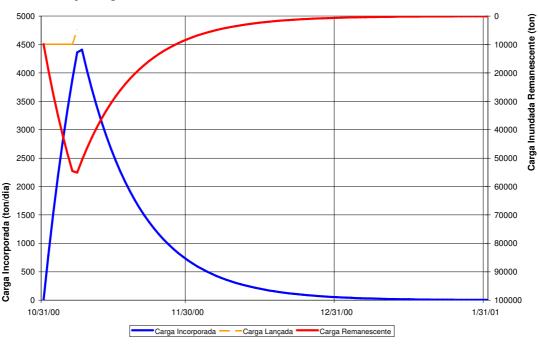


Figura 4.19 Incorporação da Biomassa no Reservatório de Santo Antônio

Percebe-se que, com as taxas adotadas, o processo estará totalmente estabilizado no final de dezembro.

A Tabela 4.20 resume os principais resultados obtidos na simulação realizada, informando as cargas máximas verificadas no mês de novembro e as correspondentes vazões em trânsito (vazões com permanência de 90%). O Quadro apresenta ainda as cargas de DBO, Nitrogênio e Fósforo calculadas a partir da transferência de carbono, correspondente à carga máxima média de 5 dias, respeitando as relações DBO/C, N/C e P/C já definidas anteriormente.

Tabela 4.20
Cargas Transferidas ao Reservatório de Santo Antônio Pela Biomassa Afogada

	Enchimento em Novembro
Vazão com Permanência de 90 % (m³/s)	6.336
Vazão residual durante o enchimento (m³/s)	3.293
Nível d'água do reservatório (m)	70,00
Tempo de enchimento (dias)	7,5
Carga máxima de carbono oxidável (ton/dia)	4.408
Carga máxima média de cinco dias (ton/dia)	4.088
Carga máxima média de dez dias (ton/dia)	3.610
DBO associada à média de 5 dias (ton/dia)	11.038
Nitrogênio associado à média de 5 dias (ton/dia)	100,3
Fósforo associado à média de 5 dias (ton/dia)	12,15



Esta Tabela define o cenário crítico de qualidade da água associado com o enchimento do reservatório de Santo Antônio.



5 ESTABELECIMENTO DO MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA



5.1. DESCRIÇÃO DO MODELO UTILIZADO NAS SIMULAÇÕES - QUAL2E

Para modelagem da qualidade da água na bacia do rio Madeira foi usado o modelo matemático QUAL2E, desenvolvido por Brown e Barnwell em 1985 (Referência 11). A versão utilizada no presente trabalho possui interface para o ambiente Windows, tendo sido desenvolvida por Lahlou, Sayedul, Baldwin e Boyton para o U.S. Environmental Protection Agency, em 1995 (Referência 12).

O QUAL2E é um modelo bastante utilizado, capaz de simular um número grande de constituintes de qualidade da água, considerando que estão completamente misturados ao escoamento. O modelo assume que os principais mecanismos de transporte, advecção e dispersão, são significativos apenas ao longo da direção principal do escoamento (eixo longitudinal do rio ou canal). Em uma simulação, podem ser considerados vários pontos de lançamento (cargas industriais e domésticas), captações, entradas de tributários e de vazões incrementais, que podem ser positivas (contribuição do aqüífero para o rio ou escoamento superficial que chega a calha do rio em um determinado trecho) ou negativas (contribuição do rio para o aqüífero e retiradas de água).

O modelo pode ser operado como permanente ou dinâmico. Quando operado na forma permanente pode ser usado para estudo do impacto dos despejos (magnitude, qualidade e localização) na qualidade da água do rio. Na forma dinâmica permite o estudo dos efeitos das variações diurnas dos dados meteorológicos na qualidade da água (oxigênio dissolvido e temperatura) e das variações do oxigênio dissolvido devido ao crescimento e respiração das algas.

O modelo pode simular no máximo 15 constituintes de qualidade da água em qualquer combinação desejada pelo usuário. Estes constituintes são: oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), temperatura, algas, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito, nitrato, fósforo orgânico, fósforo dissolvido, coliformes, constituinte não conservativo (arbitrário), três constituintes conservativos.

Também permite o cálculo das vazões necessárias para diluição quando um nível mínimo, pré-fixado, de oxigênio dissolvido não for alcançado. Para o caso específico da demanda bioquímica de oxigênio e do oxigênio dissolvido, analisa a biodegradação da matéria carbonácea, demanda bentônica e sedimentação da matéria orgânica.

O QUAL2E, mesmo sendo bem geral, apresenta certas limitações computacionais, permitindo os seguintes valores máximos:

•	Número de trechos	50
	Número de elementos computacionais	500
	Numero de elementos de cabeceira	10
	Número de junções	9
	Número de despejos e retiradas	50



5.1.1. Representação Conceitual do Modelo

A Figura 5.1 ilustra a discretização de um trecho de rio, dividido em sete subtrechos ou elementos computacionais de comprimentos longitudinais Δx .

Figura 5.1 Discretização de Um Trecho de Rio no QUAL2E ELEMENTO COMPUTACIONAL BALANÇO DE VAZÃO (QC) i-1 (QxCx)i BALANÇO DE MASSA

Para cada subtrecho (i), pode-se descrever o balanço hidrológico em termos das vazões de entrada a montante (Qi-1), vazões de entrada ou saídas laterais (Qxi) e vazões de



saída (Qi). Da mesma forma, o balanço da massa para cada constituinte C pode ser descrito em termos do transporte advectivo e dispersivo, podendo sofrer ainda, ao longo dos subtrechos, acréscimos ou decréscimos devido a fontes ou sumidouros externos ou internos, estes no caso de transformações bioquímicas.

O rio ou trecho de rio a ser simulado é dividido em trechos com características hidráulicas homogêneas (declividade, rugosidade, seção transversal, etc.). Cada trecho é subdividido em elementos computacionais de comprimentos iguais. No total, podem ser utilizados sete tipos de elementos computacionais, descritos a seguir:

- Cabeceira primeiro elemento do sistema principal e, eventualmente, de cada tributário:
- Padrão é aguele que não se enquadra como nenhum dos seis elementos restantes;
- Junção elemento que representa a entrada de um tributário a ser simulado;
- Elemento à montante de uma junção;
- Último elemento do sistema;
- Despejos cargas domésticas e industriais, vazões e respectivas cargas de tributários que não estão sendo simulados;
- Retiradas captações para abastecimento de cidades ou indústrias;

Os dados hidráulicos, os coeficientes de reação dos constituintes, as condições iniciais e as vazões incrementais são constantes para todos os elementos computacionais dentro de um trecho. A Figura 5.2, apresenta, como ilustração, a representação de um rio como uma rede composta de trechos e elementos computacionais.



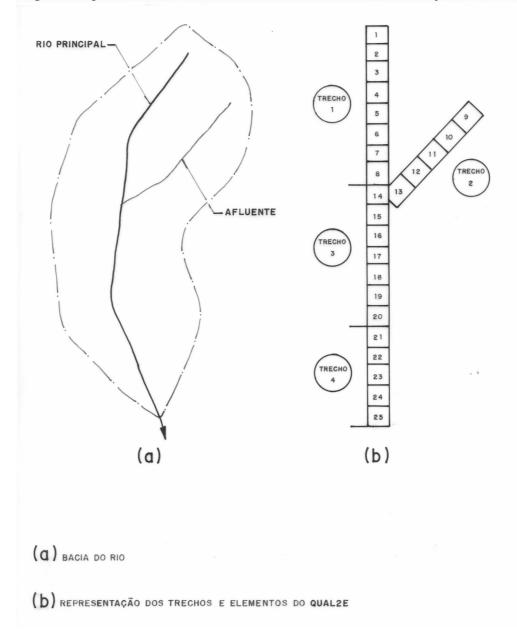


Figura 5.2 Segmentação de Um Rio em Trechos e Elementos Computacionais

5.1.2. Representação Funcional do Modelo

A equação básica solucionada pelo modelo é a equação de transporte de massa (advecção-dispersão), que é integrada numericamente num intervalo de tempo, para cada constituinte de qualidade da água simulado. Esta equação inclui os efeitos de diluição, advecção, reações e interações dos constituintes, fontes e consumidores de oxigênio. Para qualquer constituinte simulado, C, a equação poderá ser escrita como:



$$\frac{\partial M}{\partial .t} = \frac{\partial \left(A_x D_L \frac{\partial C}{\partial X}\right)}{\partial X} dx - \frac{\partial \left(A_x \overline{u}C\right)}{\partial X} dx + \left(A_x dx\right) \frac{dC}{dt} + s$$
5.1

onde:

t = tempo(T);x = distancia(L):

C = concentração (ML⁻³); Ax = área da seção transversal (L²); DL= coeficiente de dispersão (L²T⁻¹);

 \overline{u} = velocidade média (LT⁻¹);

s = fontes ou consumidores externos (MT⁻¹);

M = massa(M).

Como M=V.C, temos:

$$\frac{\partial M}{\partial .t} = \frac{\partial (VC)}{\partial .t} = V \frac{\partial C}{\partial .t} + C \frac{\partial V}{\partial .t}$$
5.2

onde:

 $V = A_X.d_X = volume do subtrecho (m³).$

Ao se assumir o regime permanente $\left(\frac{\partial Q}{\partial t} = 0\right)$; $\frac{V}{t} = 0$, a equação 5.2 torna-se:

$$\frac{\partial M}{\partial .t} = V \frac{\partial C}{\partial .t}$$
 5.3

Combinando as equações 5.1 e 5.3, obtém-se:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial \left(A_X D_L \frac{\partial C}{\partial_X}\right)}{A_X \partial_X} - \frac{\partial \left(A_X \overline{u}C\right)}{A_X \partial_X} + \frac{dC}{dt} + \frac{s}{V}$$
5.4

onde os termos à direita representam, respectivamente, os mecanismos de dispersão, advecção, variação total de concentração e fontes ou sumidouros.

Sob condições de regime permanente, os gradientes locais de concentração serão nulos $\left(\frac{\partial C}{\partial t} = 0\right)$ e as variações temporais de concentração de cada constituinte são definidas

pela derivada total $\frac{dC}{dt}$. Estas variações incluem reações físicas, químicas e biológicas (reaeração, respiração de algas, fotossíntese, decaimento de coliformes, etc).

As equações diferenciais do modelo são resolvidas numericamente por diferenças finitas, através de um esquema implícito regressivo. A base geral para este esquema consiste em se encontrar o valor da variável (concentração do constituinte), como função do espaço num certo tempo, uma vez conhecida a distribuição espacial num tempo anterior. O tempo zero corresponde à condição inicial. A solução numérica das equações pode ser encontrada nos estudos de Forattini (referência 15) e Chapra (referência 16).

5.1.3. Características Hidráulicas e Dispersão Longitudinal

O modelo assume que o regime hidráulico do rio ou canal é permanente, ou seja, $\partial Q/\partial t = 0$. Desta forma, o balanço hidrológico de um elemento computacional pode ser escrito como:

$$\left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right)_i = \left(Q_x\right)_i$$
5.5

onde $(Q_x)_i$ é a soma das entradas e/ou retiradas externas para este elemento.

Uma vez solucionada a equação acima para Q, as outras características hidráulicas são obtidas a partir das relações:

$$v = c. Qd$$

$$A_{x} = \frac{Q}{v}$$

$$h = a. Qb$$
5.6
5.7

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.

Alternativamente, se estão disponíveis dados da seção transversal em função da profundidade, v poderá ser obtido a partir da vazão Q e da equação de Manning, da seguinte forma:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A_x \cdot R_x^{2/3} \cdot S_e^{1/2}$$
 5.9

Onde:

 R_x = raio hidráulico;

n = coeficiente de Manning;

S_e = declividade da linha de energia;



O valor de v é então determinado pela equação 5.6.

O coeficiente de dispersão longitudinal, D_L, é calculado no modelo através da seguinte equação empírica (Referência 17):

$$D_L = 3.11 \cdot K \cdot n \cdot v \cdot h^{5/6}$$
 5.10

Onde K é um parâmetro de dispersão e os demais símbolos já foram definidos.

5.1.4. Constituintes e Reações Considerados nas Simulações

Neste item são descritos alguns constituintes simulados pelo modelo, bem como as expressões associadas à sua cinética. Embora o modelo QUAL2E trate de maior número de constituintes e cinéticas, a descrição apresentada a seguir limita-se aos parâmetros efetivamente considerados no presente trabalho.

a) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD)

O balanço de oxigênio em rios depende de sua capacidade de autodepuração. Esta capacidade é função dos processos de advecção-difusão e do déficit interno de oxigênio relativo aos valores de saturação.

Nesses sistemas, as principais fontes de produção de oxigênio estão relacionadas à reaeração atmosférica, fotossíntese e cargas afluentes (tributários). Já a depleção do oxigênio dissolvido está geralmente associada a oxidações bioquímicas da matéria orgânica carbonácea e nitrogenada (DBO-C e DBO-N), demandas bentônicas e processos de respiração.

As cinéticas para a demanda bioquímica carbonácea de oxigênio e para oxigênio dissolvido, da forma como tratadas no modelo QUAL2E, são apresentadas a seguir.

$$\frac{dL}{dt} = -K_1 \cdot L - K_3 \cdot L$$

Ε

$$\frac{dO}{dt} = -K_2 \cdot (O_s - O) - K_1 \cdot L - \frac{K_4}{h}$$

Onde:

L – demanda bioquímica carbonácea de oxigênio (mg/l);

K₁ – taxa de decomposição de DBO (1/dia);

K₃ – taxa de sedimentação de DBO (1/dia);

O – concentração de oxigênio dissolvido (mg/l);

K₂ – taxa de reaeração (1/dia);



Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatório do Rio Madeira

O_s - concentração de saturação de oxigênio (mg/l);

K₄ – demanda de oxigênio do sedimento (g/m²/dia)

A reaeração atmosférica está diretamente relacionada ao déficit de oxigênio dissolvido em suas águas, ou seja, à diferença entre as concentrações de saturação e as concentrações reais existentes. Daí a importância de determinações precisas destes valores. A solubilidade do oxigênio dissolvido em águas é diretamente proporcional à pressão atmosférica e inversamente proporcional à temperatura, sendo calculada no modelo a partir da formulação adotada pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16º ed., 1985.

Os mecanismos de reaeração em águas continentais têm sido alvo de muitos estudos, existindo grande profusão de modelos conceituais, empíricos e semi-empíricos. Existe consenso em afirmar que não existe uma formulação única capaz de enquadrar-se a todos os rios, havendo, portanto, a necessidade de avaliação e seleção daquela que melhor represente o processo para cada caso em particular.

O modelo QUAL2E possui a opção de ler diretamente valores medidos (ou estimados) do coeficiente de reaeração, ou calcular através de sete fórmulas empíricas, relacionadas com as características e geometria do canal.

b) Ciclo do nitrogênio

O ciclo do nitrogênio, ou nitrificação, é contemplado no modelo em três etapas:

- 1 O nitrogênio orgânico, quando descarregado no corpo hídrico, sofre uma reação (hidrólise) resultando como produto final a amônia;
- 2 A amônia, por sua vez, é oxidada sob condições aeróbicas, na presença de bactérias (nitrossomonas), dando origem ao nitrito.
- 3 O nitrito formado é, em seguida, oxidado a nitrato, na presença de microorganismos (nitrobactérias).

Nessas etapas ocorre consumo de oxigênio, motivo pelo qual a nitrificação é uma fonte potencial de depleção de oxigênio em águas naturais. Estes processos são tratados, no QUAL2E, da seguinte forma:

Nitrogênio Orgânico

$$\frac{dN_4}{dt} = \alpha_1 \rho A - \beta_3 N_4 - \sigma_4 N_4$$

Onde:

N₄ - concentração de nitrogênio orgânico (mg/l);

β₃ - taxa de hidrólise de nitrogênio orgânico em amônia (1/dia);

 α_1 - fração de nitrogênio na biomassa das algas (mgN/mgA);

ρ - taxa de respiração das algas (1/dia);

A - concentração de biomassa de algas (mgA/l);

 σ_4 – taxa de sedimentação do nitrogênio orgânico (1/dia);

. Amônia

$$\frac{dN_1}{dt} = \beta_3 N_4 - \beta_1 N_1 + \sigma_3 / d - F_1 \alpha_1 \mu A$$

Onde:

N₁ - concentração de amônia (mg/l);

N₃ - concentração de nitrato (mg/l);

N₄ - concentração de nitrogênio orgânico (mg/l);

 β_1 - taxa de oxidação biológica da amônia (1/dia);

β₃ - taxa de hidrólise de nitrogênio orgânico em amônia (1/dia);

 α_1 - fração de nitrogênio na biomassa das algas (mgN/mgA);

 σ_3 - taxa de fonte bentônica de amônia (1/dia);

d - profundidade média do escoamento (m);

F₁ – fração do nitrogênio das algas retirado da amônia;

μ - taxa específica de aumento de algas (1/dia);

A - concentração de biomassa de algas (mgA/l);

. Nitrito

$$\frac{dN_2}{dt} = \beta_1 N_1 - \beta_2 N_2$$

Onde:

N₁ - concentração de amônia (mg/l);

N₂ - concentração de nitrito (mg/l);

β₁ - taxa de oxidação biológica da amônia (1/dia);

β₂ - taxa de oxidação biológica do nitrito (1/dia);

Nitrato

$$\frac{dN_3}{dt} = \beta_2 N_2 - (1 - F)\alpha_1 \mu A$$

Onde:

F – fração de nitrogênio das algas retirado da amônia;



 α_1 - fração de nitrogênio na biomassa das algas (mgN/mgA); μ - taxa específica de aumento de algas (1/dia):

c) Ciclo do Fósforo

No modelo, o ciclo do fósforo funciona de forma semelhante ao ciclo do nitrogênio. Assim, a forma orgânica de fósforo é gerada através da morte das algas e é convertida para a forma dissolvida, inorgânica. As equações que descrevem as transformações do ciclo do fósforo são apresentadas a seguir:

Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatório do Rio Madeira

Fósforo Orgânico

$$\frac{dP_1}{dt} = \alpha_2 \rho A - \beta_4 P_1 - \sigma_5 P_1$$

Onde:

 P_1 - concentração de fósforo orgânico (mgP/I);

 α_2 – conteúdo de fósforo nas algas (mgP/mgA);

ρ - taxa de respiração das algas (1/dia);

A - concentração de biomassa de algas (mgA/l);

β₄ - taxa de decaimento do fósforo orgânico (1/dia);

 σ_5 – taxa de sedimentação do fósforo orgânico (1/dia).

Fósforo Dissolvido

$$\frac{dP_2}{dt} = \beta_4 P_1 + \sigma_2/d - \alpha_2 \mu A$$

Onde:

P₂ - concentração de fósforo inorgânico ou dissolvido (mg/l);

 σ_2 – taxa de oxigênio dissolvido produzido pela camada bentônica (mgP/m²/dia);

d - profundidade média do escoamento (m);

μ - taxa de crescimento das algas (1/dia);

A - concentração de biomassa de algas (mgA/l).

5.1.5. Correção da Temperatura

Todos os coeficientes ou taxas de reação das variáveis de qualidade da água (com exceção da concentração de saturação de oxigênio), dependentes da temperatura, podem ser corrigidos para qualquer temperatura a partir da relação abaixo:



$$X_T = X_T^{20} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Onde:

XT = valor da variável à temperatura local;

 X_T^{20} = valor da variável à 20°C;

T = temperatura (°C); e,

 θ = constante empírica para cada variável dependente da temperatura.

O modelo utiliza:

 θ = 1,0159 para o cálculo de K₂

 θ = 1,047 para calcular todos os demais coeficientes

5.2. CALIBRAÇÃO DO MODELO PARA AS CONDIÇÕES ATUAIS

5.2.1. Segmentação do Estirão Fluvial

O estirão fluvial do rio Madeira a ser simulado, desde sua confluência com o rio Abunã, a montante, até sua confluência com o rio Jamarí, a jusante, totalizando 329 km, foi segmentado em 29 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 nas seções transversais disponíveis, obtidas dos estudos de remanso dos reservatórios e dos estudos sedimentológicos realizados. As seções do trecho situado a jusante de Porto Velho foram obtidas a partir do Atlas da Hidrovia Madeira-Amazonas de Itacoatiara a Porto Velho, produzido pela Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha em 1999.

A seção de Porto Velho foi obtida a partir de uma planta de estruturas do projeto da Ponte Sobre o Rio Madeira – Porto Velho.

A Tabela 5.3, a seguir, apresenta uma relação das seções topobatimétricas disponíveis para caracterização hidráulica do rio Madeira. Estas seções estão identificadas pela sua distância, em km, até a confluência do rio Madeira com o rio Jamarí, ou seja, sua distância ao limite de jusante da modelagem.

A Tabela indica também, quando existente, a correspondência entre os novos números das seções e a numeração empregada nos estudos de remanso (modelo HEC-RAS) e a numeração indicada nos desenhos dos Estudos de Viabilidade. Os trechos escolhidos estão enfatizados na Tabela 5.3.



Tabela 5.3 Relação das Seções Transversais Disponíveis Para Modelagem

0	Tueska	Seção de	referência	Observas ~ ~ ~
Seção	Trecho	HEC - RAS	Desenho	- Observações
329	1	42.3	S-42,3	Rio Abunã
327	1	42	S-42	
320	1	41.5	S-41,5	
315	1	41	S-41	
309	2	40.5	S-40,5	Cachoeira do Pederneira
306	2	40	S-40	
301	2	39	S-39	
292	3	38.5	S-38,5	
286	3	38	S-38	Cachoeira do Paredão
283	4	37	S-37	
279	4	36	S-36	
272	4	35	S-35	
267	5	34.5	S-34,5	
258	6	34	S-34	
256	7	33	S-33	Cachoeira Três Irmãos
255	7	32	S-32	Ilha Três Irmãos
253	8	31	S-31	
243	8	30	S-30	
228	9	29	S-29	
211	10	Cópia da seção 228	Cópia da seção 228	Seção auxiliar
210	11	28	S-28	
207	12	18	S-23	Salto do Jirau
200	12	17	S-22	Cachoeira do Inferno
195	13	16	S-21	
190	13	15	S-20	
184	13	14	S-19	Ilha da Pedra
172	14	13	S-18	Ilha Santana
166	14	12	S-17	
158	15	11	S-16	Ilha Niterói
151	16	10	S-15	Ilha São Patrício
145	17	9	S-14	Ilha Liverpool
139	17	8	S-13	
128	18	7	S-12	Cachoeira Morrinho
120	19	6	S-11	
110	19	5	S-10	



Tabela 5.3 (Continuação) Relação das Seções Transversais Disponíveis Para Modelagem

Socia	Trecho	Seção de refe	^r ência	Observações	
Seção	rreciio	HEC - RAS	Desenho	Observações	
105	20	4	S-9		
98	21	3.5	S-8	Cachoeira de Teotônio	
96	22	3	S-7		
88	23	2	S-6		
81	24	1	S-5	Cachoeira Santo Antônio	
75	25	Ponte Projetada	Ponte Projetada	Porto Velho	
63	26	Cópia da seção 75	Cópia da seção 75	Cópia da seção 75	
42	27	Atlas	Atlas		
26	28	Atlas	Atlas	Ilha Jamarizinho	
0	29	Atlas	Atlas	Foz do rio Jamari	

Para cada trecho foi escolhida uma seção representativa, conforme apresentado na Tabela 5.4, a seguir.

Tabela 5.4 Limites dos Trechos do Modelo QUAL2E e Seções Representativas

Trecho	Seção Representativa	Pk inicial (km)	Pk final (km)
1	Mad1 - S315a	329	312
2	Mad2 - S315b	312	296
3	Mad3 - S292	296	284
4	Mad4 - S283	284	269
5	Mad5 - S267	269	262
6	Mad6 - S258	262	257
7	Mad7 - S256	257	253
8	Mad8 - S243a	253	238
9	Mad9 - S243b	238	224
10	Mad10 - S243c	224	210
11	Mad11 - Jirau	210	208
12	Mad12 - S200	208	197
13	Mad13 - S195	197	178
14	Mad14 - S166a	178	166
15	Mad15 - S166b	166	154
16	Mad16 - S151	154	145
17	Mad17 - S128a	145	134
18	Mad18 - S128b	134	124



Tabela 5.4 (Continuação)
Limites dos Trechos do Modelo QUAL2E e Seções Representativas

Trecho	Seção Representativa	Pk inicial (km)	Pk final (km)
19	Mad19 - S110	124	107
20	Mad20 - S105	107	98
21	Mad21 - S98teot	98	97
22	Mad22 - S96	97	92
23	Mad23 - S88	92	84
24	Mad24 - S81Sant	84	78
25	Mad25 - S63a	78	65
26	Mad26 - S63b	65	52
27	Mad27 - S26a	52	34
28	Mad28 - S26b	34	17
29	Mad29 - S26c	17	0

5.2.2. Características Hidráulicas dos Trechos

As características hidráulicas dos rios ou trechos de rios simulados são representadas através das equações que relacionam velocidade média e vazão e profundidade média e vazão, conforme descrito anteriormente. Os coeficientes a, b, c e d das equações 5.6 e 5.8, foram obtidos a partir dos dados resultantes das simulações com o modelo HEC-RAS, e são apresentados a seguir, na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 Coeficientes Empregados na Caracterização Hidráulica dos Segmentos

Trecho	а	b	С	d
1	1.6796	0.2535	0.0014	0.6886
2	1.6796	0.2535	0.0014	0.6886
3	1.2984	0.2687	0.0018	0.6312
4	0.7504	0.3202	0.0030	0.6293
5	0.1334	0.4638	0.0143	0.5036
6	0.8996	0.3099	0.0020	0.6560
7	0.0263	0.5908	0.0989	0.2574
8	1.5275	0.2581	0.0020	0.6431
9	1.5275	0.2581	0.0020	0.6431
10	1.5275	0.2581	0.0020	0.6431
11	0.0363	0.5387	0.6686	0.2248
12	1.8906	0.2403	0.0012	0.6941



Tabela 5.5 (Continuação)
Coeficientes Empregados na Caracterização Hidráulica dos Segmentos

Trecho	а	b	С	d
13	1.3526	0.2697	0.0009	0.6900
14	4.1580	0.1053	0.0041	0.5544
15	4.1580	0.1053	0.0041	0.5544
16	0.0434	0.5223	0.0154	0.3907
17	0.1009	0.4792	0.0074	0.4968
18	0.1009	0.4792	0.0074	0.4968
19	0.3828	0.3435	0.0036	0.6276
20	0.1204	0.4333	0.0057	0.5468
21	0.0002	0.9917	2.0982	0.0760
22	0.0140	0.6249	0.5837	0.0499
23	0.1553	0.4538	0.0127	0.4830
24	0.6379	0.3235	0.0040	0.5981
25	2.2586	0.2135	0.0014	0.7035
26	2.2586	0.2135	0.0014	0.7035
27	2.4874	0.2241	0.0003	0.8090
28	2.4874	0.2241	0.0003	0.8090
29	2.4874	0.2241	0.0003	0.8090

No presente estudo foram considerados todos os principais afluentes do rio Madeira, representados no modelo como uma entrada pontual de despejo, com a concentração de DBO, oxigênio dissolvido e a vazão correspondente.

5.2.3. Cenários Escolhidos Para Calibragem e Condições de Contorno Associadas

Com base nos resultados das cinco campanhas de coleta de amostras para análise de qualidade da água realizadas, foram definidos cenários para calibração do modelo: Estiagem, Enchente, Cheia e Vazante. Na calibração foi dada maior ênfase ao primeiro cenário, Estiagem, por ser o mais representativo das condições críticas (baixas vazões) a serem consideradas nas simulações da qualidade da água dos futuros reservatórios.

Para cada cenário foram considerados como condição de contorno os valores de vazão afluente no início do trecho de montante do rio Madeira e nos tributários, bem como os parâmetros de qualidade da água associados.

A Tabela 5.6, a seguir, apresenta, de forma resumida, as vazões afluentes e respectivas concentrações, para cada cenário estudado. O cenário de cheia considerado foi o correspondente a março, com vazão de 33.000 m³/s.



Tabela 5.6 Condições de Contorno Adotadas na Calibração

MÊS	CENÁRI O	Vazão	Temperat.	OD	DBO	Norg	Amônia	Nitrato	Ortofosfato	Fósforo Orgânico
		m³/s	°C	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
NOV	Enchente	10000	29,0	6,1	0,11	3,7	0,09	0,83	0,0098	0,0047
JAN	Cheia	24000	28,3	4,5	1,05	4,2	0,14	0,51	0,0013	0,0013
MAR	Cheia	33300	28,7	4,8	0,91	4,9	0,16	0,40	0,0052	0,0033
MAI	Vazante	22500	24,4	8,6	1,01	13,7	0,09	0,40	0,0103	0,0053
JUL	Estiagem	10500	25,8	7,1	0,78	6,8	0,10	0,17	0,0163	0,0128

5.2.4. Calibração dos Parâmetros

Os parâmetros de qualidade da água resultantes da calibração do modelo são apresentados na Tabela 5.7, a seguir. Trata-se do conjunto que apresentou melhor resultado considerando o critério de priorizar o ajuste para o período de estiagem, sem perder representatividade nos demais períodos.

Tabela 5.7
Parâmetros Obtidos na Calibração

Trecho	K ₁	K ₂	β_3	σ_4	β1	σ ₃	β_2	β4	σ_5	σ_2
1	0,1	0,3	0,03	0,05	0,8	0,1	1	0,15	0,35	0,01
2	0,1	0,3	0,03	0,05	0,8	0,1	1	0,15	0,35	0,01
3	0,1	0,3	0,03	0,05	0,8	0,1	1	0,15	0,35	0,01
4	0,1	0,3	0,03	0,05	0,8	0,1	1	0,15	0,35	0,01
5	0,1	0,3	0,03	0,05	0,8	0,1	1	0,15	0,35	0,01
6	0,1	0,5	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,15	0,35	0,01
7	0,1	0,5	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,15	0,35	0,01
8	0,1	0,4	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,15	0,35	0,01
9	0,1	0,5	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,15	0,35	0,01
10	0,1	0,5	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,15	0,35	0,01
11	0,1	4,5	0,03	0,01	1	0,1	0,2	0,05	0,35	0,01
12	0,1	0,9	0,03	0,01	1	0,1	0,2	0,05	0,35	0,01
13	0,1	0,9	0,03	0,01	1	0,1	0,2	0,05	0,35	0,01
14	0,1	0,9	0,03	0,01	1	0,1	0,2	0,05	0,35	0,01
15	0,1	1,4	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
16	0,1	1,8	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01



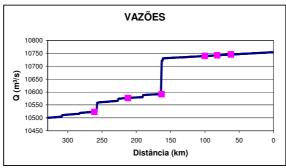
Tabela 5.7 (Continuação) Parâmetros Obtidos na Calibração

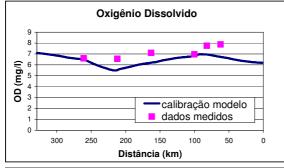
Trecho	K ₁	K ₂	β_3	σ ₄	β1	σ ₃	β_2	β_4	σ_5	σ ₂
17	0,1	1,8	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
18	0,1	2	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
19	0,1	2,1	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
20	0,1	2,1	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
21	0,1	6	0,09	0,2	2	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
22	0,1	4	0,09	0,2	1,5	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
23	0,1	1,6	0,09	0,2	1,5	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
24	0,1	1,6	0,09	0,2	1,5	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
25	0,1	0,6	0,09	0,2	1,5	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
26	0,1	0,6	0,09	0,2	1,5	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
27	0,1	0,3	0,03	0,01	1	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
28	0,1	0,3	0,03	0,01	1	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01
29	0,1	0,3	0,03	0,01	1	0,1	0,2	0,04	0,35	0,01

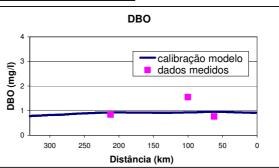
As Figuras 5.8 e 5.9 apresentam os resultados obtidos na calibração do modelo, confrontando, para os cenários de estiagem e de cheia, os perfis de concentração dos diversos constituintes simulados com os dados medidos de qualidade da água nos diversos pontos monitorados ao longo do rio Madeira.

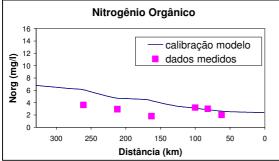


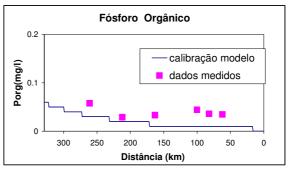
Figura 5.8
Calibração do Modelo QUAL2E – Período de Estiagem













VAZÕES 33800 Q (m³/s) 33600 33200 Distância (km) Oxigênio Dissolvido DRO calibração modelo DBO (mg/l) dados medidos calibração modelo dados medidos 0 250 200 300 250 200 150 Distância (km) Distância (km) Nitrogênio Orgânico Fósforo Orgânico 0.2 calibração modelo calibração modelo dados medidos Porg(mg/l) dados medidos 0 250 200 150 300 250 200 150 100 50 300 100 50

Figura 5.9
Calibração do Modelo QUAL2E – Período de Cheia

5.3. MODIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA CONSIDERAR O EFEITO DOS RESERVATÓRIOS

A implantação dos reservatórios irá afetar, principalmente, a capacidade de autodepuração do rio Madeira no trecho inundado, pois, com a redução das velocidades de escoamento a superfície líquida se ornará mais tranqüila, reduzindo-se as trocas de oxigênio com a atmosfera.

Para levar em consideração este fato na modelagem, os coeficientes de reaeração estabelecidos na fase de calibração deveriam ser alterados (reduzidos). Esta tarefa seria automática, caso se houvesse optado, na fase de calibração, por empregar qualquer uma das fórmulas oferecidas pelo modelo para calcular os coeficientes. Entretanto, como não se obteve sucesso com nenhuma das fórmulas, os coeficientes foram ajustados individualmente para cada trecho.

(I/**bm**) **qo**

0

16 14

12

10

Distância (km)

Norg (mg/l)

Distância (km)



Para a situação futura, com os reservatórios, como não se dispõe de uma referência, o cálculo dos novos coeficientes deve ser feito de forma criteriosa, para que os valores adotados não resultem arbitrários. No presente estudo, adotou-se o seguinte procedimento:

- Identificou-se, dentre os métodos disponíveis no QUAL2E, aquele que fornecia coeficientes de reaeração mais próximos dos calibrados;
- Com este método, calcularam-se os coeficientes de reaeração em cada trecho, nas condições atuais e futuras, com os reservatórios;
- Finalmente, admitiu-se como premissa que os coeficientes calibrados seriam modificados, pela presença dos reservatórios, na mesma proporção em que os coeficientes teóricos o foram.

Com esse procedimento foi possível alterar, de forma racional, os coeficientes de reaeração do rio Madeira, em cada trecho, para levar em consideração a presença dos reservatórios.

O método que apresentou coeficientes teóricos mais próximos daqueles definidos na calibração foi o de Thackston & Krenkel (referência 18). Os coeficientes de reaeração modificados são apresentados na Tabela 5.10, a seguir.

Tabela 5.10 Modificação dos Coeficientes de Reaeração Para Considerar os Reservatórios

Trecho	Coeficiente de Reaeração Atual	Coeficiente de Reaeração Modificado
1	0,37	0,18
2	0,37	0,21
3	0,37	0,19
4	0,37	0,10
5	0,37	0,04
6	0,61	0,17
7	0,61	0,09
8	0,49	0,19
9	0,61	0,27
10	0,61	0,61
11	5,51	0,14
12	1,10	1,00
13	1,10	1,03
14	1,10	0,02
15	1,71	0,34



Tabela 5.10 (Continuação) Modificação dos Coeficientes de Reaeração Para Considerar os Reservatórios

Trecho	Coeficiente de Reaeração Atual	Coeficiente de Reaeração Modificado
16	2,20	1,73
17	2,20	1,58
18	2,45	0,78
19	2,57	0,68
20	2,57	0,39
21	4,96	0,05
22	4,89	0,18
23	1,96	0,22
24	1,96	1,78
25	0,73	0,73
26	0,73	0,73
27	0,37	0,37
28	0,37	0,37
29	0,37	0,37

Outra importante modificação introduzida pela implantação dos empreendimentos é a reaeração forçada associada aos vertimentos e também às turbinagens, devido à grande turbulência provocada, particularmente no primeiro caso. Para levar este fato em consideração, foi empregado um recurso adicional fornecido pelo modelo QUAL2E – reaeração em barragens. Conceitualmente, admite-se que o déficit de oxigênio a jusante da barragem (D_b) será modificado, devido à turbulência provocada pela queda, em função ao déficit de oxigênio das águas do reservatório (D_a), da temperatura da água (T) e da altura de queda (T), de acordo com a seguinte expressão:

$$D_a - D_b = \left[1 - \frac{1}{1 + 0.116 \cdot a \cdot b \cdot H \cdot (1 - 0.034 \cdot H) \cdot (1 + 0.46 \cdot T)} \right] \cdot D_a$$

Nesta expressão, a e b são parâmetros que dependem do grau de contaminação da água (a) e da estrutura hidráulica de descarga (b). Para as águas do rio Madeira, pode-se adotar a=1,0. Para as vazões turbinadas, pode-se adotar b=0,05, enquanto que para vazões vertidas, controladas por comportas, adota-se b=0,40.



6. SIMULAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NOS FUTUROS RESERVATÓRIOS



6.1. DESCRIÇÃO DOS CASOS SIMULADOS

Conforme já exposto, o principal impacto decorrente do estabelecimento dos reservatórios do rio Madeira sobre a qualidade da água ocorrerá na fase de enchimento, em decorrência do afogamento da biomassa correspondente às áreas inundadas. Naturalmente, esta condição será crítica se o enchimento dos reservatórios ocorrer no período de estiagem, quando ocorrem as vazões mínimas.

A Tabela 6.1 apresenta as estatísticas de máxima, média, mínima e Q90% das vazões médias mensais do rio Madeira em Porto Velho. As vazões mínimas ocorrem no período de agosto a outubro, apresentando valores médios em torno de 7.000 m³/s, mas podendo chegar à casa dos 4.000 m³/s ou menos.

Tabela 6.1
Características das Vazões Médias Mensais do Rio Madeira em Porto Velho

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
MÍNIMA	13.547	17.779	20.861	18.267	13.684	7.075	4.862	3.732	3.651	3.683	4.906	8.809	3.651
MÉDIA	24.268	29.582	34.207	30.706	23.107	16.155	10.750	6.938	5.691	6.944	10.553	16.896	17.983
MÁXIMA	44.794	40.802	47.492	47.069	39.476	27.384	21.144	13.126	12.608	15.455	20.089	34.155	47.492
Perm 90%	17.551	22.398	25.575	23.070	16.042	11.381	7.616	5.080	4.042	4.621	6.278	10.342	5.647

Conforme descrito no item 4, quando foram calculadas as cargas decorrentes do afogamento da vegetação para os dois reservatórios, a operação de enchimento de ambos está prevista para o mês de novembro. As exigências construtivas relacionadas a esta data permitem afirmar que ao será possível antecipar o início do enchimento — na verdade, os estudos de engenharia chegam a considerar a hipótese de haver um atraso de um mês nessa operação.

Assim, para os propósitos do presente trabalho, admitiu-se como condição básica início do enchimento dos reservatórios no mês de novembro, sabendo-se que um atraso nessa data conduziria a condições ambientais mais favoráveis, sob o ponto de vista da qualidade da água.

Como é interesse do estudo diagnosticar também os efeitos sinérgicos entre os dois reservatórios e também o desempenho do sistema em condições operativas, após a estabilização da biomassa, foram simulados, no total, cinco cenários prospectivos, a seguir descritos.

- Cenário 1 Enchimento do reservatório de Jirau, implantado em primeira adição, recebendo as cargas decorrentes da biomassa afogada;
- Cenário 2 Enchimento do reservatório de Santo Antônio, implantado em primeira adição, recebendo as cargas decorrentes da biomassa afogada;



Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatório do Rio Madeira

- Cenário 3 Enchimento do reservatório de Jirau, implantado em segunda adição (Santo Antônio já estabilizado), recebendo as cargas decorrentes da biomassa afogada;
- Cenário 4 Enchimento do reservatório de Santo Antônio implantado em segunda adição (Jirau já estabilizado), recebendo as cargas decorrentes da biomassa afogada;
- Cenário 5 Operação com ambos os reservatórios implantados e já estabilizados (condição operativa).

6.2. RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES DO QUAL2E

Para os cinco cenários descritos no item anterior, foi simulada a evolução da qualidade da água do rio Madeira ao longo de todo o estirão de interesse, tendo sido dada ênfase no balanço entre oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio (auto depuração) e nas concentrações de fósforo e nitrogênio (nutrientes).

O estudo do enchimento do reservatório do AHE Jirau exige a realização de três simulações, já que se processará em três etapas, conforme descrito anteriormente, não sendo possível estabelecer a priori qual delas será a crítica. Assim, os dois primeiros cenários deeram origem a 6 simulações de qualidade da água. Os cenários restantes correspondem cada um a uma simulação, de forma que no total foram realizadas 9 simulações de qualidade da água no rio Madeira.

Os resultados obtidos são apresentados em forma de gráficos, sendo os valores numéricos de maior importância discutidos individualmente.

6.2.1. Cenário 1 – Enchimento do Reservatório de Jirau em Primeira Adição

As Figuras 6.2 a 6.4 resumem os resultados obtidos nas simulações do cenário 1, considerando-se as três fases do enchimento do reservatório de Jirau. Observa-se uma depleção significativa nos níveis de oxigênio dissolvido dentro do reservatório na primeira fase da operação de enchimento, com as concentrações chegando a valores inferiores a 3 mg/l. Nas duas fases subseqüentes, como as vazões em trânsito já são maiores, as concentrações mínimas de OD ficam um pouco maiores, apesar das cargas lançadas serem também mais elevadas.

Conforme será visto mais adiante, na análise do Cenário 5 (operativo), o trecho do rio Madeira afogado pelo reservatório de Jirau apresenta grande número de corredeiras que, no mês de novembro, quando as vazões são mais baixas, propiciam condições excelentes de reaeração, ajudando a manter elevados os níveis de oxigênio dissolvido. Com a implantação do reservatório, e o conseqüente afogamento das corredeiras, este efeito deixa de existir. No caso do Cenário 1, aqui analisado, existe ainda a elevada carga de DBO associada com o afogamento da biomassa, que concorre para reduzir ainda mais as concentrações de oxigênio dissolvido no reservatório.



Nas três fases do Cenário 1, observa-se que há uma grande recuperação dos níveis de OD a jusante da barragem de Jirau, efeito provocado pela turbulência das vazões vertidas. Durante o enchimento, a maior parte da vazão descarregada para jusante passa pelo vertedouro, pois existem ainda poucas unidades geradoras instaladas e, via de regra, as unidades que já podem operar encontram-se ainda em fase de comissionamento.

Figura 6.2

Cenário 1 – Fase 1

Enchimento do Reservatório de Jirau (1ª Adição) Até a Cota 85,00 m – Novembro

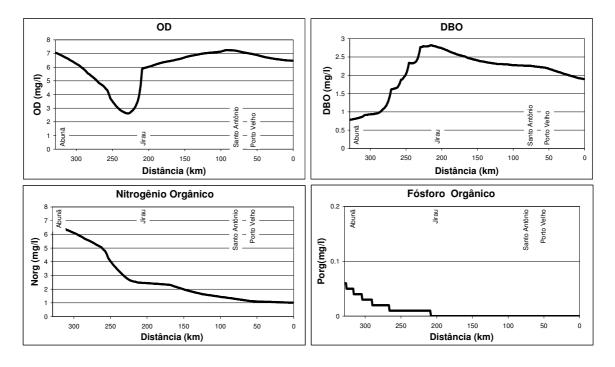




Figura 6.3 Cenário 1 – Fase 2 Enchimento do Reservatório de Jirau (1ª Adição) Até a Cota 87,50 m – Dezembro

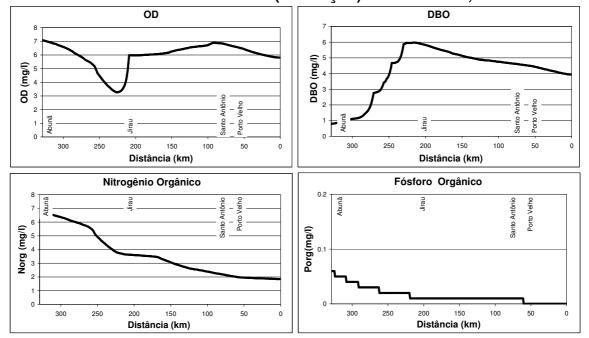
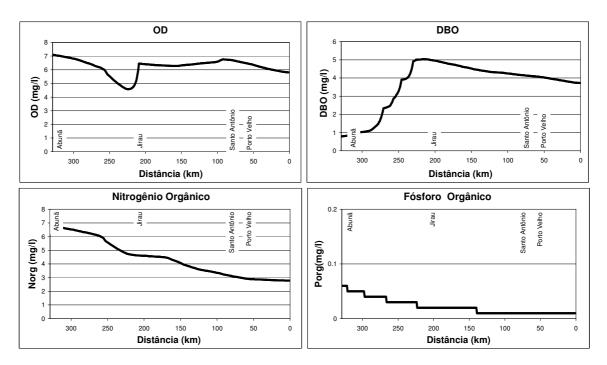


Figura 6.4
Cenário 1 – Fase 3
Enchimento do Reservatório de Jirau (1ª Adição) Até a Cota 90,00 m – Janeiro





6.2.2. Cenário 2 - Enchimento do Reservatório de Jirau em Segunda Adição

As Figuras 6.5 a 6.7 resumem os resultados obtidos nas simulações do cenário 2, considerando-se as três fases do enchimento do reservatório de Jirau, agora com o reservatório de Santo Antônio implantado e já estabilizado. Este Cenário acrescenta ao anterior uma condição desfavorável que é a redução da capacidade de reaeração do trecho correspondente ao reservatório de Santo Antônio. Como as cargas produzidas pela biomassa afogada são as mesmas que as do Cenário 1, as concentrações de OD a jusante de Jirau passam a ser mais baixas que no caso anterior.

Observa-se que, no mês de janeiro, apesar da vazão em trânsito ser maior que nos dois meses anteriores, os níveis de OD dentro do reservatório de Santo Antônio apresentam redução significativa, caindo abaixo dos 5,0 mg/l. Esta condição repercute ainda a jusante, com as concentrações de OD ficando próximas de 5 mg/l no final do trecho, a jusante de Porto Velho.

Figura 6.5
Cenário 2 – Fase 1
Enchimento do Reservatório de Jirau (2ª Adição) Até a Cota 85,00 m – Novembro

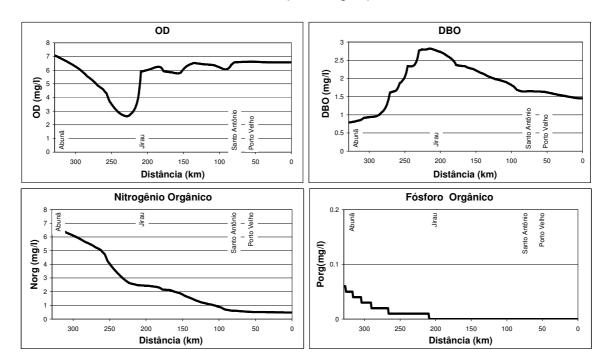




Figura 6.6 Cenário 2 – Fase 2 Enchimento do Reservatório de Jirau (2ª Adição) Até a Cota 87,50 m – Dezembro

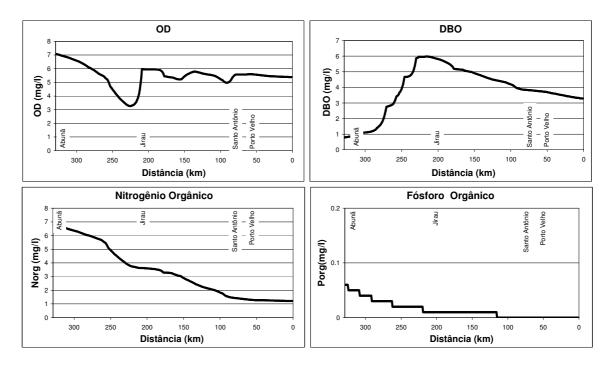
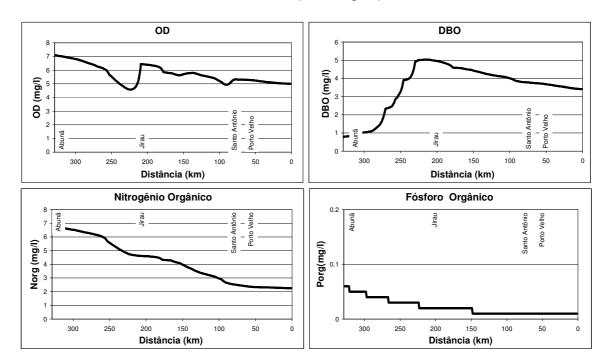


Figura 6.7 Cenário 2 – Fase 3 Enchimento do Reservatório de Jirau (2ª Adição) Até a Cota 90,00 m – Janeiro

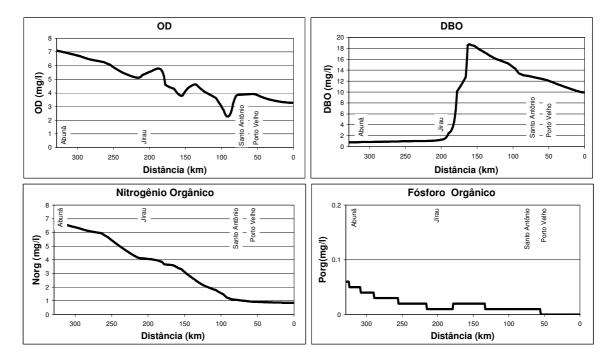




6.2.3. Cenário 3 – Enchimento do Reservatório de Santo Antônio em Primeira Adição

A Figuras 6.8 resume os resultados obtidos nas simulações do cenário 3, considerando-se o enchimento do reservatório de Santo Antônio. Observa-se as concentrações de DBO alcançam o valor máximo de 19 mg/l no trecho médio do reservatório, enquanto que as maiores depleções de oxigênio dissolvido ocorrem junto à barragem, com cerca de 2,3 mg/l. A recuperação de oxigênio dissolvido observada a jusante da barragem se deve à reaeração localizada propiciada pelo vertedouro, já que nessa fase de enchimento o fluxo para jusante é controlado pelo mesmo. No final do trecho simulado ainda se notam os efeitos da grande orgânica introduzida no sistema e ainda não estabilizada — as concentrações de OD neste ponto, em torno de 3,3 mg/l, já dão mostras de recuperação. Apesar da biomassa total afogada pelo reservatório de Santo Antônio ser menor que a do reservatório de Jirau, o processo de enchimento é realizado em uma etapa única, com duração de 7,5 dias, acarretando a solubilização de uma maior carga de carbono oxidável, cuja estabilização demanda maior quantidade de oxigênio.

Figura 6.8 Cenário 3 Enchimento do Reservatório de Santo Antônio Em Primeira Adição – Novembro



6.2.4. Cenário 4 – Enchimento do Reservatório de Santo Antônio em Segunda Adição

A Figuras 6.9 resume os resultados obtidos nas simulações do cenário 4, considerandose o enchimento do reservatório de Santo Antônio, agora com o reservatório de Jirau implantado e já estabilizado. Apesar da presença do reservatório de Jirau a montante, este cenário não apresentou qualidade da água inferior que o cenário anterior. Se, por um lado, o reservatório de Jirau libera menores concentrações de OD para jusante, libera também, depois de estabilizado, menores teores de fósforo e nitrogênio, limitando a

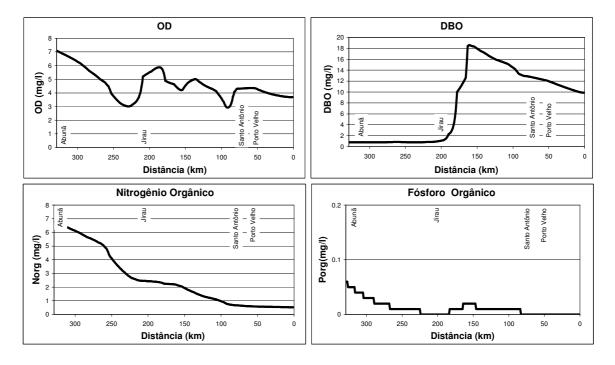


atividade biológica no reservatório de jusante. Com isso, a depleção de oxigênio dissolvido fica ligeiramente menor que no cenário anterior.

As diferenças porém são pequenas e os resultados são afetados por imprecisões nas premissas de simulação, como não considerar carga de sedimentos (que deve aumentar com o reservatório, mesmo estabilizado.

Os resultados da simulação, portanto, não permitiram distinguir com clareza os efeitos da presença do reservatório de Jirau sobre o enchimento de Santo Antônio, ou seja, não foi possível diferenciar, com segurança, os efeitos da implantação de Santo Antônio em primeira ou segunda adição.

Figura 6.9 Cenário 4 Enchimento do Reservatório de Santo Antônio Em Segunda Adição – Novembro



6.2.5. Cenário 5 – Qualidade da Água dos Dois Reservatórios em Condições Operativas

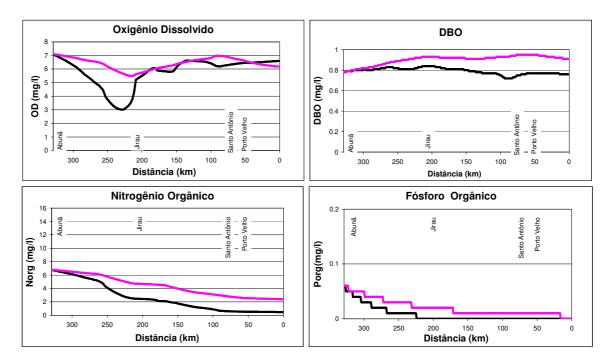
A Figura 6.10 resume os resultados obtidos nas simulações do cenário 5, que contempla a qualidade da água do rio Madeira com vazão em trânsito correspondente à observada durante a campanha de monitoramento, período de novembro de 2003 – enchente. Neste Cenário, admite-se a presença dos dois reservatórios com a biomassa afogada já estabilizada – computa-se apenas a diferença introduzida pelos reservatórios sobre a capacidade de autodepuração do rio Madeira.

A Figura 6.10 mostra também a simulação em condições naturais (linhas cor-de-rosa), permitindo que se perceba as diferenças mais marcantes de qualidade da água.



A modificação mais significativa foi a redução da capacidade de reaeração em Jirau, que é o reservatório mais profundo, trazendo como conseqüência uma maior depleção nas concentrações de oxigênio. Nota-se também nesses resultados as conseqüências de maior consumo de nutrientes, com os índices de fósforo e nitrogênio sendo reduzidos em Jirau, juntamente com a DBO consumida.

Figura 6.10 Cenário 5 Operação dos Dois Reservatórios Já Estabilizados



6.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

As simulações realizadas permitiram avaliar o impacto da implantação dos Aproveitamentos de Jirau e Santo Antônio sobre a qualidade da água do rio Madeira, considerando os efeitos sinérgicos entre os dois reservatórios, tanto durante a fase de enchimento quanto na fase operativa, mais tarde.

As alterações na qualidade da água provocadas pelo enchimento do reservatório de Jirau são muito atenuadas pelo fato da operação ser executada em três fases, em atendimento à regra operativa definida nos Estudos de Viabilidade. A introdução das cargas decorrentes da biomassa afogada é feita de forma gradual, resultando numa redução dos impactos potencias sobre a qualidade da água. Mesmo assim, foi simulada uma grande depleção nos índices de oxigênio dissolvido dentro do reservatório de Jirau.

O rio Madeira a jusante de Jirau apresentou excelente capacidade de recuperação, de forma que a qualidade da água não ficou comprometida pelo enchimento do reservatório, mesmo em segunda adição.



Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatório do Rio Madeira

Já o enchimento do reservatório de Santo Antônio, executado em uma única etapa, apresentou conseqüências mais visíveis sobre a qualidade da água do rio Madeira, efeito que se propagou para jusante da barragem, cobrindo todo o estirão simulado (até a confluência com o rio Jamarí). Nas simulações de enchimento em segunda adição os resultados foram ligeiramente melhores, possivelmente devido ao efeito estabilizador do reservatório de Jirau, depois de consumida a biomassa de oxidação mais rápida, conforme já discutido.

As concentrações de oxigênio a jusante da barragem de Santo Antônio atingiram níveis potencialmente críticos, abaixo de 3,0 mg/l, na fase de enchimento.

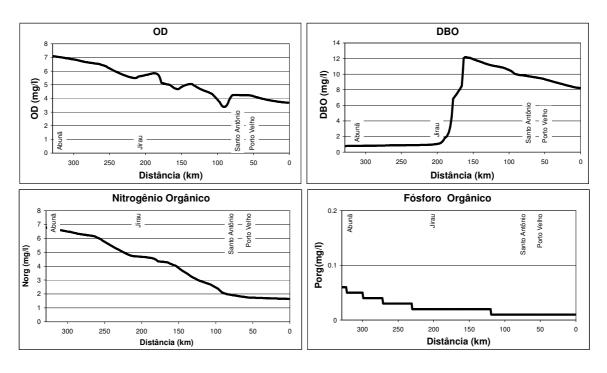
Buscando avaliar melhor o enchimento do reservatório de Santo Antônio, foi feita a simulação de um Cenário 3 Alternativo, admitindo que o enchimento fosse adiado para o mês de dezembro, quando as vazões em trânsito ficam maiores. A Figura 6.11 apresenta o resultado dessa simulação.

Pode-se ver, comparando a Figura 6.11 com a Figura 6.8, que houve uma pequena melhora nas concentrações de OD, tanto dentro do reservatório quanto a jusante da barragem, revelando que esta pode ser uma possível medida mitigadora para este impacto.

Outra possibilidade, que não foi simulada por falta de informações adequadas, seria dividir o enchimento de Santo Antônio em duas etapas, de forma similar ao que ocorre com Jirau.



Figura 6.11
Cenário 3 Alternativo
Enchimento do Reservatório de Santo Antônio (1ª Adição) Até a Cota 70,00 m
Análise da Transferência do Enchimento Para Dezembro





7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES



7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Foi realizada uma modelagem da qualidade da água ao longo do estirão do rio Madeira compreendido entre sua confluência com o rio Abunã, onde se inicia o reservatório do futuro AHE Jirau, e sua confluência com o rio Jamarí, cerca de 80 km a jusante do local previsto para implantação do AHE Santo Antônio.

O objetivo principal desta modelagem foi prognosticar as alterações de qualidade da água do rio Madeira provocadas pela implantação dos dois aproveitamentos, considerando sua seqüência de implantação e os efeitos sinérgicos associados. O trabalho procurou seguir o escopo estabelecido no Termo de Referência preparado pelo IBAMA, de acordo com o texto transcrito na introdução deste relatório.

Buscando encerrar as informações e análises realizadas em um único documento, e com isso evitar consultas desnecessárias, foi feita a reprodução de alguns trechos da Referência 1 necessários para a caracterização geral da qualidade da água atual do rio Madeira.

Os dois reservatórios a serem implantados apresentam características de corpos d'água de comportamento essencialmente fluvial, existindo poucos, mas importantes, trechos com escoamento de baixas velocidades. Mais que isso, as diferenças entre as velocidades de escoamento naturais e aquelas que ocorrerão após a implantação dos reservatórios são pequenas, de forma que os tempos de residência da água serão curtos, da ordem de horas ou poucos dias, mesmo durante as estiagens.

Por este motivo, adotou-se uma metodologia de modelagem de qualidade da água típica de rios, tendo-se empregado nos estudos o modelo QUAL2E, desenvolvido pela EPA – Environmental Protection Agency para simulação de qualidade da água de rios e estuários.

Os aspectos ambientais mais importantes decorrentes da implantação dos empreendimentos, sob o ponto de vista da qualidade da água do rio Madeira, e que nortearam o desenvolvimento dos estudos aqui apresentados, são:

- A presença dos reservatórios irá reduzir substancialmente a capacidade de reaeração do curso d'água, em virtude do afogamento de algumas cachoeiras existentes, responsáveis por criar condições localizadas de super-saturação de oxigênio dissolvido; e
- A grande quantidade de biomassa existente na área dos futuros reservatórios poderá provocar condições de qualidade da água críticas em determinados trechos dos reservatórios, durante o período de enchimento e no início de operação.

Na modelagem, procurou-se enfatizar o período de enchimento dos dois reservatórios, justamente por ser o momento em que as maiores cargas poderiam ser introduzidas no sistema, devido ao afogamento da vegetação existente na área inundada. Admitiu-se nas simulações, que toda a vegetação existente seria afogada, hipótese conservadora, mas condizente com o momento atual, de análise de viabilidade ambiental dos empreendimentos. Em estudos futuros, dispondo-se de um modelo mais elaborado espacialmente (bi-dimensional, pelo menos), será possível estudar estratégias de



supressão da vegetação existente, localizadas ou não, buscando minimizar os efeitos indesejáveis de seu afogamento pelo reservatório.

Os principais resultados obtidos nas análises permitiram extrair as conclusões apresentadas a seguir.

7.1 Período de Implantação dos Empreendimentos

7.1.1 AHE Jirau em Primeira Adição

A implantação do reservatório do AHE Jirau será feita em três etapas, em virtude de sua regra operativa, que determina níveis d'água variáveis mês a mês. Por esse motivo, a introdução das cargas decorrentes do afogamento da biomassa será gradual, sendo que a maior parcela dessa carga será incorporada no mês de janeiro, quando as vazões em trânsito são incrementadas.

Sob o ponto de vista do oxigênio dissolvido, a fase mais crítica será a primeira, no mês de novembro, quando do enchimento do reservatório até a El. 85,00 m. Com vazão de diluição mais baixa nesse mês (6.200 m³/s), a concentração de oxigênio dissolvido sofre uma depleção para valores reduzidos, porém próximos aos 3 mg/L.

Nos meses de dezembro e janeiro, mesmo que as cargas de DBO alcancem valores significativamente maiores, os níveis mínimos de OD superam essa marca (3 mg/L).

Como durante o enchimento do reservatório as vazões liberadas para jusante passam necessariamente pelo vertedouro, já que nessa ocasião os equipamentos já instalados encontram-se em fase de comissionamento, existe uma condição de oxigenação das águas favorável na saída do reservatório, de forma que a água será restituída para jusante em boas condições de qualidade.

7.1.2 AHE Jirau em Segunda Adição

Caso o AHE Jirau venha a ser implantado com o AHE Santo Antônio já em operação, o cenário analisado no item precedente sofre uma ligeira modificação, porque as condições de autodepuração do rio Madeira ficam diminuídas pela redução das velocidades e afogamento das corredeiras existentes a jusante do AHE Jirau.

Entretanto, como as condições de qualidade da água restituída do reservatório de Jirau serão boas, conforme descrito anteriormente, não se espera alterações significativas no corpo do reservatório do AHE Santo Antônio, nem a jusante, em nenhuma das três etapas de enchimento do reservatório do AHE Jirau.

7.1.3 AHE Santo Antônio em Primeira Adição

A implantação do reservatório do AHE Santo Antônio deverá ser feita em uma única etapa, no mês de novembro, de forma que toda a biomassa afogada ficará disponibilizada para solubilização em sete dias e meio ou menos, com 90% de garantia. Essas condições



são muito mais rigorosas, do ponto de vista da qualidade da água, que as provocadas pelo enchimento de Jirau.

Como conseqüência da incorporação de toda essa biomassa em uma única etapa, os níveis de oxigênio dissolvido dentro do reservatório podem cair a valores na faixa de 2 a 3 mg/L. Mesmo tendo havido aumento nos teores de oxigênio, a água restituída para jusante ainda pode apresentar concentrações de OD de 4,0 mg/L, portanto baixa, e DBO ainda acima de 10 mg/L, que resultaria em nova depleção de OD no estirão do rio Madeira a jusante deste aproveitamento, nos primeiros quilômetros. As concentrações de OD no estirão de jusante podem cair até valores próximos a 3,0 mg/L, dando indicações de estabilização, para posterior recuperação, no limite inferior do trecho estudado.

Como o enchimento do AHE Santo Antônio ocorre no pico do período de migração ascendente e desova das espécies de peixes que realizam grandes migrações, essa grande queda nos valores de OD a jusante da barragem poderá interferir nesse processo, ocasionando uma falha na desova e/ou no desenvolvimento inicial dos ovos e larvas, e afetando os estoques pesqueiros e a pesca. É importante salientar que esse efeito não será perceptível no primeiro nem no segundo ano, pois os "indivíduos que não nasceram" só atingiriam tamanhos de captura pela pesca comercial em três a seis anos, dependendo da espécie.

7.1.4 AHE Santo Antônio em Segunda Adição

Caso o AHE Santo Antônio venha a ser implantado após a formação e estabilização do reservatório de Jirau, as condições de qualidade da água resultantes do afogamento da biomassa ficam ligeiramente alteradas em relação às decorrentes da implantação em primeira adição. Os níveis de OD no reservatório caem até à faixa de 3 mg/L, se recuperando até valores na faixa entre 4 a 5 mg/L quando a água é restituída a jusante (devido ao efeito benéfico do vertedouro nessa fase de enchimento).

As melhores condições de OD verificadas no reservatório de Santo Antônio e a jusante, durante o enchimento em segunda adição, quando comparadas às condições decorrentes do enchimento em primeira adição, se devem, provavelmente, ao maior consumo de nitrogênio ocorrido no reservatório de Jirau, que reduz a demanda nitrogenada a jusante.

A implantação do AHE Santo Antônio em segunda adição é menos impactante, portanto, que sua implantação em primeira adição.

O efeito sobre os estoques de peixes se reduzem com o incremento das taxas de OD.

7.2 Período de Operação dos Empreendimentos

O perfil de qualidade da água do rio Madeira, após a implantação dos aproveitamentos de Jirau e Santo Antônio e a estabilização da biomassa afogada, será alterado principalmente no interior do reservatório de Jirau, onde a redução da capacidade de



reaeração é mais significativa, devido ao grande número de cachoeiras e corredeiras afogadas. Com isso, o equilíbrio hoje existente, com os níveis de saturação do oxigênio na faixa de 70% a 80% ficará alterado ocorrendo uma depleção nos níveis de OD, como analisado acima, para estabilizar a carga de background do rio Madeira.

Estes resultados são menos precisos que os apresentados na fase de enchimento do reservatório, porque a carga de background foi estabelecida por calibração com base em dados pontuais cobrindo um ano hidrológico e, praticamente, um único ponto amostral. Para melhor conhecimento dessa carga e, consequentemente, melhor representação da mesma na modelagem, seria necessário estudar melhor sua origem, para inclusive discutir sua evolução diante da implantação dos reservatórios. Nessa fase dos estudos, a mesma carga de background identificada por calibração nas condições atuais foi aplicada à condição futura, com reservatórios.

Os resultados da modelagem indicam, portanto, que durante a fase operativa dos empreendimentos poderá ocorrer, nos meses de estiagem, uma diminuição dos níveis de OD no reservatório de Jirau, sendo os níveis normais recuperados na saída do reservatório e no trecho inicial (mais raso) do reservatório de Santo Antônio.

Salienta-se que outros rios de águas brancas da planície amazônica, que não têm sistemas de corredeiras que proporcionam uma relevante aeração física, possuem níveis de saturação da ordem dos níveis previstos pelo modelo, para a fase de operação do complexo em estudo.

7.2 Recomendações

As alterações de qualidade da água do rio Madeira esperadas em decorrência da implantação e operação dos reservatórios de Jirau e Santo Antônio, considerando-se os resultados dos estudos ora apresentados, são de magnitude moderada e, a maior parte das alterações detectadas na modelagem ocorrem durante o enchimento, sendo, portanto, temporárias. Com relação à mitigação dessas alterações pode-se recomendar:

- Realizar a supressão da vegetação da área inundada do reservatório de Santo Antônio, de forma a minimizar a carga associada à biomassa afogada. Salienta-se que essa medida poderá limitar a instalação de peixes no reservatório devido, principalmente, à falta de abrigo.
- Para o reservatório de Jirau, realizar pelo menos uma limpeza seletiva da vegetação da área a ser inundada, localizada principalmente ao longo dos afluentes afogados e nos bolsões e zonas estagnadas que se formam lateralmente ao reservatório devido à irregularidade de suas margens;



Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatório do Rio Madeira

 Proceder o enchimento do reservatório de Santo Antônio em duas ou mais etapas, como acontecerá em Jirau, de modo a promover a introdução mais lenta da carga decorrente da biomassa inundada.

Estas medidas podem ser programadas isoladamente ou de forma complementar, devendo ser realizadas simulações para avaliação da eficácia das mesmas.

Com relação à precisão e confiabilidade dos resultados da modelagem recomenda-se o aprofundamento dos estudos realizados até o presente, incluindo:

- Continuidade das campanhas de amostragem de qualidade da água, buscando aperfeiçoar os parâmetros já medidos e incluir novos parâmetros adequados para subsidiar novos estudos e modelagens.
- Aprofundamento da modelagem realizada de modo a incorporar as novas medições disponibilizadas e as análises das mesmas.
- Realização de modelagem específica dos bolsões laterais dos reservatórios para caracterizar a qualidade da água dos mesmos. Muitas dessas áreas já são alagadas anualmente, durante as cheias, podendo fornecer indicações preciosas sobre o que poderá vir a acontecer quando este alagamento ficar definitivo. Essa modelagem pode ser integrada à modelagem do corpo principal dos reservatórios (abordagem bidimensional), caso ocorram interações significativas.





8. REFERÊNCIAS



Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatório do Rio Madeira

- Referência 1 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.
- Referência 2 Diagnóstico do Uso da Terra e da Cobertura Vegetal das Áreas de Influência dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio – Leme Engenharia – Belo Horizonte – Fevereiro de 2005.
- Referência 3 Golterman, H. L., R. S. Clymo & M. A. Ohnstad. 1978. Methods for Physical and Chemical Analysis of Fresh Waters. 2nd ed. IBP Handbook n° 8. Blackwell Scientific Publications, Oxford. Edinburch London Melbourne. 214p.
- Referência 4 MacKereth, F. J. H., J. Heron & J. F. Talling. 1978. Water Analysis: Some Revised Methods for Limnologists. Freshwater Biological Association, Special Publication 36. 120p.
- Referência 5 APHA American Public Health Association. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 14a ed. Washington, DC. 1193 p.
- Referência 6 Esteves, F. A. 1998. Fundamentos de Limnologia. Interciência.
- Referência 7 Rai, H. & Hill, H. 1981. Physical and Chemical Studies of Lago Tupe, A Central Amazonian Black Water, Ria Lake. Int. Revue Ges. Hidrobiol.. 66I, 37-82.
- Referência 8 Water Resources Engineers Inc., 1969. Mathematical Model for Prediction of Thermal Energy Changes in Impoundments. US EPA 16130.
- Referência 9 Braga, B. e outros, 2002. Introdução à Engenharia Ambiental. Prentice Hall, São Paulo.
- Referência 10 Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira. PCE Engenharia, 2005.
- Referência 11 Brown, L. C. e T. ⁹ Barnwell Jr., The Enhanced Stream Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E-UNCAS: Documentation and User Manual. EPA/600/3-87/007, Athens, Ga, 1987.
- Referência 12 Lahlou, M., S. Chaudhury, Y.Wu, K. Baldwin and D. Boyton, QUAL2E Windows Interface User's Guide. EPA/823/B/95/003, 1995.
- Referência 13 BROWN, S., GILLESPIE, A.J.R. & LUGO, A.E. 1989. Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. Forest Science 35:881-902.
- Referência 14 Cardenas, J.D.R, 1982 Estudos de ecologia e controle ambiental na região do Reservatório da UHE de Samuel - segmento estimativa da fitomassa do convênio ELN/MCT/CNPq/INPA 01.07.82



Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatório do Rio Madeira

- Referência 15 Forattini, G. D. 1982. Aplicação e Calibração de Um Modelo de Qualidade de Água. Tese de Mestrado, UFRJ, COPPE.
- Referência 16 Chapra, S. C. 1997. Surface Water –Quality Modeling. WCB/McGraw-Hill.
- Referência 17 Fischer, H. B., List, E. J., Koh, R. C. Y., Imberger, J., and Brooks, N. H. 1979. Mixing in Inland and Coastal Waters. Academic, New York.
- Referência 18 .Tackston, E. L., Krenkel, P. A. 1969. Reaeration Prediction in Natural Streams. Journal of the Sanitary Engineering Division.