

ÍNDICE

<i>Item</i>	<i>Assunto</i>	<i>Página</i>
1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	1.1
1.1	INTRODUÇÃO	1.2
1.2	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO E ABORDAGEM GERAL	1.3
1.3	ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	1.5
2.	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO RIO MADEIRA E DO ESTIRÃO EM ESTUDO	2.1
2.1.	DESCRIÇÃO GERAL DA BACIA	2.2
2.2.	REGIME FLUVIAL DO RIO MADEIRA	2.4
2.3.	COMPORTAMENTO SEDIMENTOLÓGICO DO RIO MADEIRA	2.8
2.3.1.	<u>Aspectos Gerais</u>	2.8
2.3.2.	<u>Aspectos Geomorfológicos</u>	2.10
2.4.	VIAGEM DE INSPEÇÃO – DOCUMENTAÇÃO FOTOGRÁFICA	2.13
3.	ESTUDOS ANTERIORES E DADOS PRODUZIDOS	3.1
3.1.	DEFINIÇÃO DA SÉRIE DE VAZÕES MÉDIAS MENSAIS DO RIO MADEIRA	3.2
3.2.	MEDIÇÕES DE DESCARGA SÓLIDA E ELABORAÇÃO DE CURVAS-CHAVE DE SEDIMENTO	3.4
3.3.	ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTO NA BACIA	3.8
3.4.	CARACTERIZAÇÃO DA GRANULOMETRIA DO SEDIMENTO DO RIO MADEIRA	3.10
4.	CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DO ESTIRÃO FLUVIAL DE INTERESSE	4.1
4.1.	METODOLOGIA E CRITÉRIOS	4.2
4.2.	DADOS BÁSICOS	4.3
4.3.	CALIBRAÇÃO DO MODELO HEC-RAS	4.5
4.3.1	<u>Reservatório de Santo Antônio</u>	4.6
4.3.2	<u>Reservatório de Jirau</u>	4.6
4.4.	SIMULAÇÃO DOS PERFIS DE LINHA D'ÁGUA NOS DOIS TRECHOS SIMULADOS	4.7
4.4.1.	<u>Perfis do Trecho Correspondente ao Reservatório de Santo Antônio</u>	4.8
4.4.2.	<u>Perfis do Trecho Correspondente ao Reservatório de Jirau</u>	4.13
4.5.	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO HIDRÁULICO COM E SEM RESERVATÓRIO	4.18
5.	AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO DOS RESERVATÓRIOS	5.1
5.1.	INTRODUÇÃO	5.2
5.1.1.	<u>Dados Básicos</u>	5.2
5.1.2.	<u>Metodologia</u>	5.5
5.1.3.	<u>Aplicação do Modelo</u>	5.6

5.2.	ESTUDO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DE SANTO ANTÔNIO	5.9
5.2.1.	<u>Cálculo do Volume Assoreado</u>	5.9
5.2.2.	<u>Cálculo do Volume Assoreado no Pé da Barragem</u>	5.10
5.2.3.	<u>Análise dos Resultados</u>	5.13
5.3.	ESTUDO DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DE JIRAU	5.15
5.3.1.	<u>Cálculo do Volume Assoreado</u>	5.15
5.3.2.	<u>Cálculo do Volume Assoreado no Pé da Barragem</u>	5.19
5.3.3.	<u>Análise dos Resultados</u>	5.25
6.	MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA DO RIO MADEIRA	6.1
6.1	DESCRIÇÃO DO MODELO HEC-6	6.2
6.1.1.	<u>Introdução</u>	6.2
6.1.2.	<u>Bases Teóricas Para os Cálculos Hidráulicos</u>	6.3
6.1.3.	<u>Bases Teóricas Para os Cálculos Sedimentométricos</u>	6.5
6.1.4.	<u>Resultados Fornecidos Pelo Modelo HEC-6</u>	6.9
6.2.	DADOS DISPONÍVEIS PARA SIMULAÇÃO	6.9
6.2.1.	<u>Seções Transversais</u>	6.9
6.2.2.	<u>Parâmetros Hidráulicos</u>	6.12
6.2.3.	<u>Condições de Contorno</u>	6.12
6.2.4.	<u>Dados de Transporte de Sedimento – Curva-Chave de Sedimentos</u>	6.13
6.2.5.	<u>Caracterização do Material do Leito</u>	6.15
6.3.	PROCEDIMENTOS PARA AJUSTE DO MODELO	6.17
6.4.	DESCRIÇÃO DOS CASOS SIMULADOS	6.20
6.5.	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	6.21
6.5.1.	<u>Simulações Considerando um Condição Estabilizada de Produção de Sedimento no Rio Madeira</u>	6.23
6.5.2.	<u>Simulações Considerando um Crescimento de 2% ao Ano na Produção de Sedimento no Rio Madeira</u>	6.35
6.6.	ANÁLISE DOS RESULTADOS	6.47
6.6.1.	<u>Tendência Natural do Rio Madeira no Trecho em Estudo</u>	6.47
6.6.2.	<u>Balanço Sedimentológico</u>	6.49
6.6.3.	<u>Evolução do Sedimento Junto às Barragens</u>	6.51
6.6.4.	<u>Granulometria do Material Depositado</u>	6.52
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	7.1
8.	BIBLIOGRAFIA	8.1

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:

1. 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 carregados 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 Bolívia, 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.

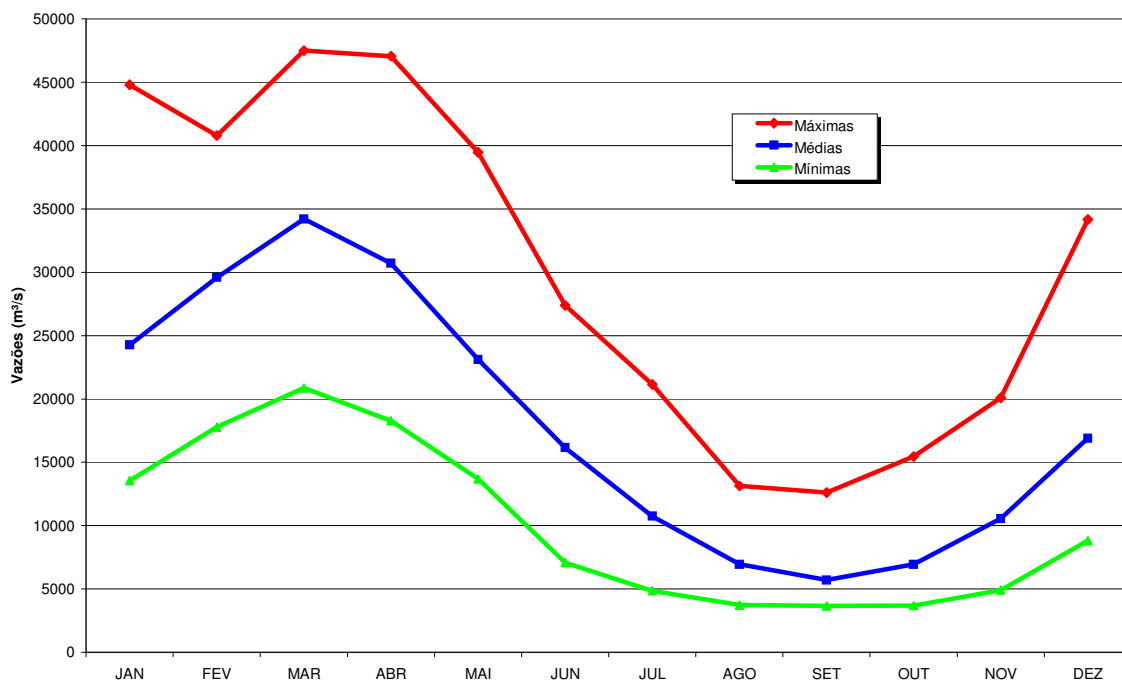
Em Porto Velho, o trimestre com maior vazão compreende os meses de fevereiro a abril. O mês com maior frequência de ocorrência do pico de cheia é o mês de março com 63 % (20 ocorrências em 32 eventos), seguido de abril com 34% (11 ocorrências em 32 eventos). Há registro de apenas um pico de cheia observado 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 frequentemente 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

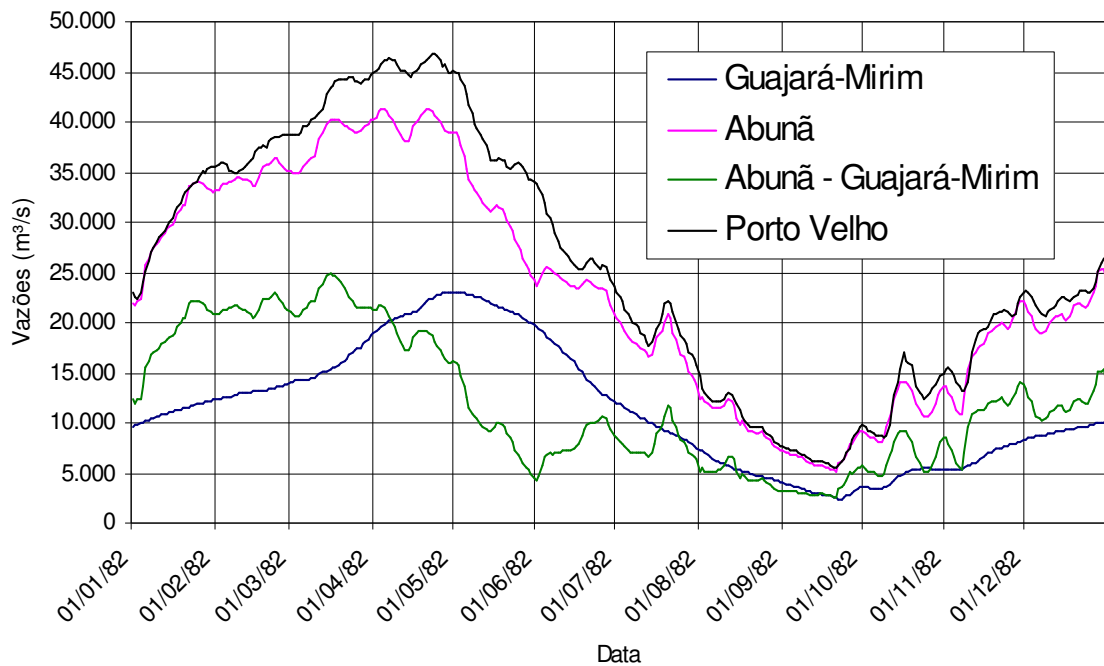


Figura 2.3
Rios Mamoré e Madeira
Hidrogramas de Vazões Médias Diárias - Período: 1984

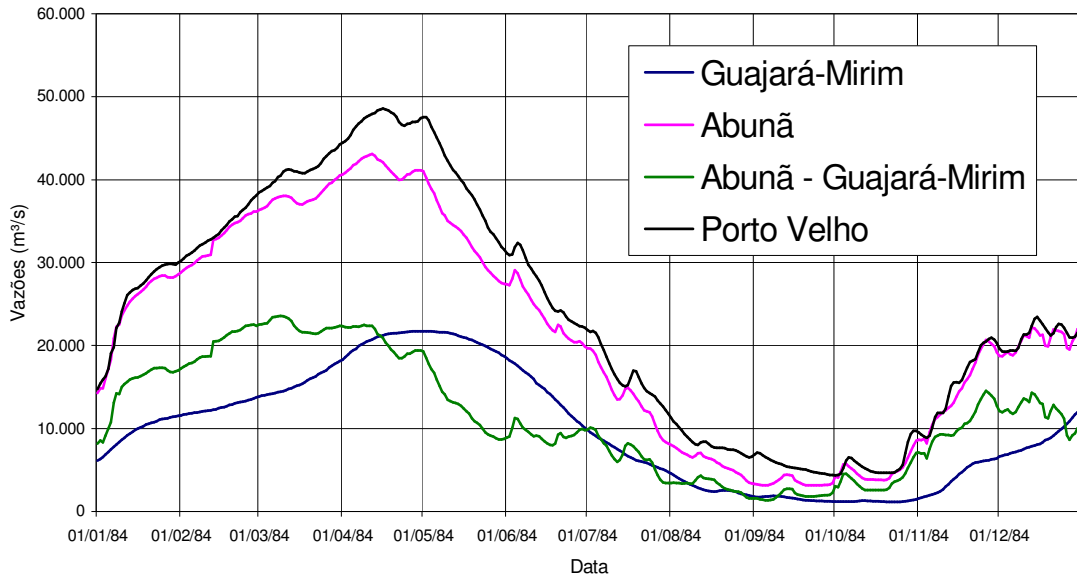
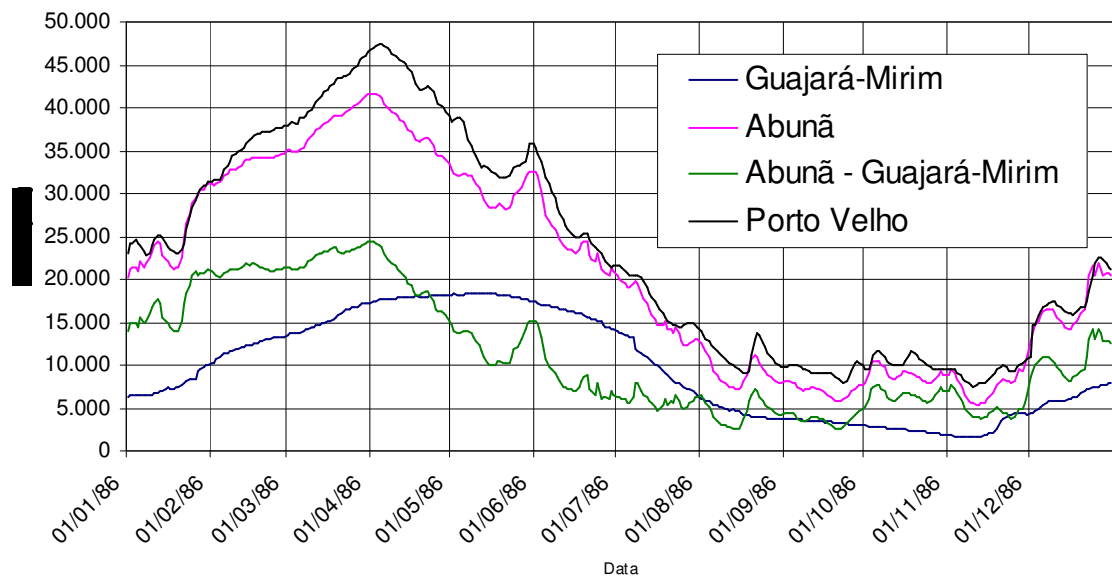


Figura 2.4
Rios Mamoré e Madeira
Hidrogramas de Vazões Médias Diárias - Período: 1986



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.



A precipitação na bacia contribuinte do rio Madeira não é homogênea. Na região andina, local onde os solos são descobertos e, conseqüentemente, 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	
	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.

Figura 2.7
Calha do Rio Beni, na Bolívia



2.3.2. Aspectos Geomorfológicos

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.

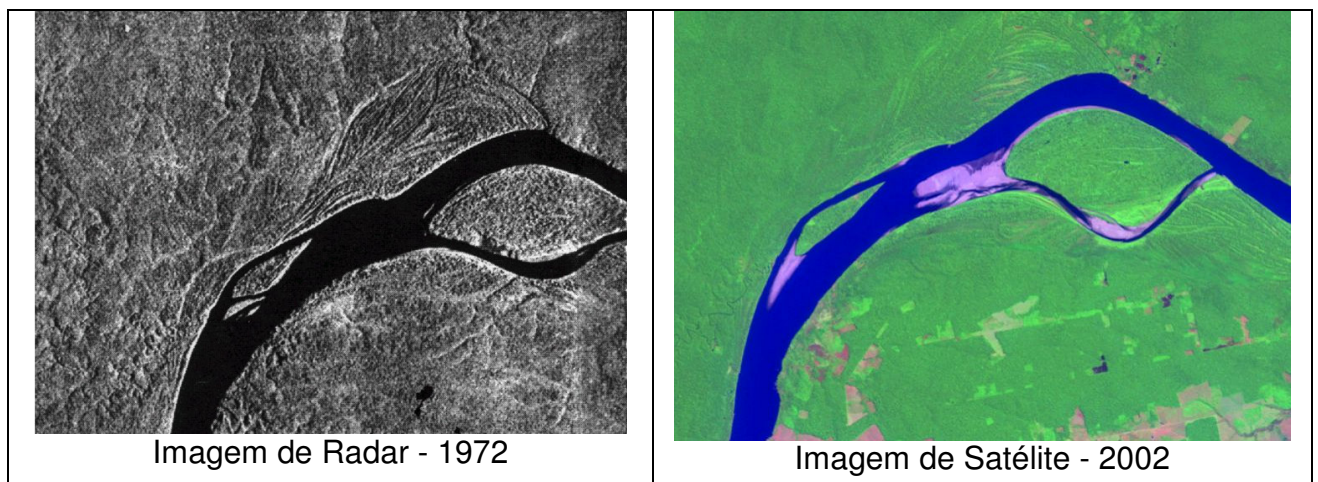
No trecho entre Abunã e Porto Velho, onde se situam os aproveitamentos, o perfil longitudinal do rio Madeira apresenta um aspecto em “degraus”, limitados pelas corredeiras (ou cachoeiras) que são características de falhas existentes, normais ao lineamento Madre de Dios – Itacoatiara. Essas falhas também 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.

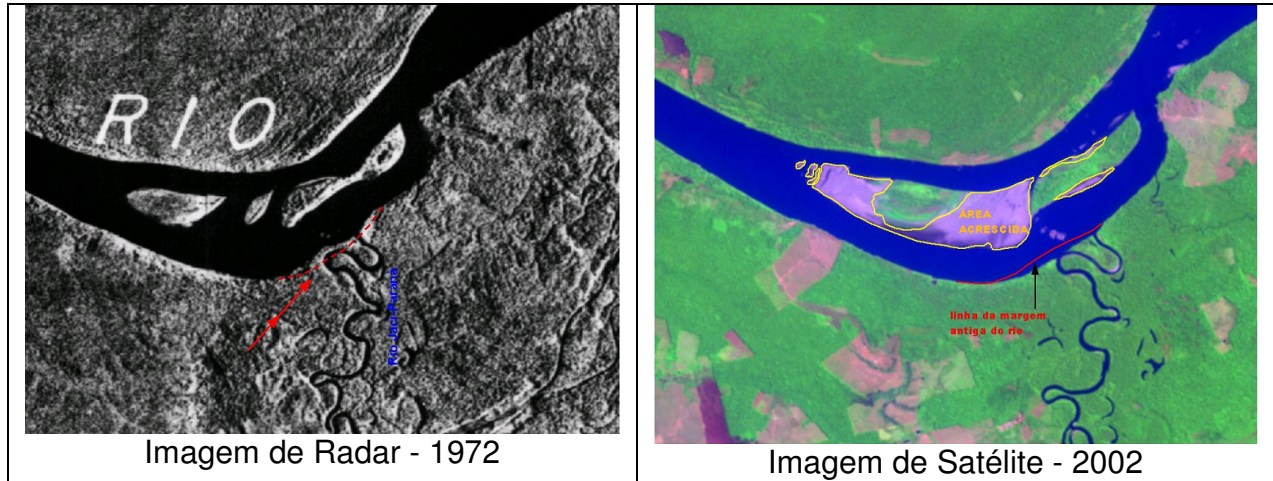
O primeiro par, apresentado na Figura 2.8, mostra um trecho situado logo a jusante da cachoeira do Jirau, entre as ilhas da Pedra e Santana, onde o rio Madeira apresenta uma deflexão para a direita. Percebe-se nessas fotos uma evolução do leito fluvial, com aumento da área das ilhas e vestígios claros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



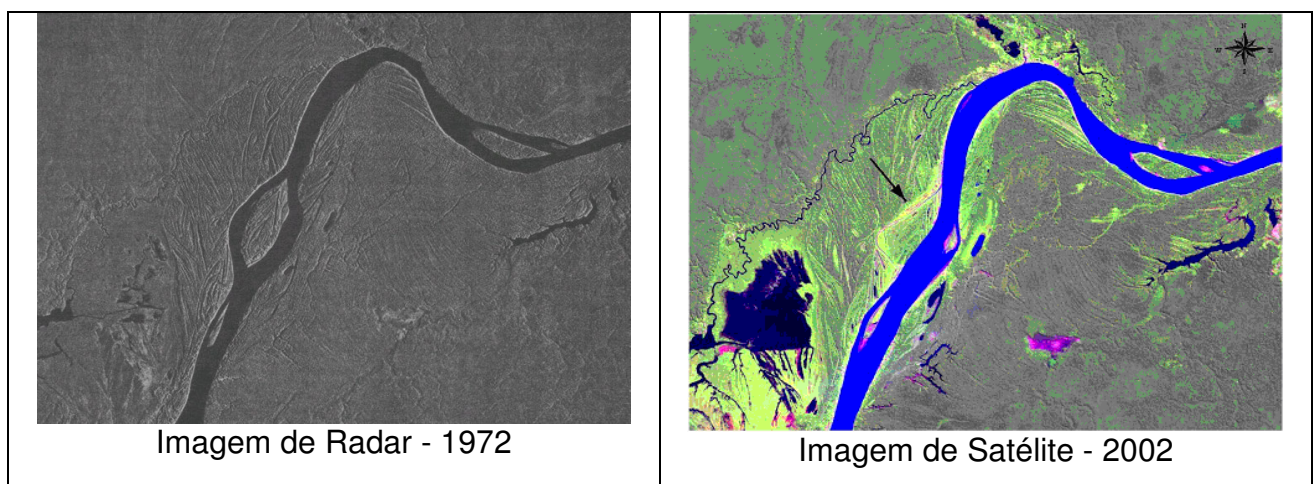
O segundo par é apresentado na Figura 2.9 e mostra a evolução do trecho do rio Madeira situado na confluência do rio Jaci-Paraná, um pouco mais a jusante do local do par anterior, e também dentro do futuro reservatório de Santo Antônio. Observa-se que o material depositado no trecho central da calha 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



**Depósito 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 carregado 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 tranqüilo, 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.



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	MÉDIA
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

Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDI A
1936	19.76 0	21.13 0	22.80 8	21.68 7	14.09 2	9.602	6.342	4.427	4.801	6.100	9.350	19.90 3	13.334
1937	38.49 7	27.95 2	39.48 9	29.48 7	23.87 0	15.50 8	10.41 6	7.128	6.723	8.065	10.80 8	14.12 9	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 3	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

Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

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 1	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 1	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 3	29.95 8	26.57 8	23.88 0	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	MÉDIA
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 0	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
MÁXIMA	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} m ³ /s	Concentração ppm	Q _{Sólida Suspensão} t/dia	Q _{Sólida Total} 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

Entidade	Data	Q _{Líquida} m ³ /s	Concentração ppm	Q _{Sólida Suspensão} t/dia	Q _{Sólida Total} t/dia
1	15/5/2002	21.698	520	974.567	-
2	17/5/2002	21.177	636	1.164.563	-

Estudos Sedimentológicos do Rio Madeira

Entidade	Data	Q_{Líquida} m³/s	Concentração ppm	Q_{Sólida Suspensão} t/dia	Q_{Sólida Total} 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 (m^3/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.

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

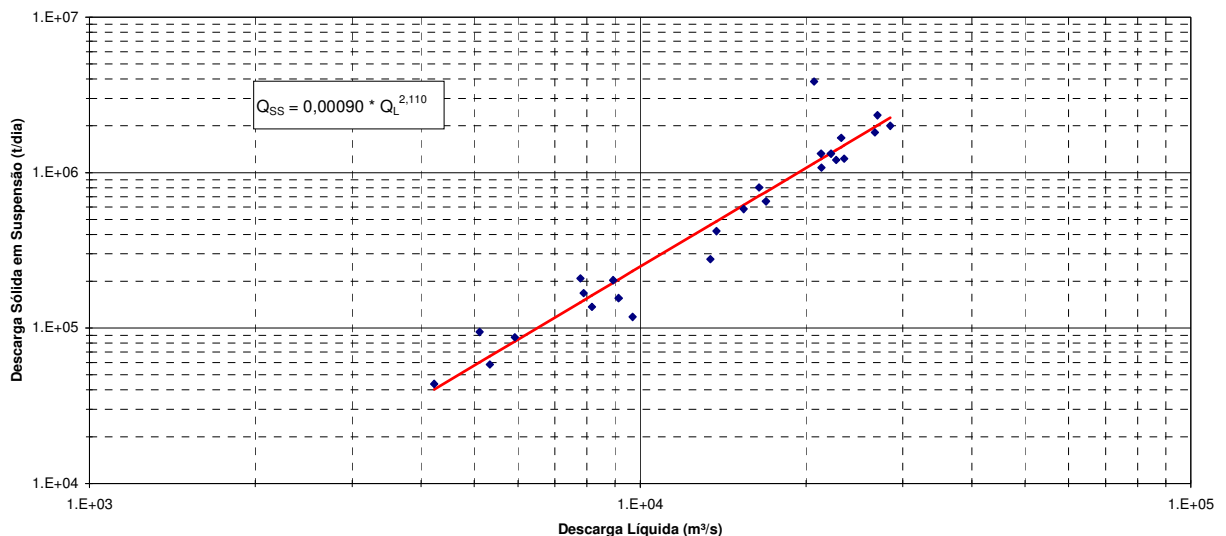
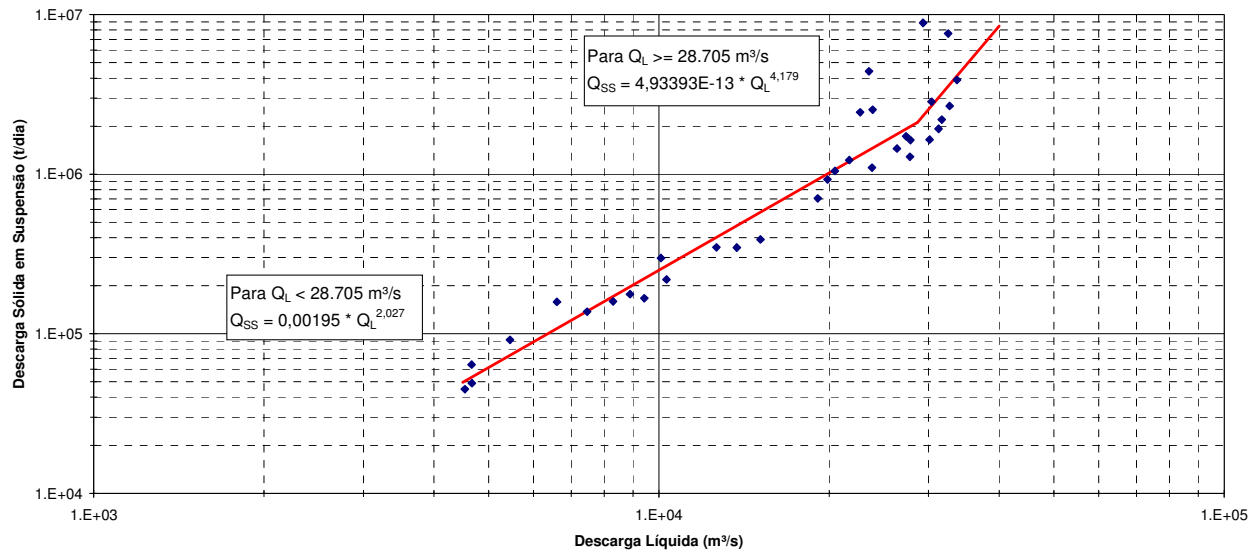


Figura 3.5
Curva-Chave de Sedimento do Rio Madeira em Porto Velho

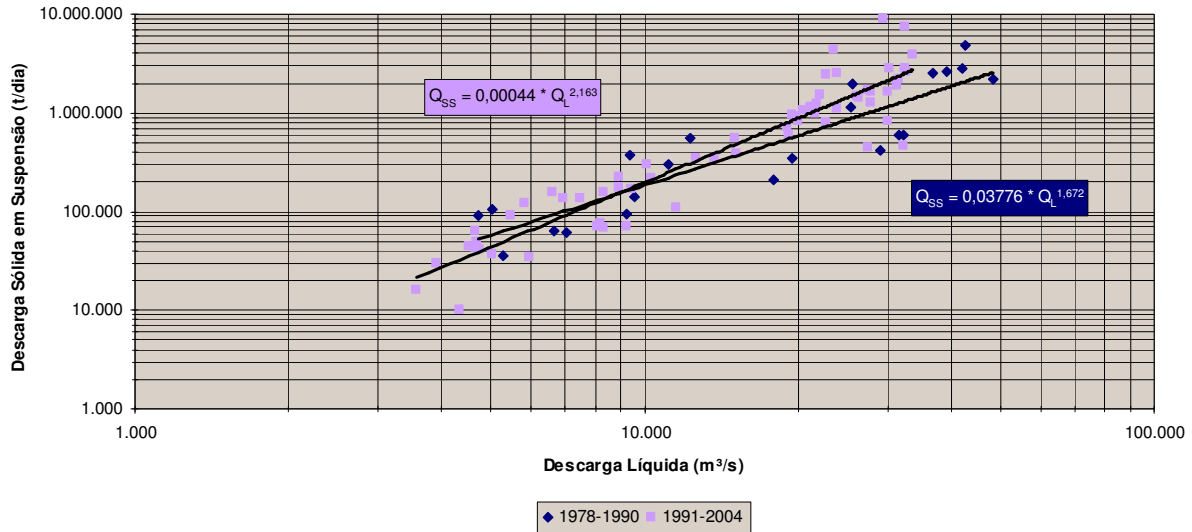


3.3. ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE SEDIMENTO NA BACIA

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.

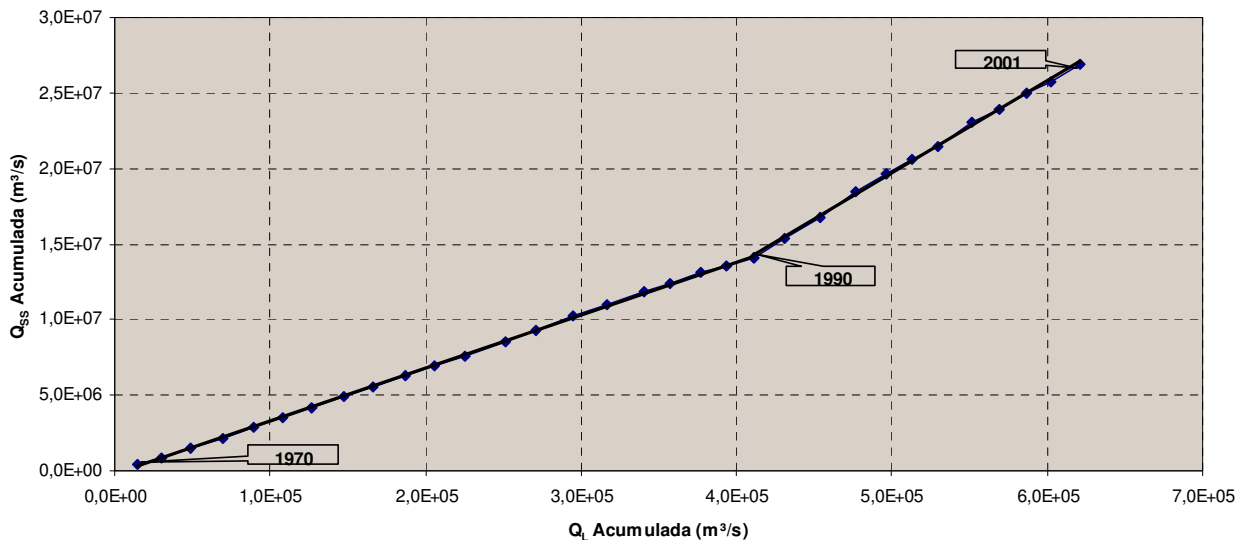
O estudo do aumento do transporte de sedimentos foi realizado com base nas medições de descargas sólidas e líquidas realizadas em Porto Velho (incluindo as medições da ANA, de FURNAS e da USGS) e na série de vazões médias mensais observadas no mesmo posto, que compreendem um período de 35 anos (de 1970 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 valor 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 Pc	% de Silte Pm	% de Areia	% do Total
			Ps	P
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

Seção	31/01/2003 - Q = 31.026 m ³ /s			28/02/2003 - Q = 29.869 m ³ /s		
	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

Seção	22/05/2002 - Q = 18.605 m ³ /s			28/02/2003 - Q=29.869 m ³ /s			31/01/2003 - Q=31.026 m ³ /s		
	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

Seção	Vazão (m ³ /s)							
	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

Seção	Vazão (m ³ /s)							
	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

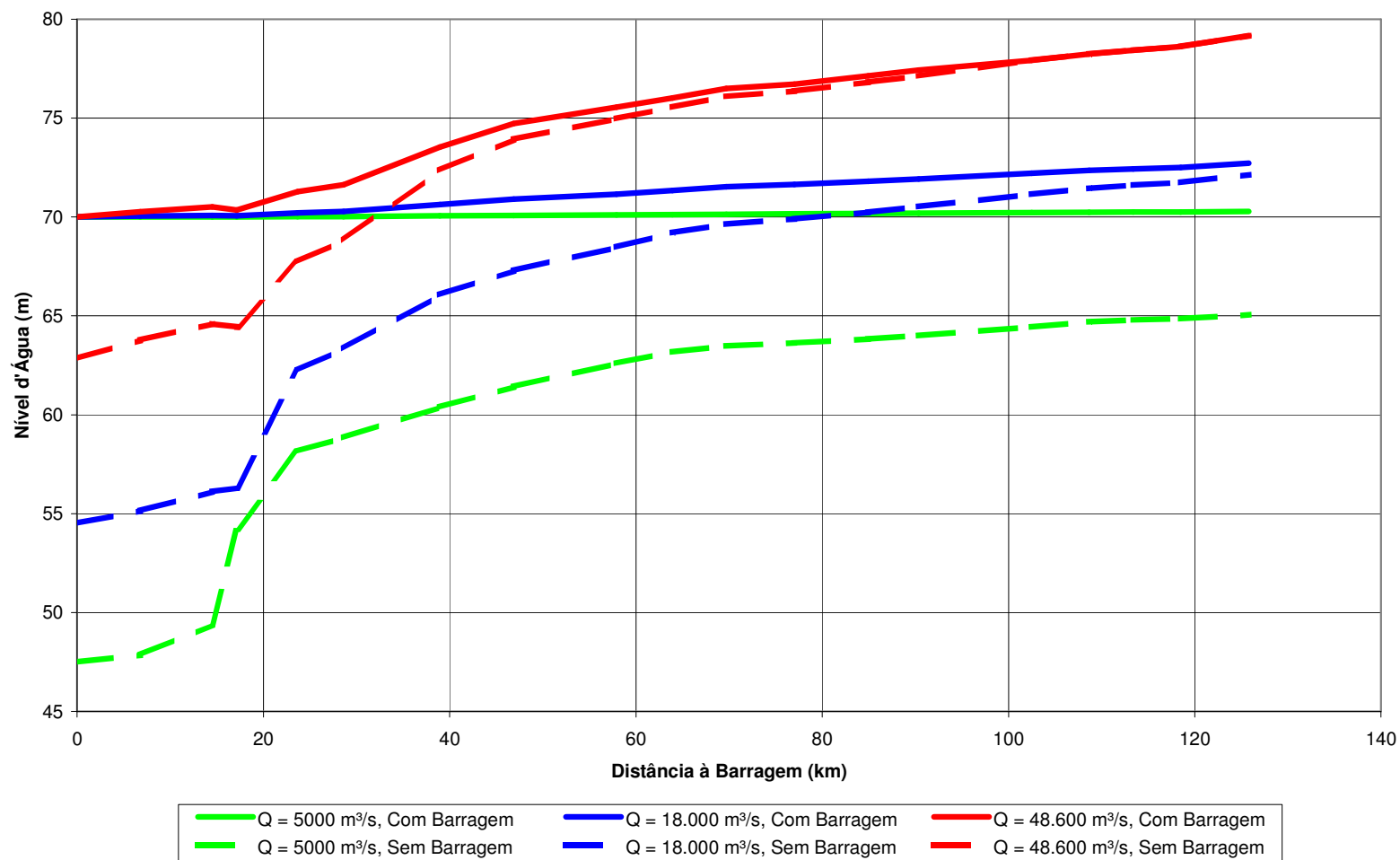
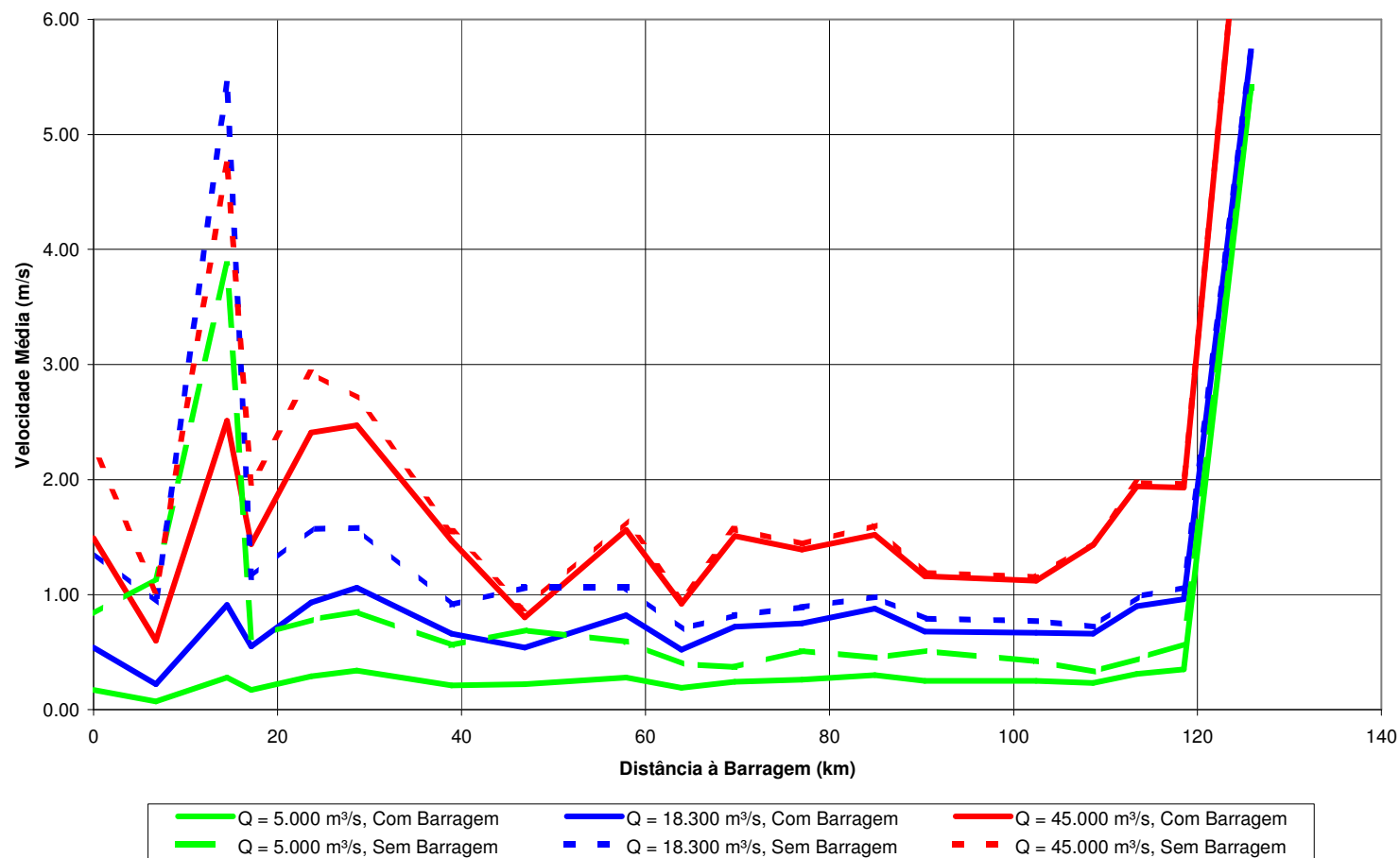


Figura 4.8
Perfis de Velocidades d'Água Simulados entre AHE Santo Antônio e AHE Jirau



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

Seção	Vazão (m³/s)														
	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

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

Seção	Vazão (m³/s)														
	5600	6800	10600	10400	15900	16600	22700	23900	29100	30200	33600	48800	60200	71400	82600
	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

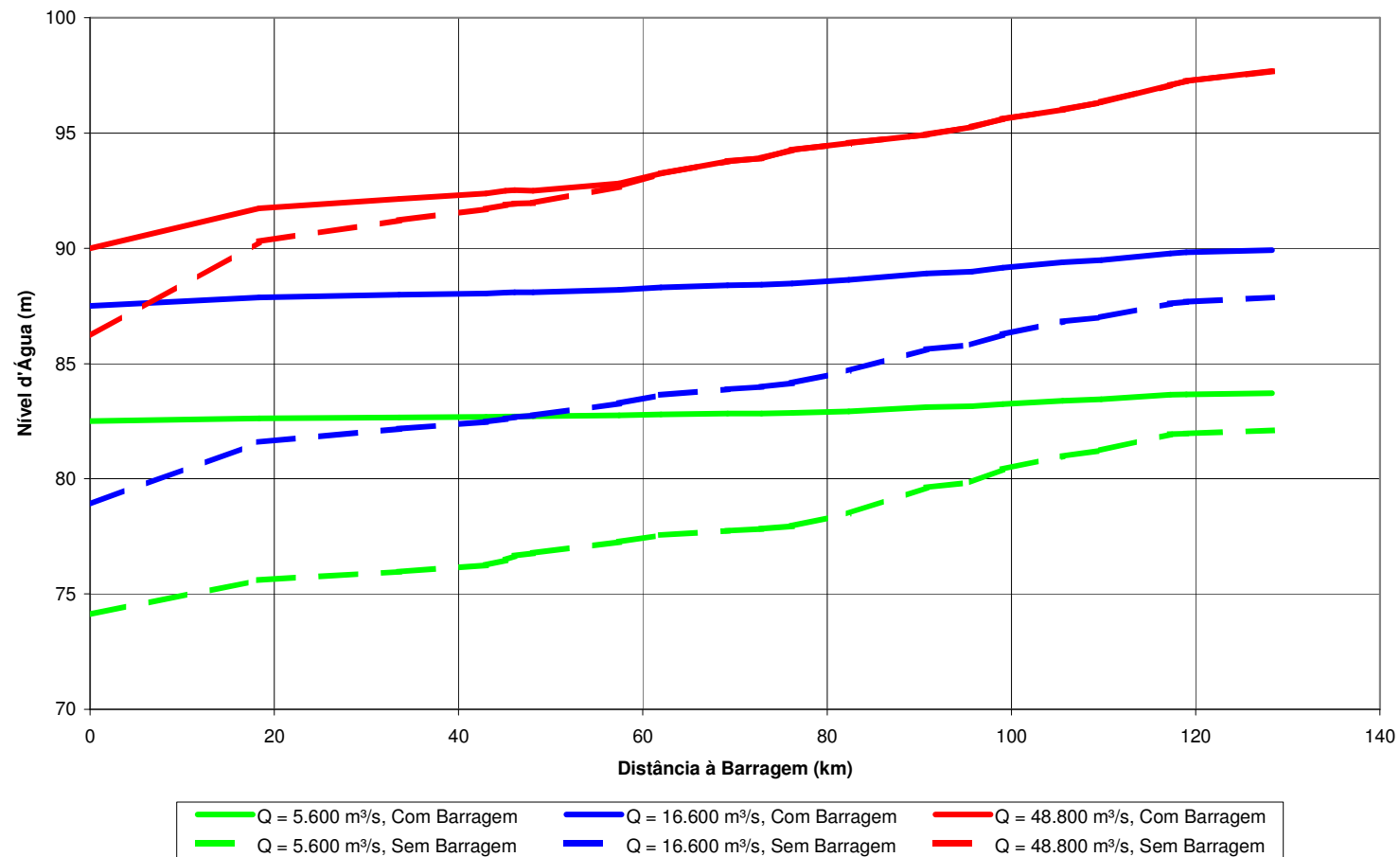
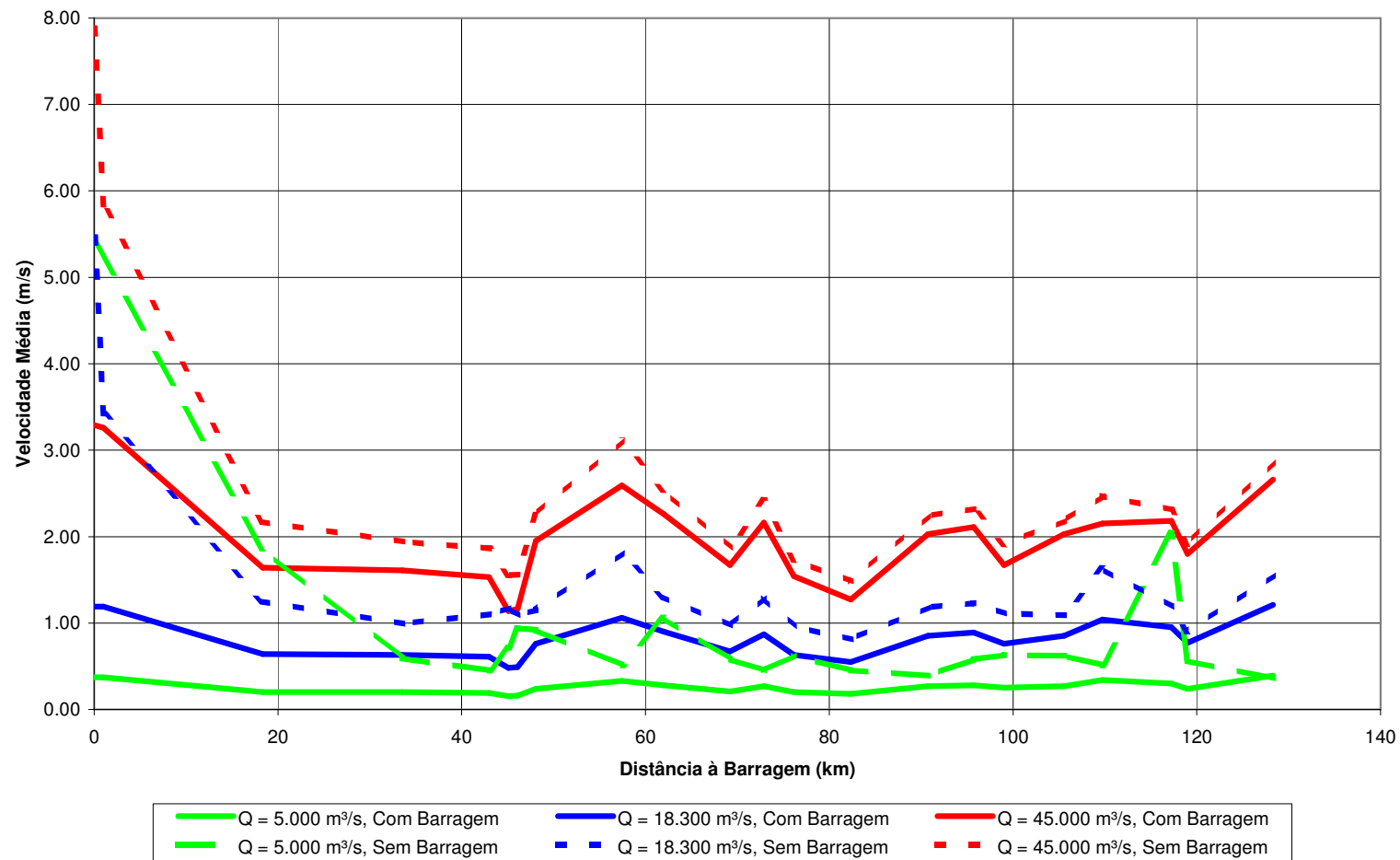


Figura 4.12
Perfis de Velocidade Simulados – Trecho: Jirau - Abunã



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

	Vazão (m ³ /s)	Velocidades (m/s) no Trecho Próximo à Barragem			Velocidades (m/s) na Porção Restante do Reservatório		
		Sem Reserv.	Com Reserv.	Variação	Sem Reserv.	Com Reserv.	Variação
UHE SANTO ANTÔNIO	5.000	1.27	0.22	(1.05)	0.54	0.26	(0.28)
	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)
UHE JIRAU	5.600	2.62	0.31	(2.31)	0.68	0.24	(0.44)
	16.600	4.57	1.19	(3.38)	1.17	0.76	(0.41)
	30.000	5.71	2.19	(3.52)	1.66	1.31	(0.35)
	48.800	6.92	3.28	(3.64)	2.10	1.82	(0.28)

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 RESERVATÓRIOS

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 (km ²)	Volume (hm ³)
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:

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

e

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

onde:

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

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

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

γ_{ap} - peso específico aparente médio dos depósitos (t/m³);

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

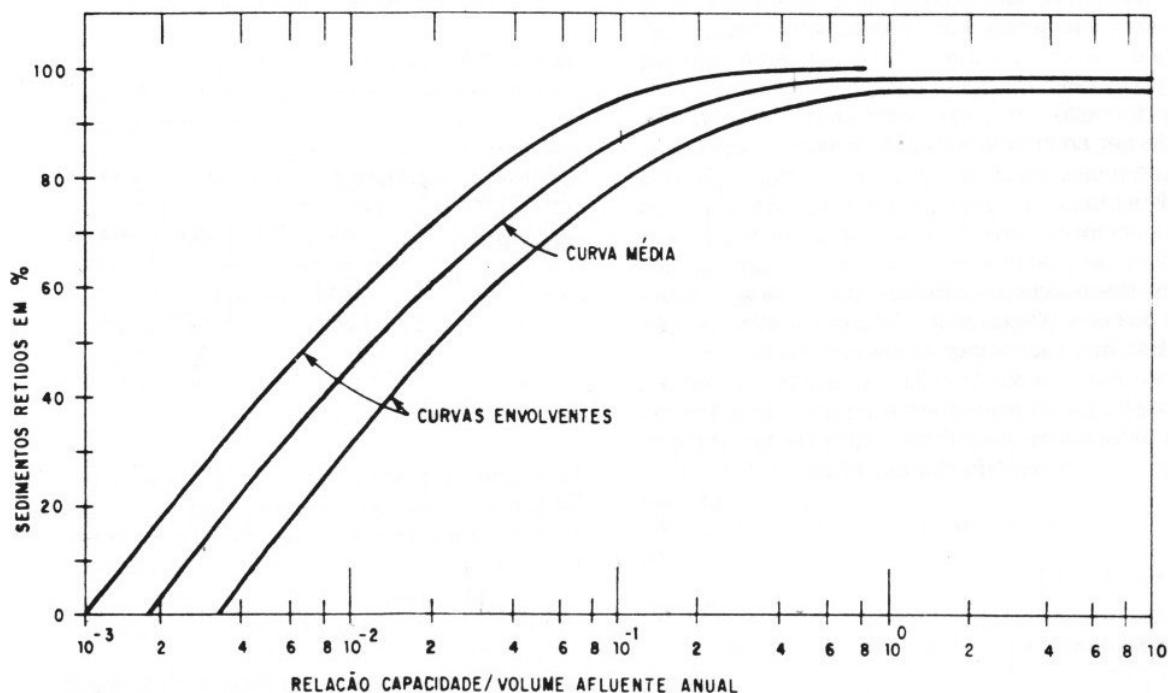
T - tempo de assoreamento total do reservatório ou de um volume característico (anos);

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.

Figura 5.3
Curva de Brune



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), determinou-se 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
1946	683.016	1.599.174	1.486.906	896.690	861.000	790.052	461.276	124.522	80.867	78.906	102.958	250.818	618.015
1947	650.550	1.338.628	3.963.021	3.609.620	1.383.983	544.118	253.726	124.522	116.062	346.946	1.087.223	2.181.095	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	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
1966	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
1967	515.985	1.071.665	1.432.490	1.519.081	767.514	386.776	121.308	69.463	37.457	42.415	156.631	261.772	531.880
1968	494.482	1.594.591	3.886.674	1.805.833	505.861	131.181	61.343	35.881	63.755	62.699	141.078	373.576	763.080
1969	1.382.033	1.768.957	1.773.534	1.641.579	646.599	393.546	158.913	63.829	49.885	331.655	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

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%

Tempo anos	Er %	□ap t/m ³	Sedimentos			Volume Disponível no Reservatório hm ³
			Afluentes hm ³ (ao ano)	Retidos hm ³ (ao ano)	Acumulados hm ³	
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%

Tempo anos	Er %	γ_{ap} t/m ³	Sedimentos			Volume Disponível no Reservatório hm ³
			Afluentes hm ³ (ao ano)	Retidos hm ³ (ao ano)	Acumulados hm ³	
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 EI 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 - $R = 0\%$

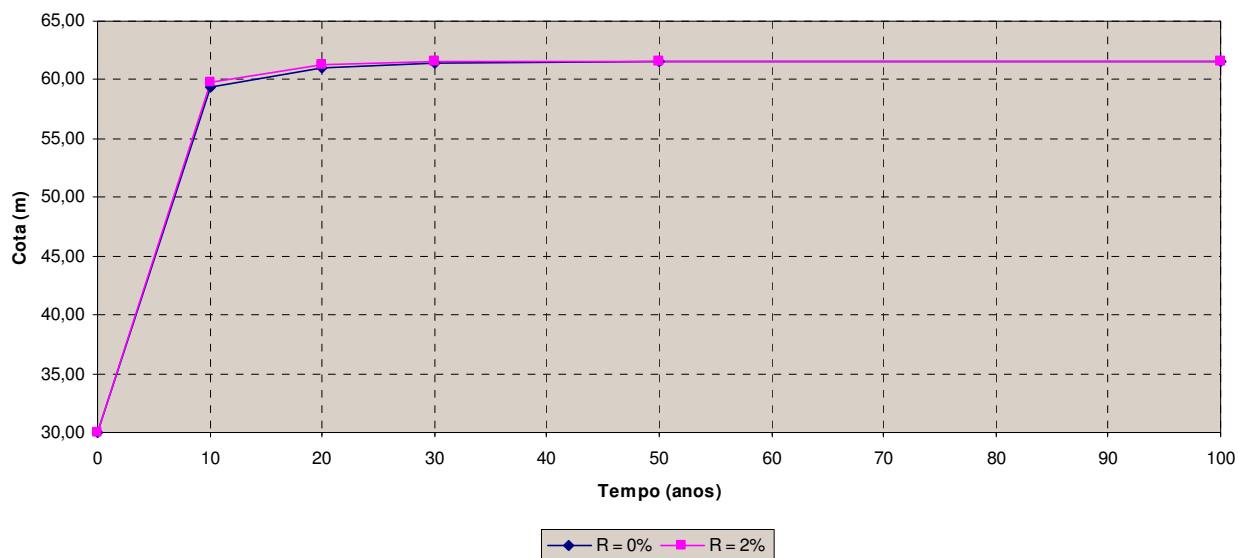
Tempo de Assoreamento (Anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm^3)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	30,00
10	751,16	59,32
20	982,92	60,97
30	1.052,46	61,44
50	1.079,86	61,61
100	1.082,79	61,63

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 (hm^3)	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%

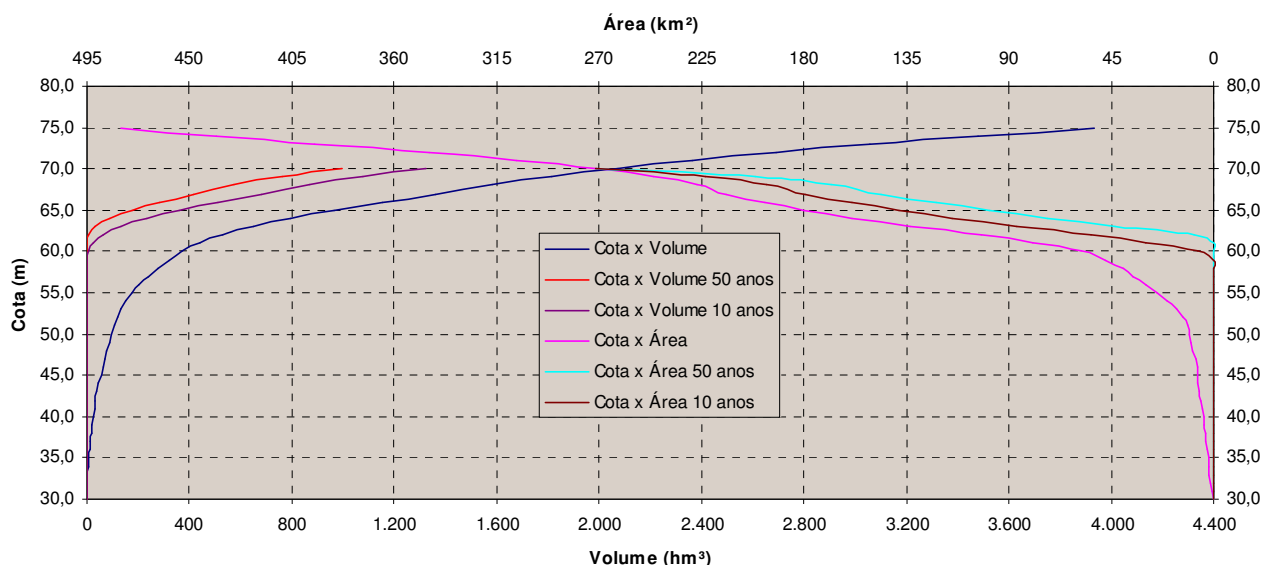
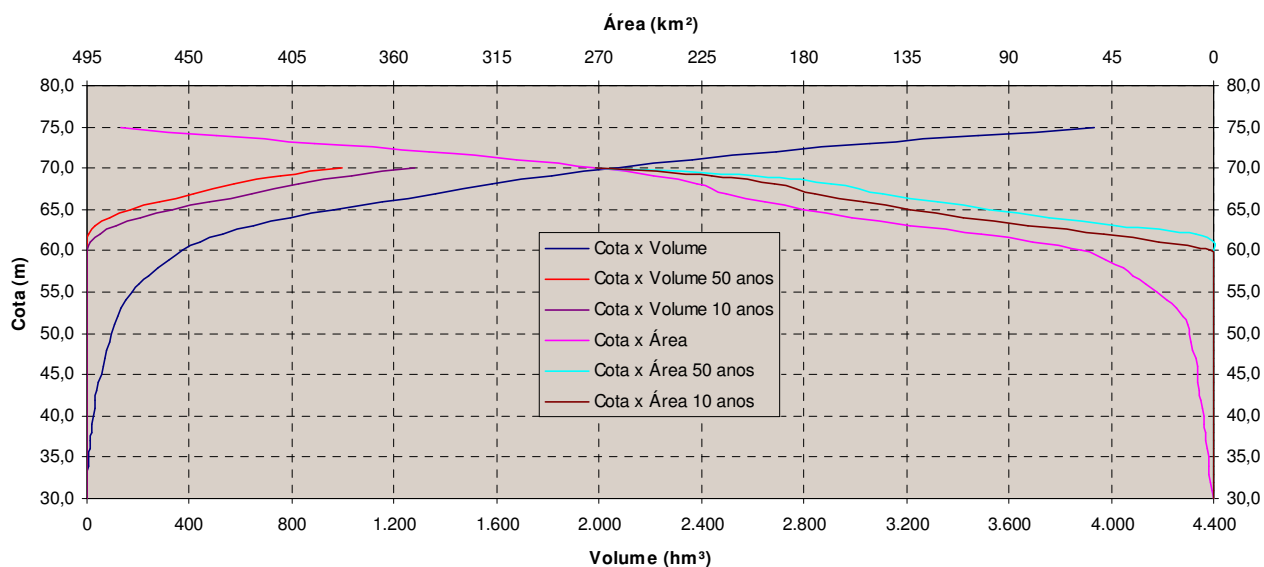


Figura 5.11
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume - R = 2%



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 afluyente 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	2.075,13	
Vazão anual afluyente	hm ³ /s	567.044,03	
Relação Capacidade/Volume anual afluyente	-	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

Tempo para Er = 0%	anos	74	44
Volume de Sedimentos no Reservatório	hm ³	1.082,62	1.082,64
Volume Disponível no Reservatório	hm ³	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 afluyente 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%

Tempo anos	Er %	γ_{ap} t/m ³	Sedimentos			Volume Disponível no Reservatório hm ³
			Afluentes hm ³ (ao ano)	Retidos hm ³ (ao ano)	Acumulados hm ³	
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%

Tempo anos	Er %	γ_{ap} t/m ³	Sedimentos			Volume Disponível no Reservatório hm ³
			Afluentes hm ³ (ao ano)	Retidos hm ³ (ao ano)	Acumulados hm ³	
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 média (El. 87,00 m)

Os resultados do 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%

Tempo anos	Er %	Cap t/m ³	Sedimentos			Volume Disponível no Reservatório hm ³
			Afluentes hm ³ (ao ano)	Retidos hm ³ (ao ano)	Acumulados hm ³	
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%

Tempo anos	Er %	gap t/m ³	Sedimentos			Volume Disponível no Reservatório hm ³
			Afluentes hm ³ (ao ano)	Retidos hm ³ (ao ano)	Acumulados hm ³	
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 - $R = 0\%$

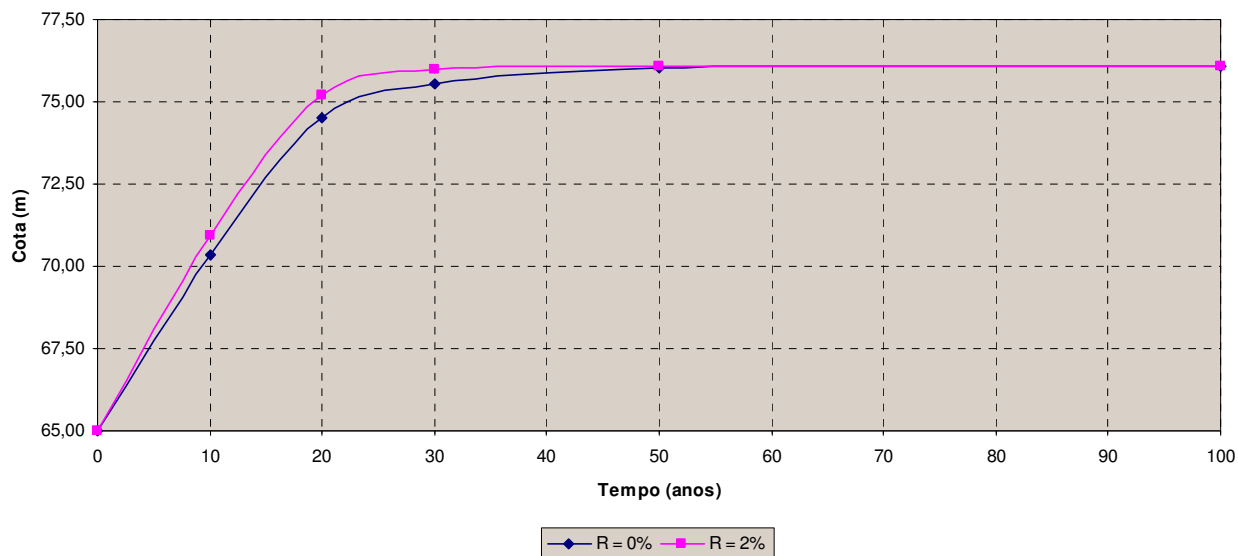
Tempo de Assoreamento (Anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm ³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	65,00
10	722,22	70,34
20	943,79	74,49
30	1.010,18	75,56
50	1.036,35	76,02
100	1.039,14	76,09

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 (hm ³)	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%

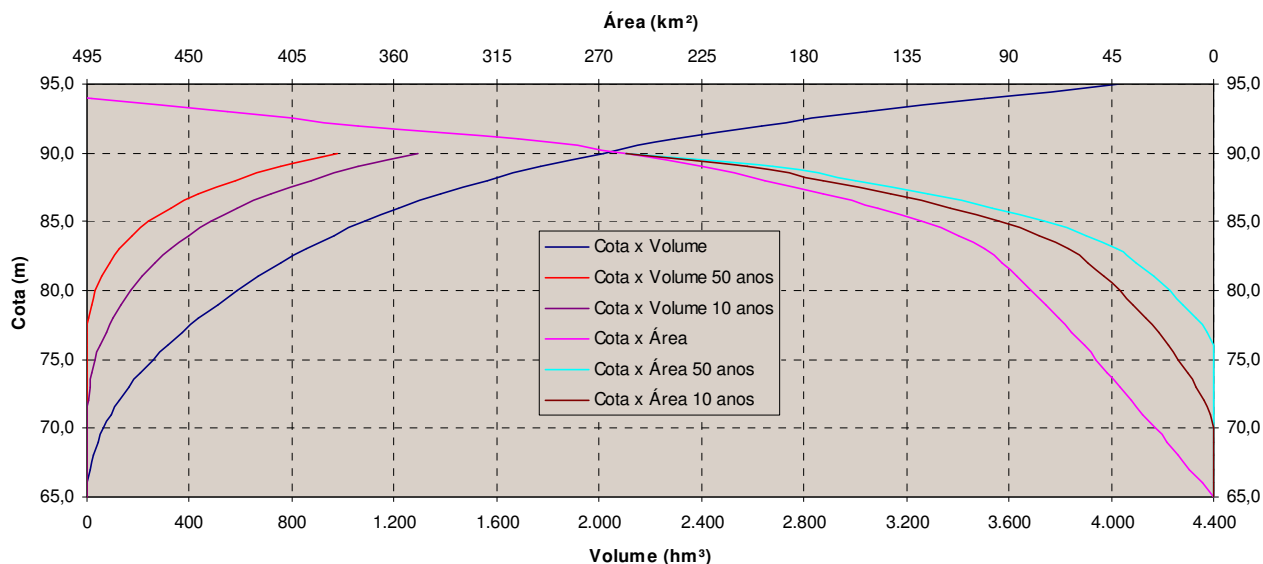
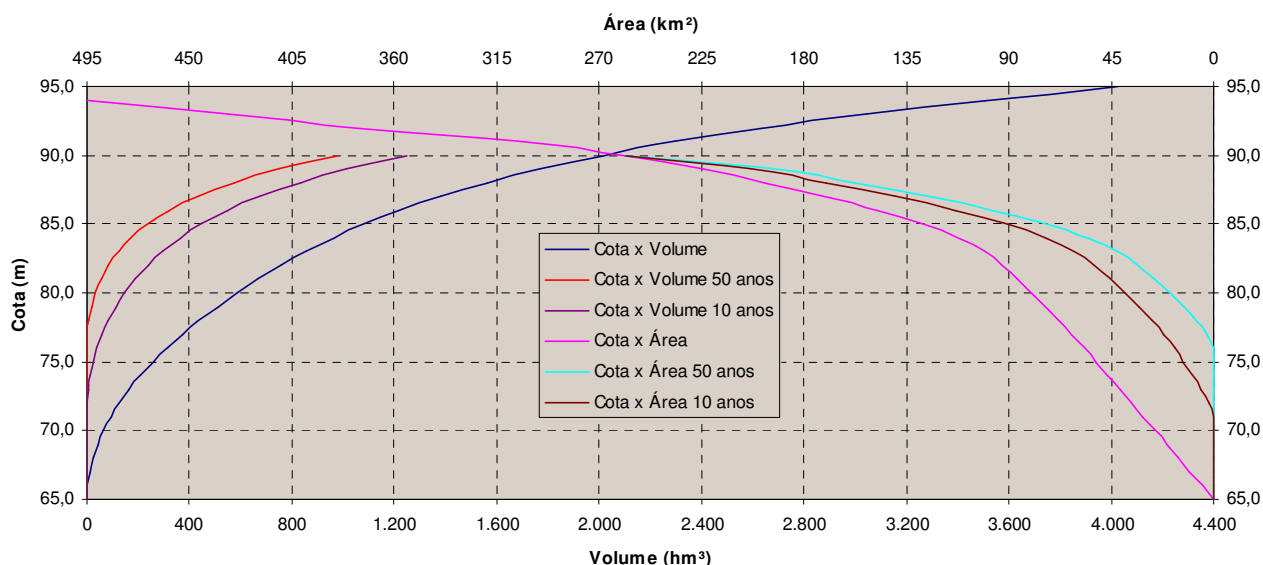


Figura 5.21
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume
NA do Reservatório = 90,00 m - R = 2%



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%

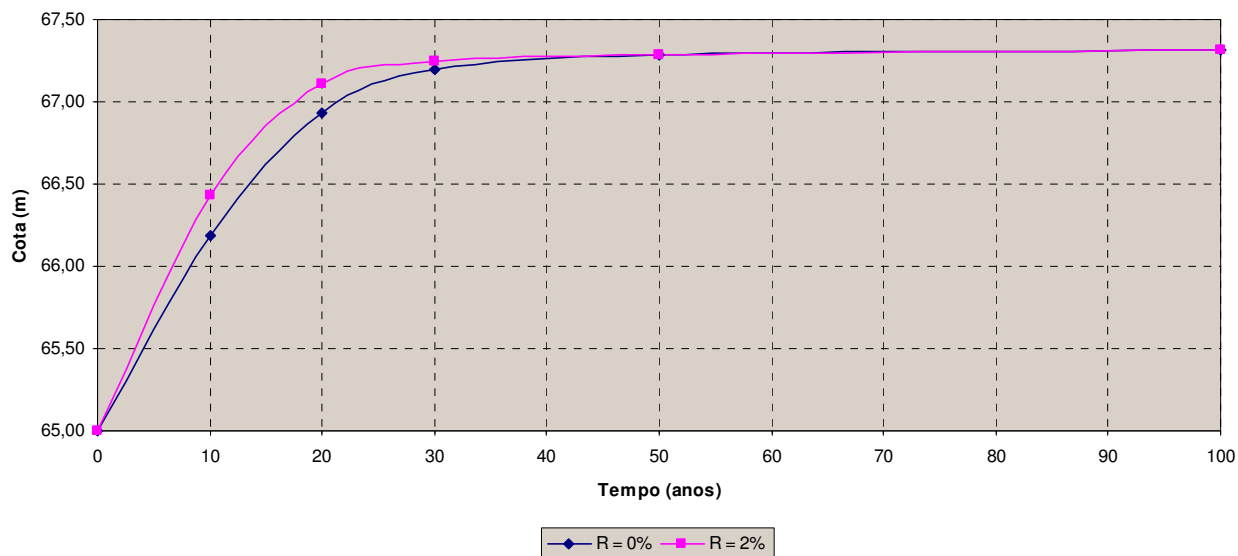
Tempo de Assoreamento (Anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm ³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	65,00
10	287,73	66,19
20	368,77	66,94
30	392,46	67,20
50	401,80	67,29
100	402,80	67,31

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 (hm ³)	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%

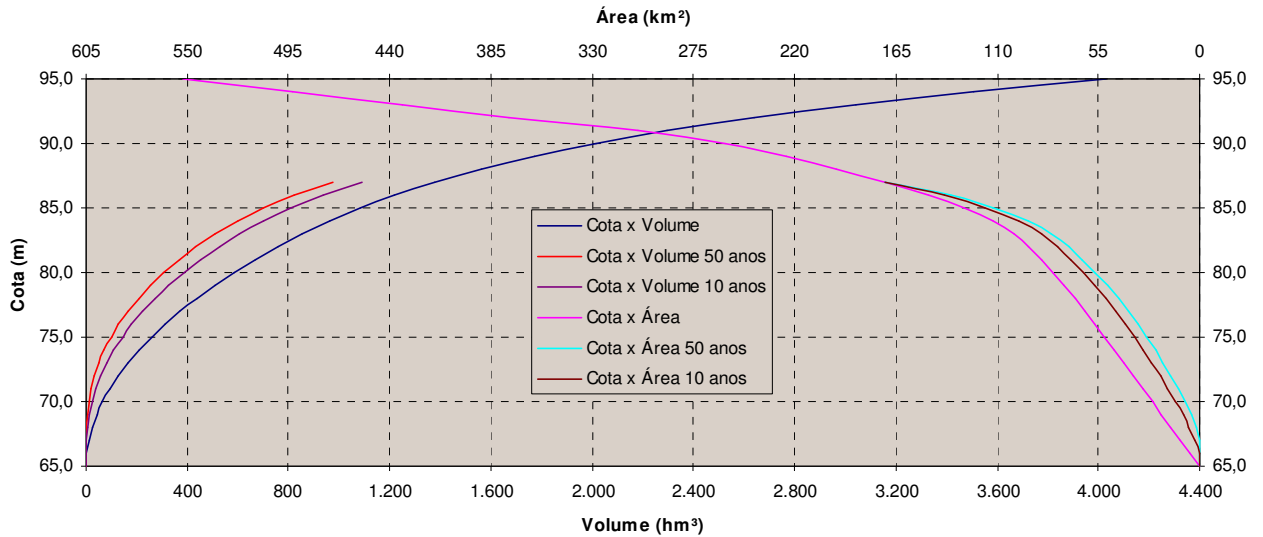
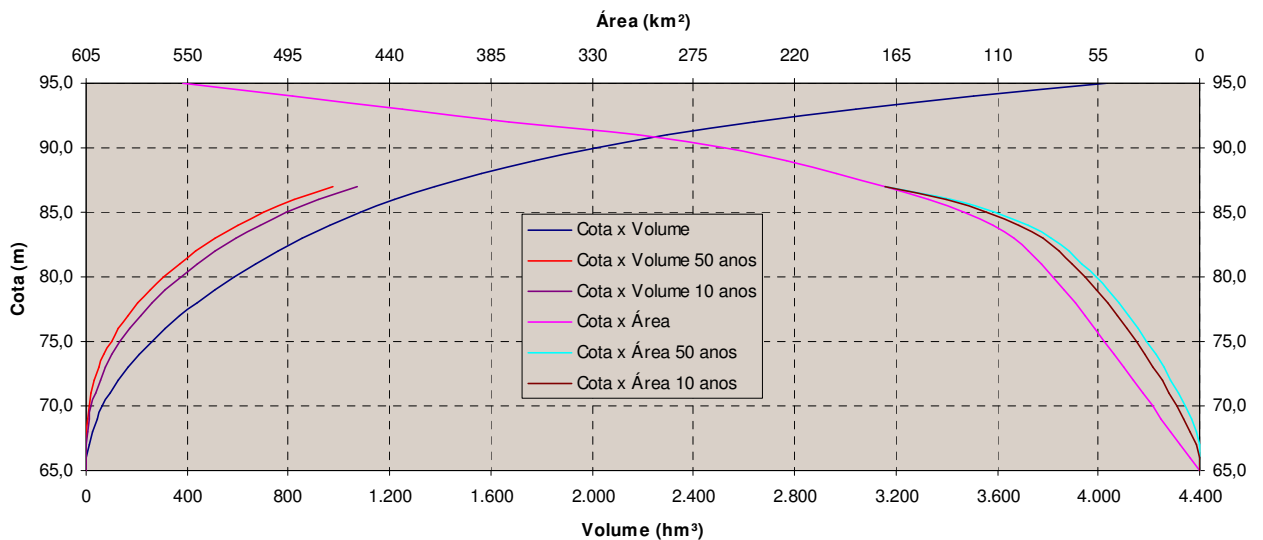


Figura 5.26
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 2%



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.

Tabela 5.27

Resumo dos Principais Resultados dos Estudos de Assoreamento

Nível D'água do Reservatório	m	87,00	90,00	87,00	90,00
Taxa anual de aumento do sedimento -R	%	0	0	2	2
Capacidade - Volume do Reservatório	hm ³	1.378,91	2.015,26	1.378,91	2.015,26
Volume anual afluyente	hm ³	557.775,76	557.775,76	557.775,76	557.775,76
Relação Capacidade/Volume anual afluyente	-	2,47 x 10 ⁻³	3,61 x 10 ⁻³	2,47 x 10 ⁻³	3,61 x 10 ⁻³
Eficiência de Retenção Er em t = 0	%	8,48	19,15	8,48	19,15

Tempo para Er = 1%	anos	19	28	16	22
Volume de Sedimentos no Reservatório	hm ³	364,41	1.002,44	365,94	1.004,63
Volume Disponível no Reservatório	hm ³	1.014,50	1.012,82	1.012,98	1.010,63
Perda de Volume do Reservatório	%	26,4	49,7	26,5	49,9

Tempo para Er = 0%	anos	64	73	41	44
Volume de Sedimentos no Reservatório	hm ³	402,61	1.038,95	402,67	1.039,00
Volume Disponível no Reservatório	hm ³	976,31	976,31	976,24	976,26
Perda de Volume do Reservatório	%	29,2	51,6	29,2	51,6

Cota da Altura do Sedimento ao Pé da Barragem (50 anos)	m	67,48	76,09	67,48	76,09
Cota da Altura do Sedimento ao Pé da Barragem (100 anos)	m	67,48	76,09	67,48	76,09

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 afluyente 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 hm^3 para cerca de 1010 hm^3 .

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 afluyente 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 hm^3 para cerca de 1010 hm^3 , 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 HIDROSEDIMENTOLÓGICA 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 Reservoirs, 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 Reservoirs é um modelo numérico unidimensional de fundo móvel, destinado à simulação do escoamento em canais e à previsão de mudanças geométricas nas seções fluviais e nos perfis de linha de água, resultantes da erosão e do assoreamento, através de longos períodos de tempo. O HEC-6 é capaz de simular uma rede de canais e cursos de água afluentes, analisando efeitos de dragagem, implantação de diques, depósitos em reservatórios ou quaisquer outras modificações no canal fluvial, empregando diversos métodos para o cálculo do transporte de sedimentos.

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 topobatemétricas 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 Geophysical 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,

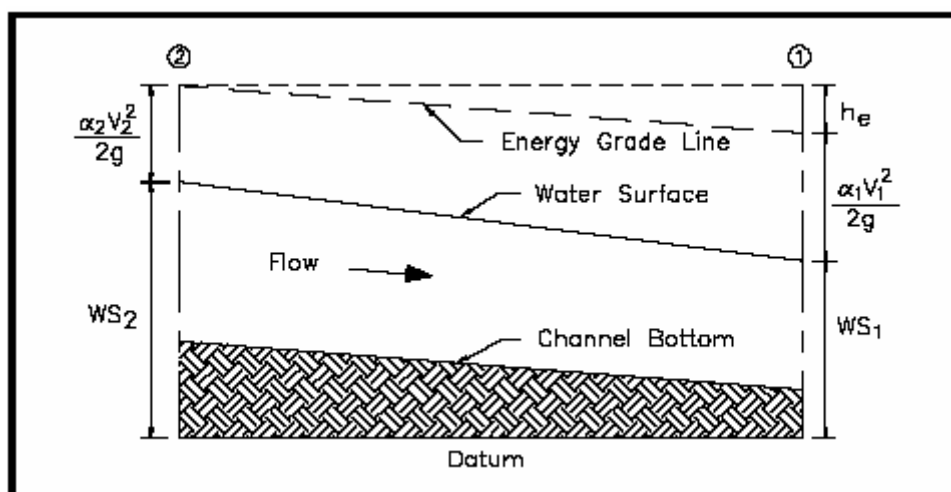
h_e = perda de energia

V_1, V_2 = velocidades médias em cada seção

WS_1, WS_2 = níveis d'água em cada seção

α_1, α_2 = coeficientes de distribuição de velocidade

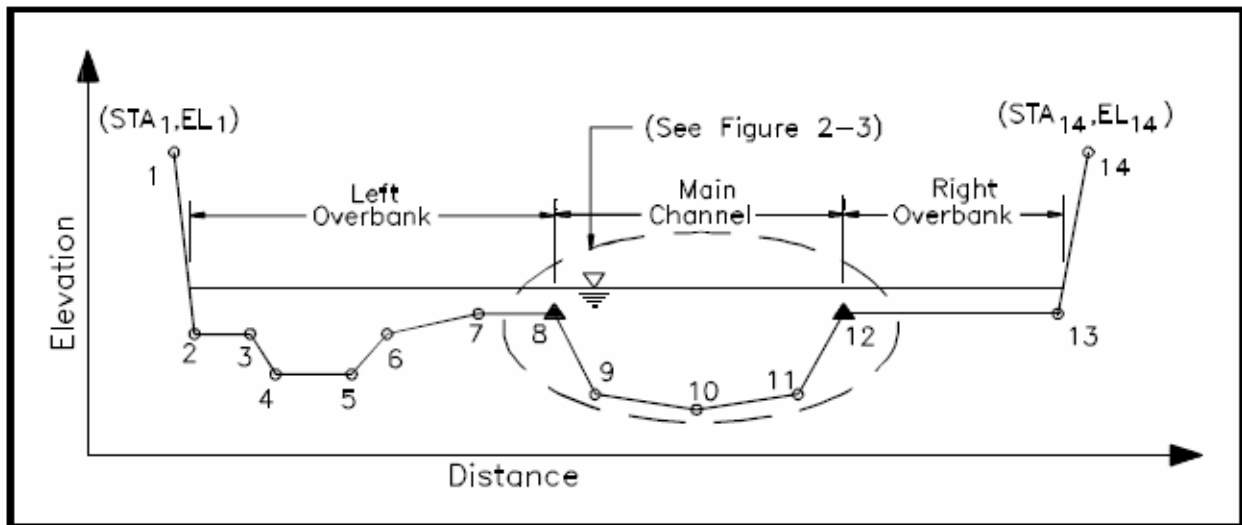
Figura 6.1
Termos da Equação de Energia



A perda de energia, h_e , 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. Bases Teóricas Para os Cálculos Sedimentométricos

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 seguinte forma:

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

onde

V_{sed} = volume de sedimento

B_0 = largura do leito móvel

L_u, L_d = comprimento do trecho, a montante e a jusante

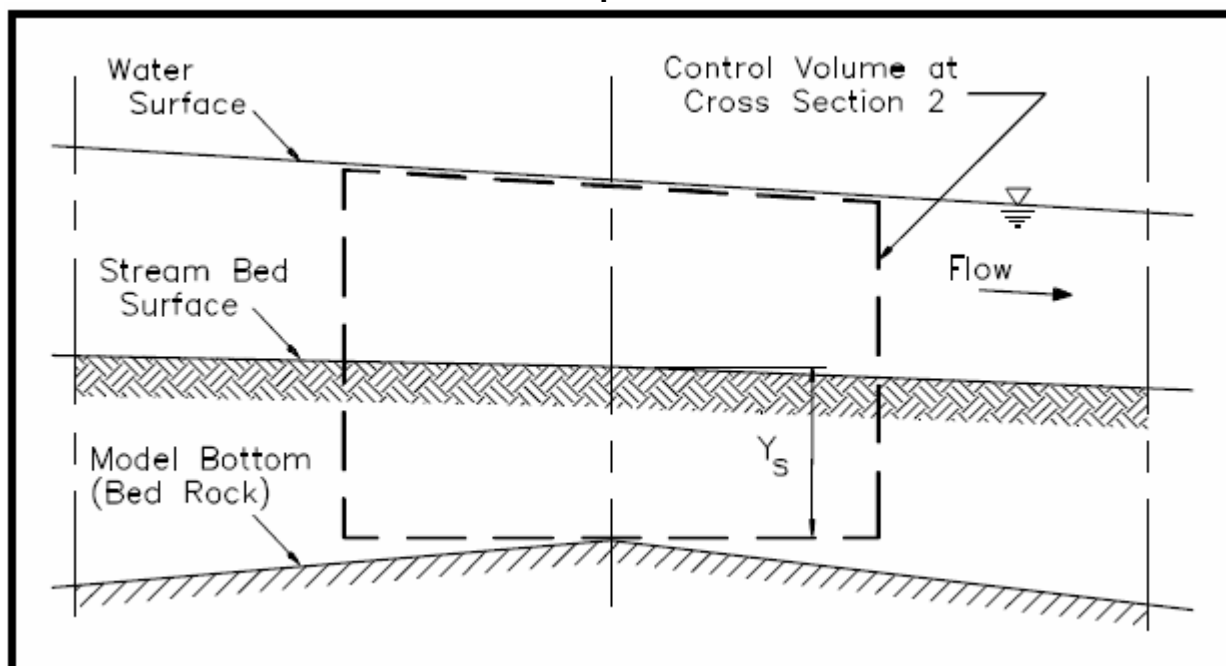
V_{sed} = volume de sedimento no volume de controle

Y_s = profundidade do sedimento no volume de controle.

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

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

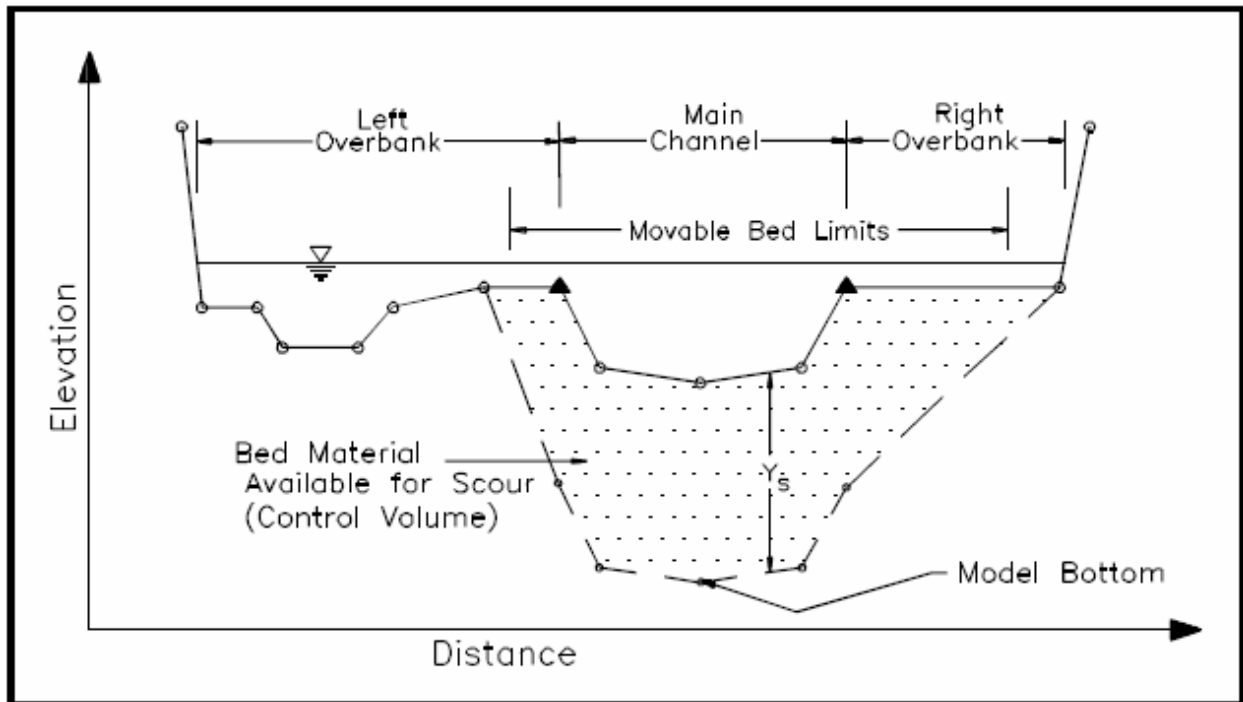
Figura 6.3
Volume de Controle para o Material do Leito



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 Y_s 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 diferenças 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

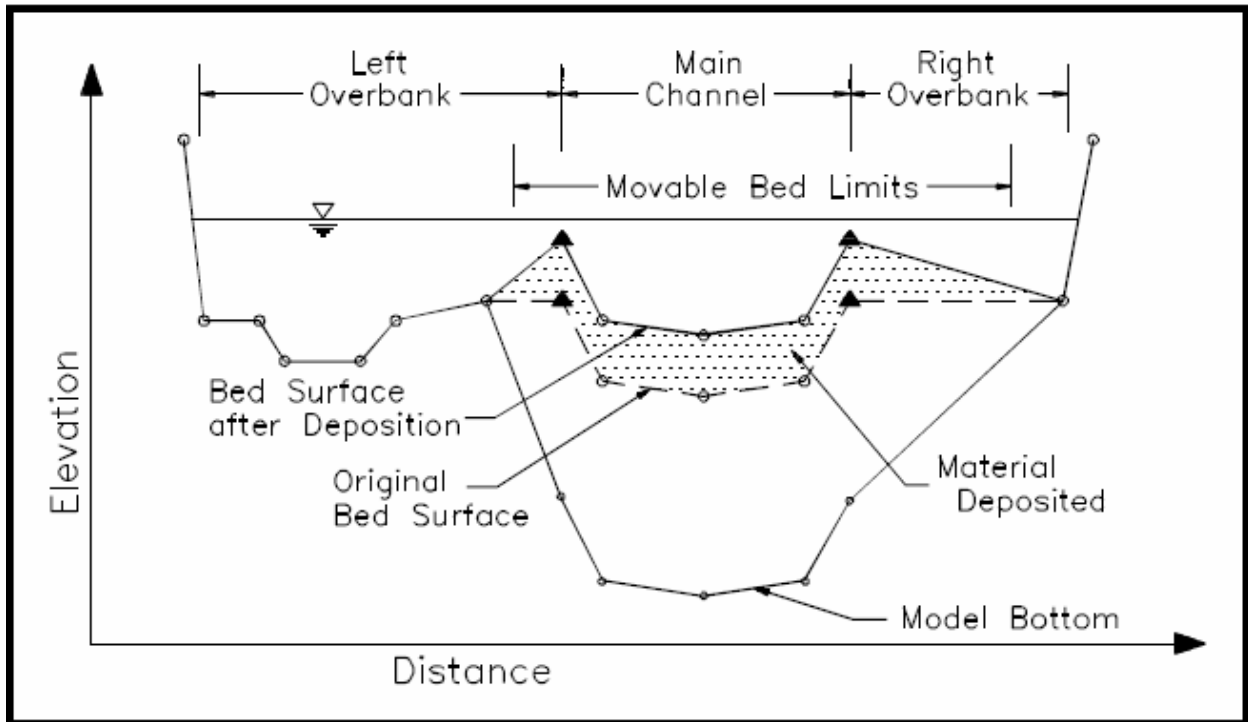
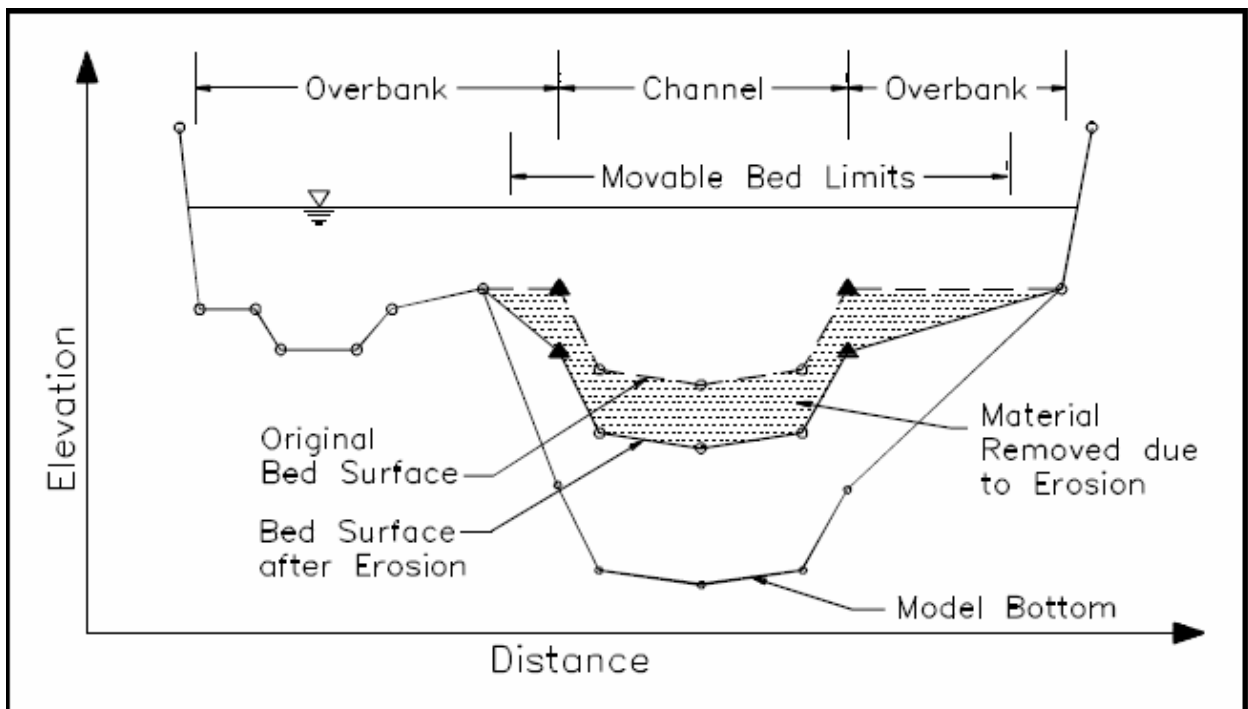


Figura 6.6
Modificação da Seção Transversal Devido à Erosão



O modelo HEC-6 considera ainda a influência dos depósitos de silte e argila sobre 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

Seção	Distância (m)	Seção de referência		Observações
		HEC - RAS	Desenho	
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	

Seção	Distância (m)	Seção de referência		Observações
		HEC - RAS	Desenho	
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	Cachoeira Santo 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.

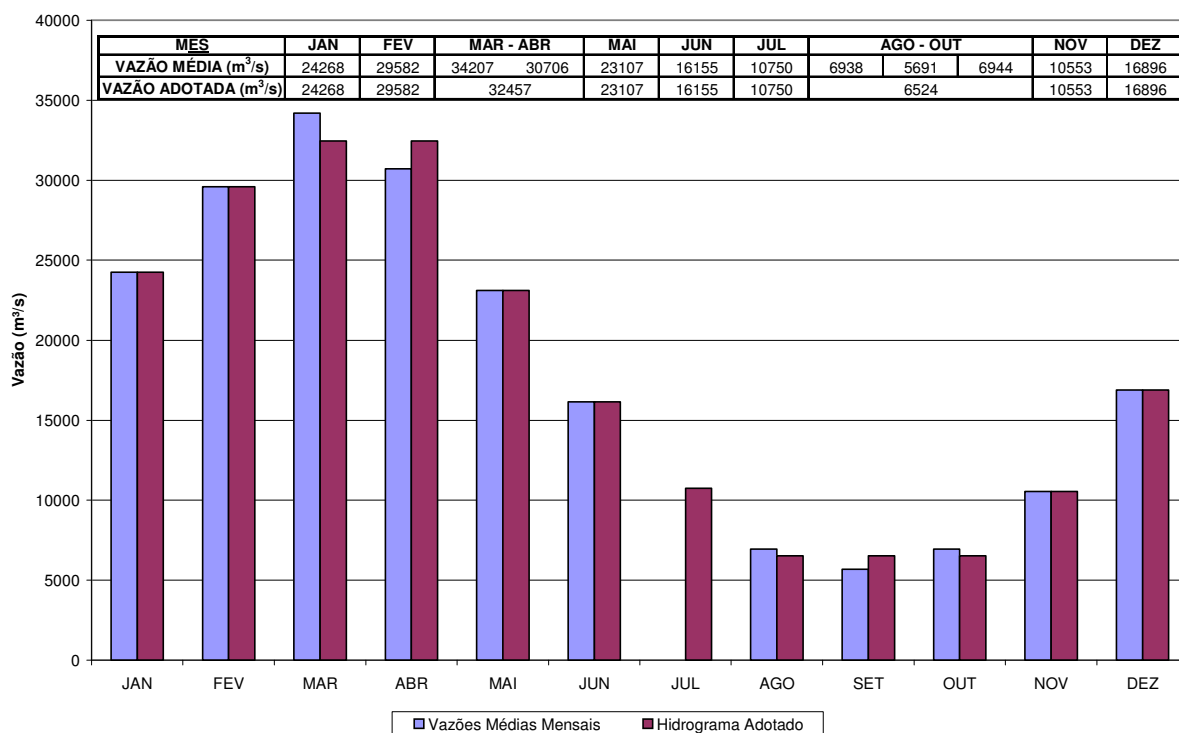
Nos trechos não estudados nos estudos de remanso, a montante de Abunã e a jusante de Santo Antônio, foram empregados coeficientes de perdas similares aos dos trechos vizinhos.

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 março-abril 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													
Data	Relatório	Vazão (m³/s)	Diâmetro (mm)										Descarga Sólida Total (t/d)
			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	
19/10/04	DCT.T.01.011.2005-R0	4614	22544	8536	173	476	63	1	0	0	0	0	31793
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
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
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
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 HEC-6	Vazão (m ³ /s)					
		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
Totalização		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

Data	Relatório	Diâmetro (mm)									
		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.01.066.2004-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.01.066.2004-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.01.066.2004-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.01.107.2004-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.01.107.2004-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.01.107.2004-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.01.107.2004-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.01.107.2004-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.01.107.2004-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.01.107.2004-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.01.107.2004-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.01.078.2004-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.01.078.2004-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.01.078.2004-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.01.078.2004-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.

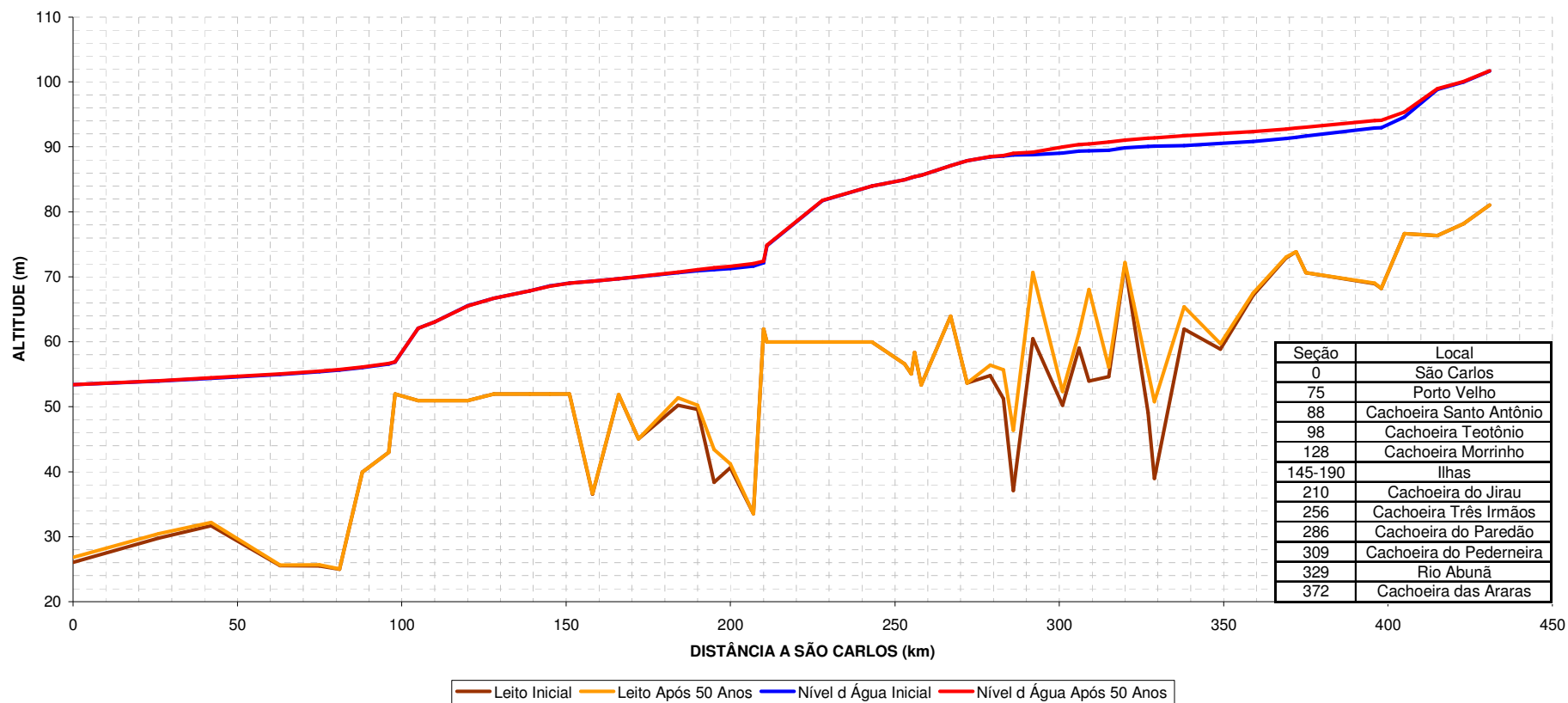
O trecho entre a Cachoeira do Jirau e as Ilhas situadas logo a jusante, que futuramente serão parte do reservatório de Santo Antônio, também apresentou ligeira tendência ao assoreamento.

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 na 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 capítulo 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
Condição Estabilizada (sem crescimento da produção de sedimento)	Caso 0	-	-	6.16	6.17
	Caso 1S	-	70,00	6.18	6.19
	Caso 1J-90	90,00	-	6.20	6.4
	Caso 2-90	90,00	70,00	6.22	6.23
	Caso 1J-87	87,00	-	6.24	6.25
	Caso 2-87	87,00	70,00	6.26	6.27
Condição Crítica (produção de sedimento crescendo a 2% ao ano)	Caso 0-C	-	-	6.28	6.29
	Caso 1S-C	-	70,00	6.30	6.31
	Caso 1J-90-C	90,00	-	6.32	6.33
	Caso 2-90-C	90,00	70,00	6.34	6.35
	Caso 1J-87-C	87,00	-	6.36	6.37
	Caso 2-87-C	87,00	70,00	6.38	6.39

6.5.1 Simulações Considerando um Condição Estabilizada de Produção de Sedimento no Rio Madeira

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

PERÍODO SEÇÃO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	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)

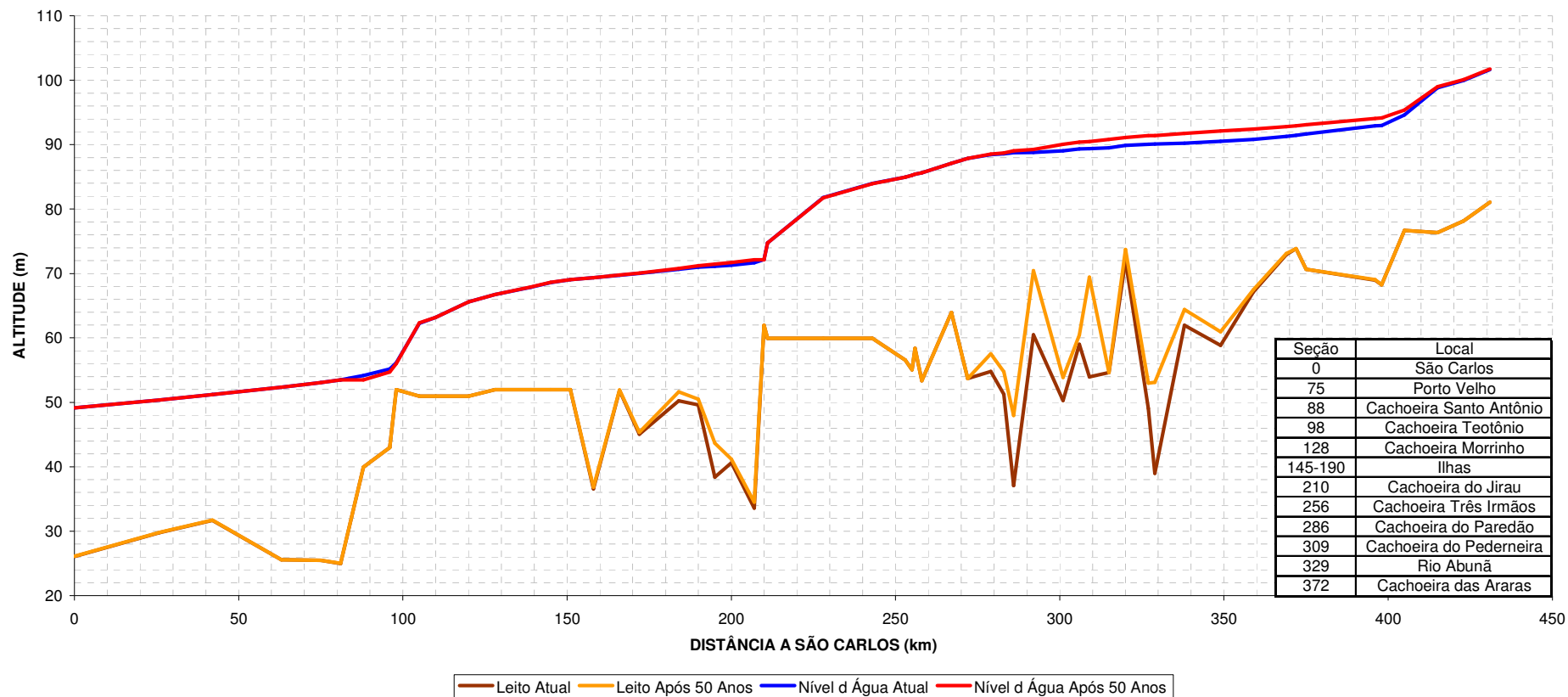


Tabela 6.18
Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 1S – Após a Construção do AHE Santo Antônio

PERÍODO SEÇÃO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA
431	81.05	101.67	81.05	101.68	81.05	101.69	81.05	101.72	81.05	101.73
423	78.15	99.97	78.15	99.99	78.15	100.01	78.15	100.07	78.15	100.10
415	76.35	98.82	76.35	98.85	76.35	98.88	76.35	98.96	76.35	98.98
405	76.66	94.63	76.66	94.80	76.66	94.98	76.66	95.33	76.66	95.44
398	68.24	92.99	68.24	93.27	68.24	93.53	68.24	94.05	68.24	94.20
396	68.95	92.93	68.99	93.21	69.02	93.48	69.06	94.00	69.11	94.15
375	70.65	91.69	70.66	92.03	70.65	92.37	70.65	92.99	70.65	93.17
372	73.85	91.48	73.86	91.85	73.86	92.19	73.86	92.84	73.86	93.02
369	72.94	91.32	72.98	91.70	72.98	92.05	73.03	92.71	73.12	92.90
359	67.15	90.85	67.49	91.24	67.54	91.61	67.56	92.31	67.46	92.50
349	58.86	90.56	59.17	90.94	59.63	91.32	60.40	92.01	61.03	92.20
338	61.97	90.24	65.75	90.49	64.57	90.93	65.16	91.62	64.51	91.84
329	38.98	90.15	48.51	90.21	51.80	90.58	51.21	91.32	53.19	91.49
327	49.07	90.11	50.65	90.18	54.90	90.51	55.85	91.22	52.95	91.49
320	71.96	89.91	71.96	89.96	71.97	90.23	72.26	90.94	74.01	91.22
315	54.62	89.52	54.62	89.58	54.62	89.89	55.12	90.64	54.62	90.92
309	53.95	89.43	56.50	89.46	63.77	89.60	68.02	90.27	69.95	90.57
306	59.01	89.38	59.01	89.40	59.01	89.55	59.55	90.22	60.57	90.50
301	50.26	89.11	50.26	89.14	51.87	89.26	53.83	89.92	54.34	90.16
292	60.47	88.85	61.48	88.86	64.32	88.86	69.66	89.21	70.56	89.36
286	37.09	88.80	37.09	88.80	37.26	88.80	48.00	89.01	48.71	89.16
283	51.24	88.64	51.24	88.64	51.24	88.64	53.08	88.71	54.71	88.82
279	54.80	88.50	54.80	88.51	54.80	88.51	55.84	88.55	57.79	88.63
272	53.68	87.93	53.68	87.93	53.68	87.93	53.68	87.93	53.68	87.98
267	63.95	87.16	63.95	87.16	63.95	87.16	63.95	87.17	63.95	87.22
258	53.37	85.69	53.37	85.69	53.37	85.69	53.37	85.70	53.37	85.76
256	58.37	85.48	58.37	85.49	58.37	85.49	58.37	85.49	58.38	85.56
255	55.05	85.34	55.05	85.34	55.05	85.34	55.05	85.35	55.05	85.42
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	84.08	59.95	84.09	59.96	84.17
228	59.95	81.91	59.95	81.91	59.95	81.91	59.95	81.92	59.95	82.03
211	59.95	75.41	59.95	75.41	59.95	75.41	59.95	75.46	59.95	75.88
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	73.79
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	49.59	72.63	49.79	72.64	52.91	73.35
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
166	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.96	53.12	72.24
158	36.58	71.71	36.58	71.72	36.58	71.72	36.58	71.73	38.33	71.97
151	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.60	54.36	71.78
145	51.97	71.38	51.97	71.39	51.97	71.39	51.97	71.40	51.97	71.56
139	51.97	71.15	51.97	71.16	51.97	71.16	51.97	71.18	52.18	71.34
128	51.97	70.86	51.97	70.86	51.97	70.87	51.97	70.88	52.13	71.05
120	50.96	70.58	50.96	70.59	50.96	70.59	50.96	70.61	50.96	70.78
110	50.96	70.25	50.96	70.26	50.96	70.26	50.97	70.28	50.97	70.47
105	50.96	70.21	51.06	70.22	51.06	70.22	51.12	70.24	54.42	70.40
98	51.97	70.11	52.08	70.11	52.09	70.11	53.05	70.12	52.18	70.27
96	42.98	70.13	43.37	70.13	43.89	70.13	46.63	70.14	55.03	70.24
88	39.96	70.10	40.32	70.10	40.61	70.10	41.41	70.10	48.95	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 6.19
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)

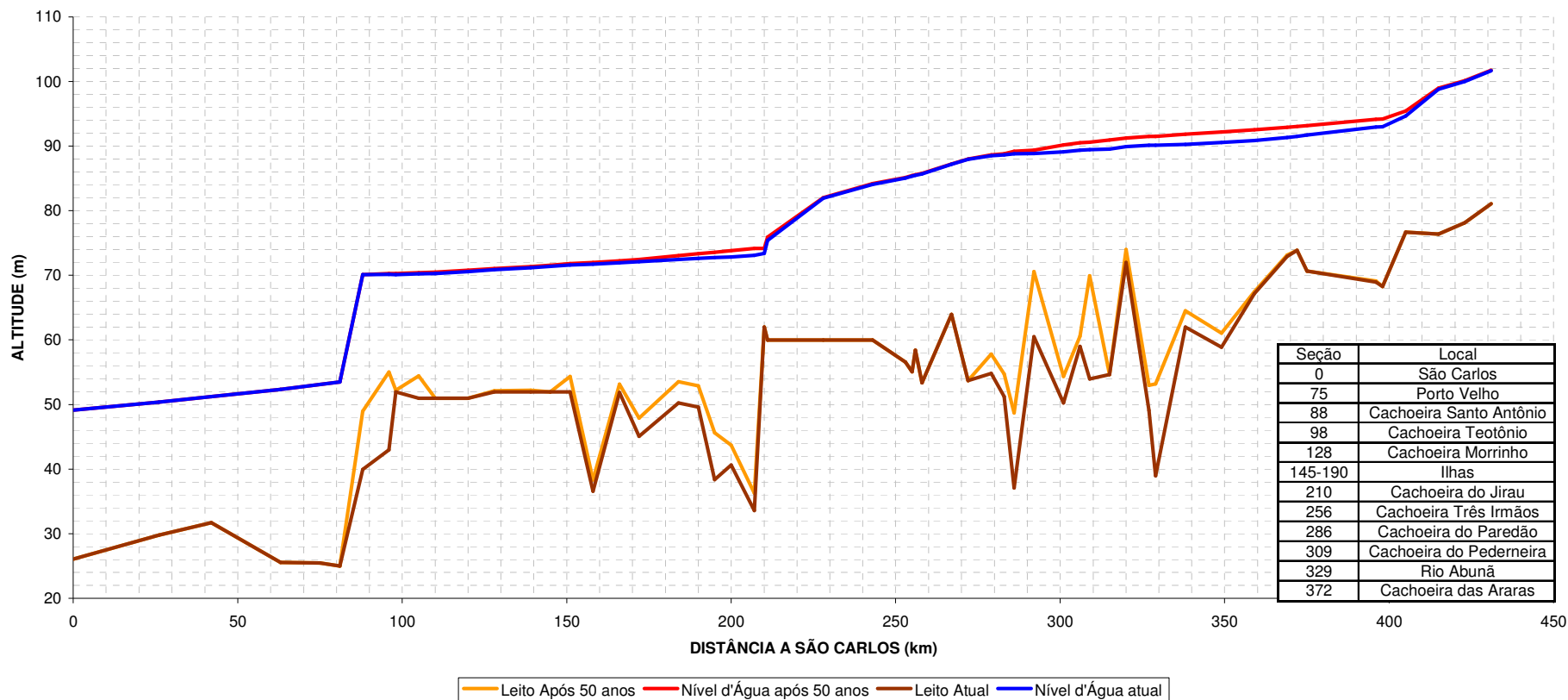


Tabela 6.20
Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 1J-90 – Após a Construção do AHE Jirau – EI. 90,00 m

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	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	93.79	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	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)

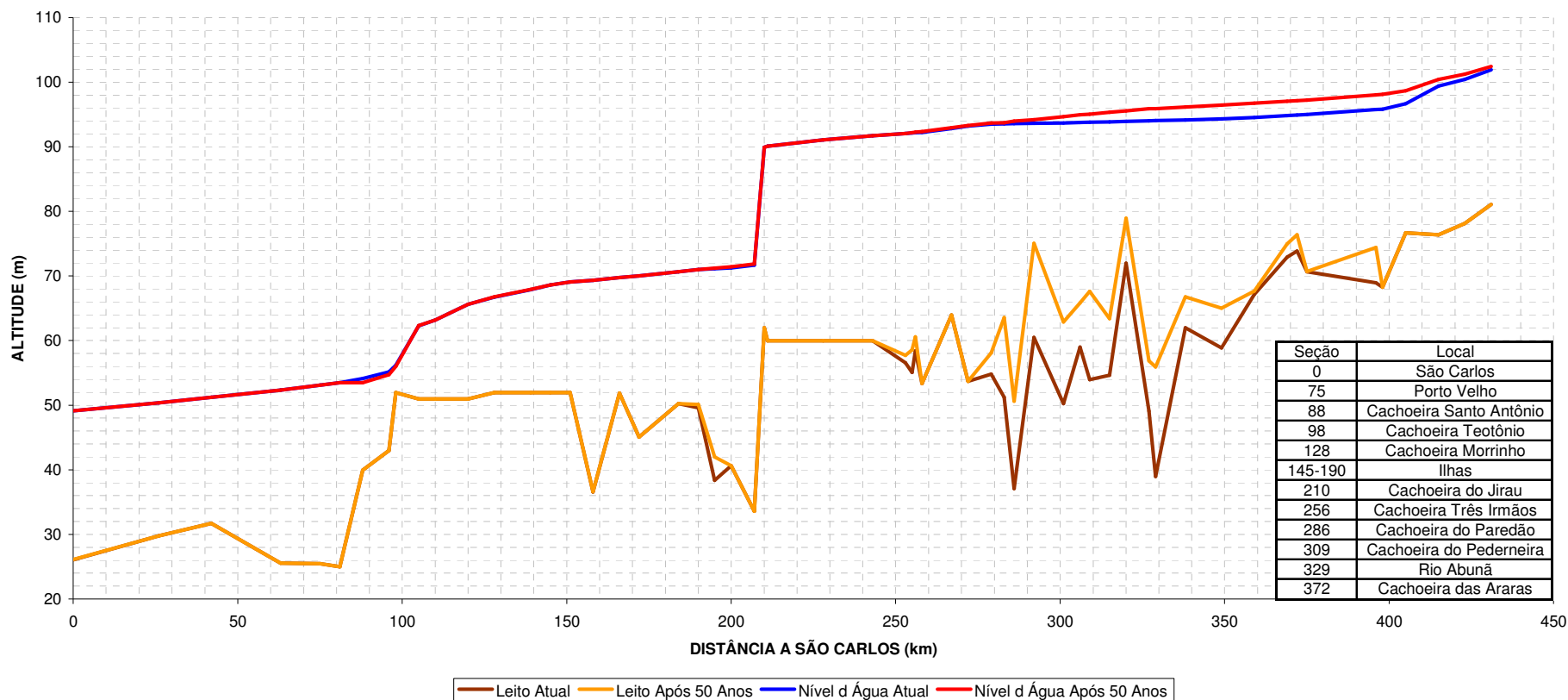


Tabela 6.22
Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 2-90 – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos –
AHE Jirau na EI. 90,00 m

PERÍODO SEÇÃO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	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	93.79	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	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	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	50.96	70.21	51.01	70.22	51.01	70.22	51.02	70.22	51.25	70.29
98	51.97	70.11	52.06	70.11	52.06	70.11	52.06	70.11	53.72	70.16
96	42.98	70.13	43.05	70.13	43.05	70.13	43.06	70.13	50.91	70.16
88	39.96	70.10	40.06	70.10	40.09	70.10	40.27	70.10	44.27	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 6.23
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)

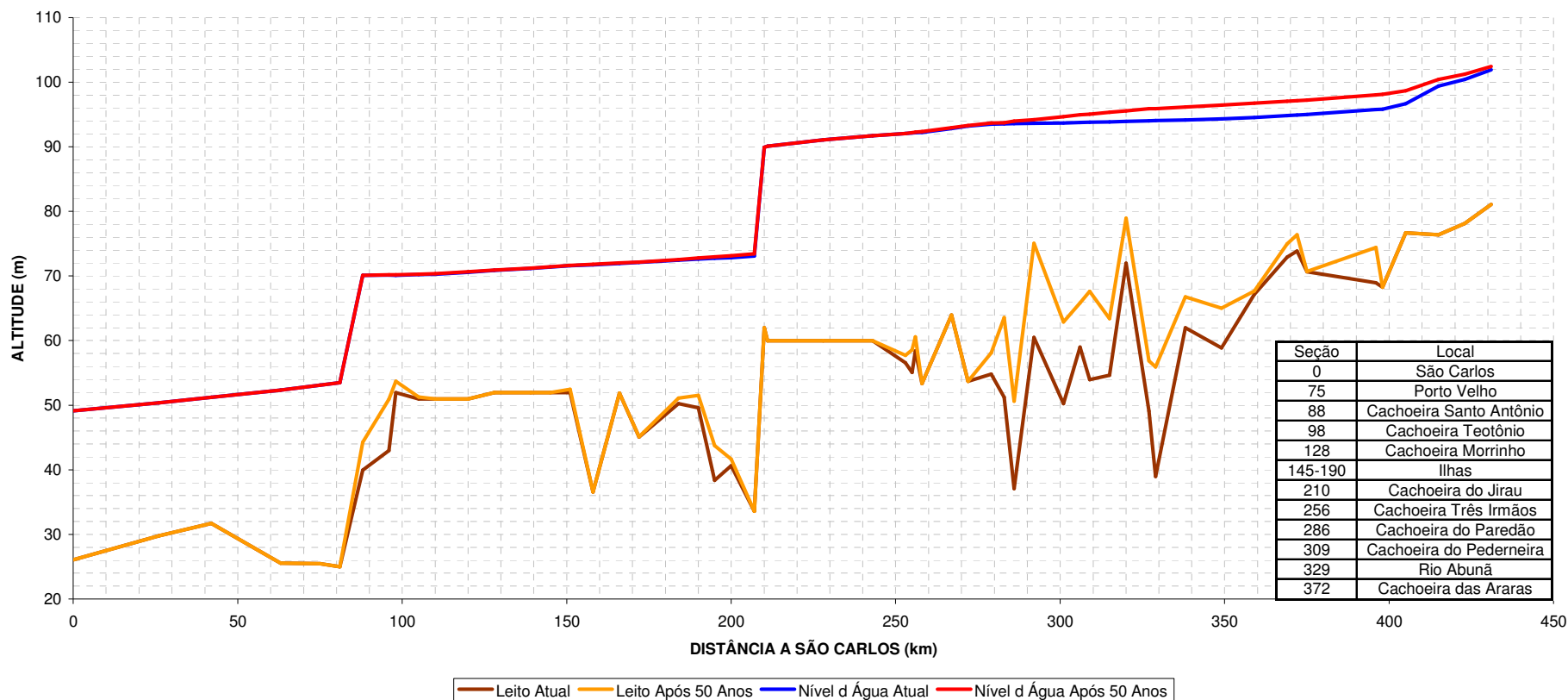


Tabela 6.24
Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 1J-87 – Após a Construção do AHE Jirau – El. 87,00 m

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	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	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)

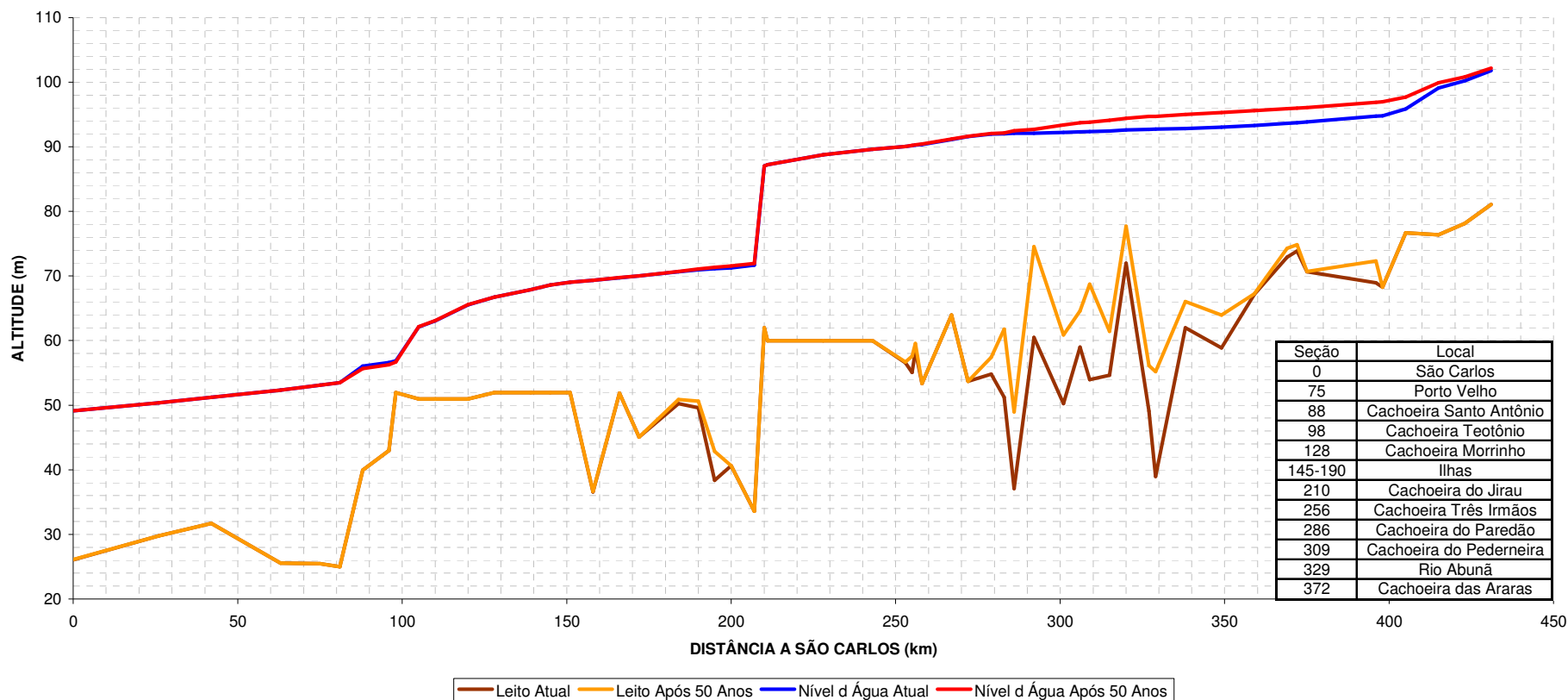
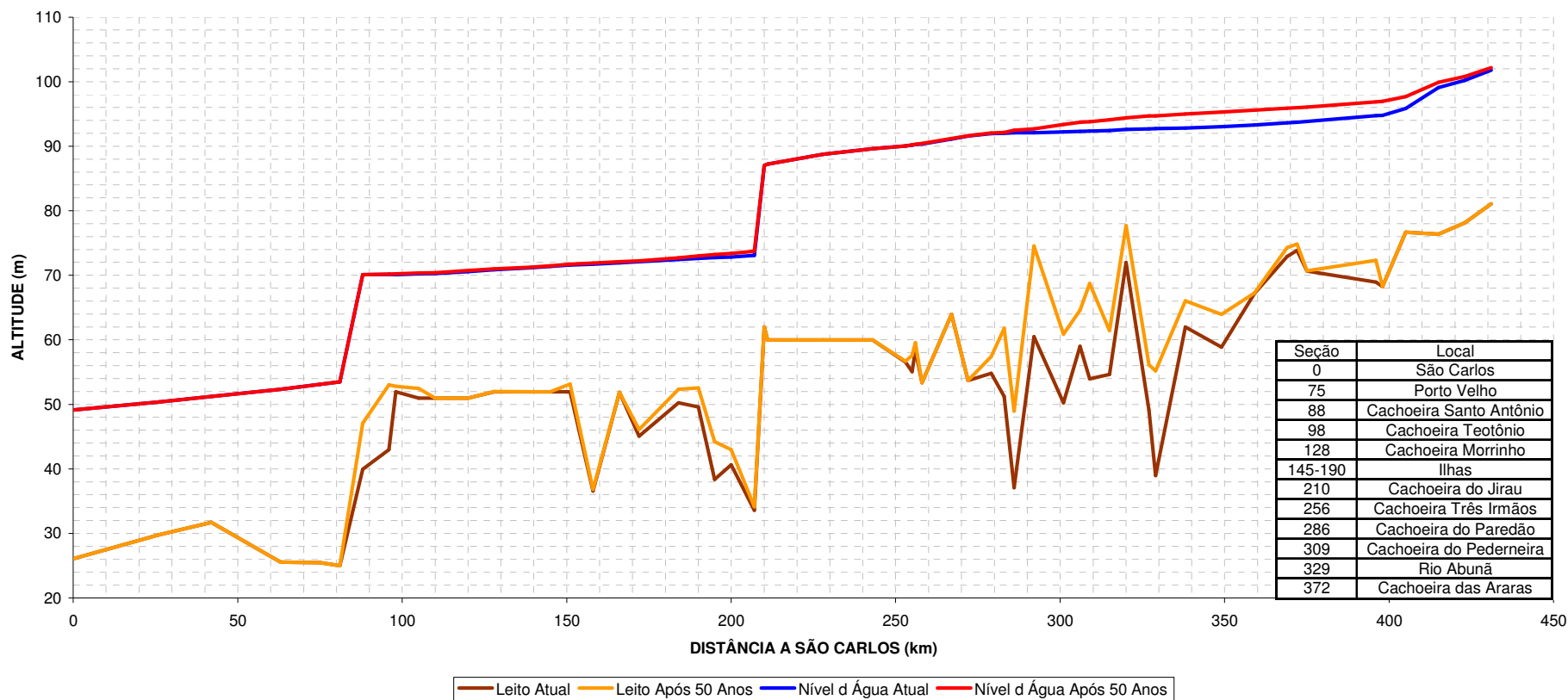


Tabela 6.26
Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 2-87 – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos –
AHE Jirau na El. 87,00 m

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	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	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	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. Simulações Considerando um Crescimento de 2% ao Ano na Produção de Sedimento no Rio Madeira

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

PERÍODO SEÇÃO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	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)

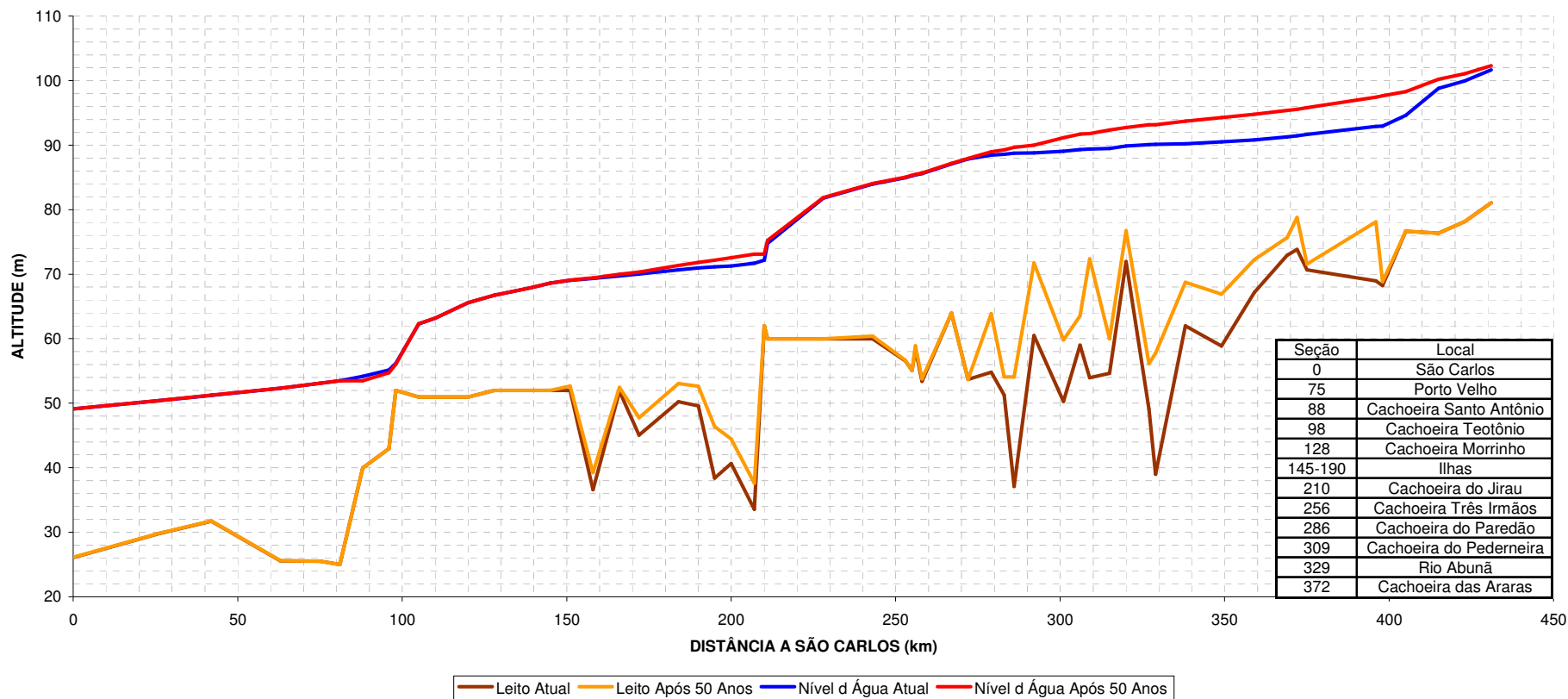


Tabela 6.30
Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 1S-C – Após a Construção do AHE Santo Antônio

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA
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)

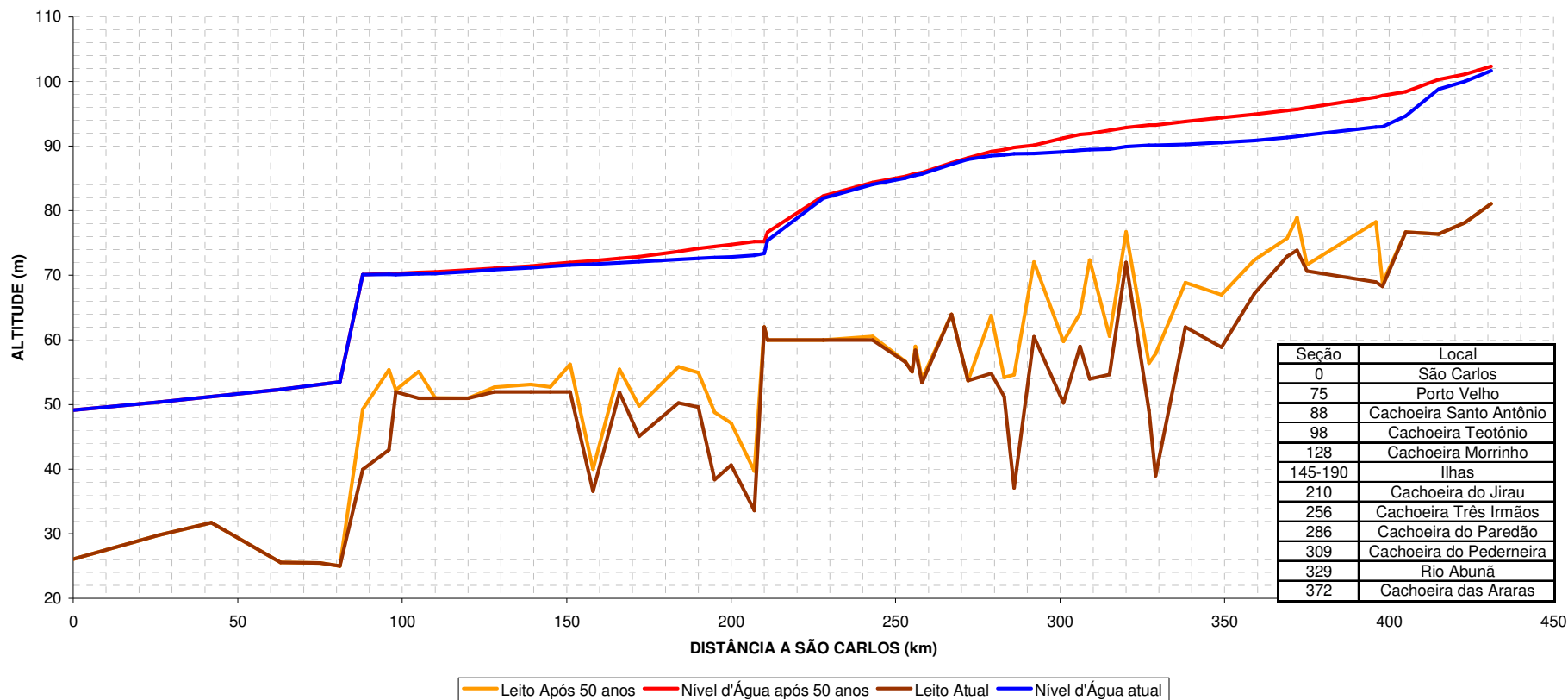


Tabela 6.32
Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 1J-C-90 – Após a Construção do AHE Jirau – El. 90,00 m

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	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	73.85	94.91	73.90	95.17	74.24	95.50	76.77	96.27	82.25	99.51
369	72.94	94.83	73.06	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	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	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	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	33.56	71.68	33.56	71.68	33.56	71.68	33.56	71.68	33.56	72.24
200	40.63	71.27	40.63	71.27	40.63	71.27	40.63	71.27	42.57	71.81
195	38.37	71.13	38.37	71.13	38.37	71.13	38.37	71.13	43.93	71.52
190	49.59	70.97	49.59	70.97	49.59	70.97	49.59	70.97	51.34	71.21
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	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	53.48
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 EI. 90,00 m
Perfil de Linha d'Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)

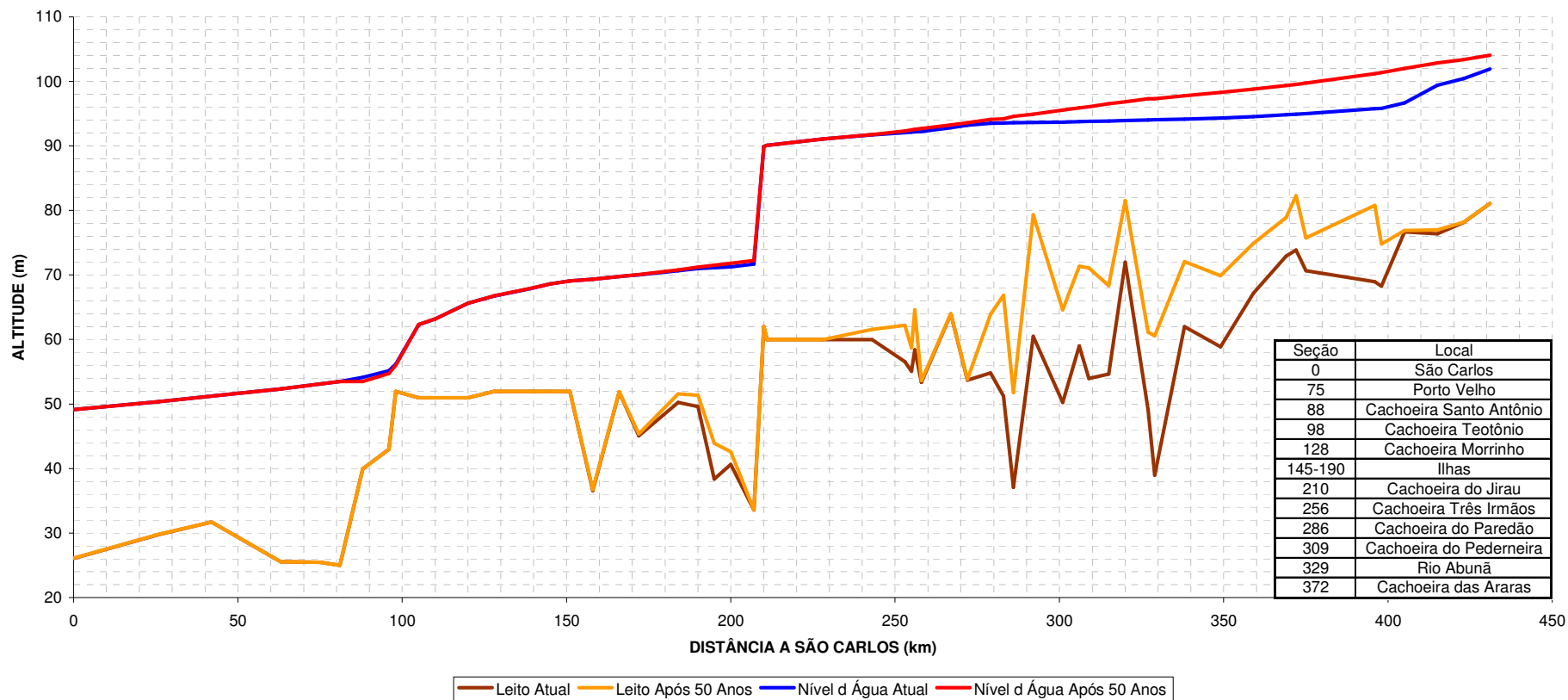


Tabela 6.34
Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 2-90-C – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos –
AHE Jirau na EI. 90,00 m

PERÍODO SEÇÃO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	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	73.85	94.91	73.90	95.17	74.24	95.50	76.77	96.27	82.25	99.51
369	72.94	94.83	73.06	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	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	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	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	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	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.94	51.85	71.94	51.99	72.10
158	36.58	71.71	36.58	71.72	36.58	71.72	36.58	71.72	37.01	71.87
151	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.59	51.97	71.59	53.10	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	70.97
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	39.96	70.10	40.07	70.10	40.11	70.10	40.33	70.10	46.51	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 6.35
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)

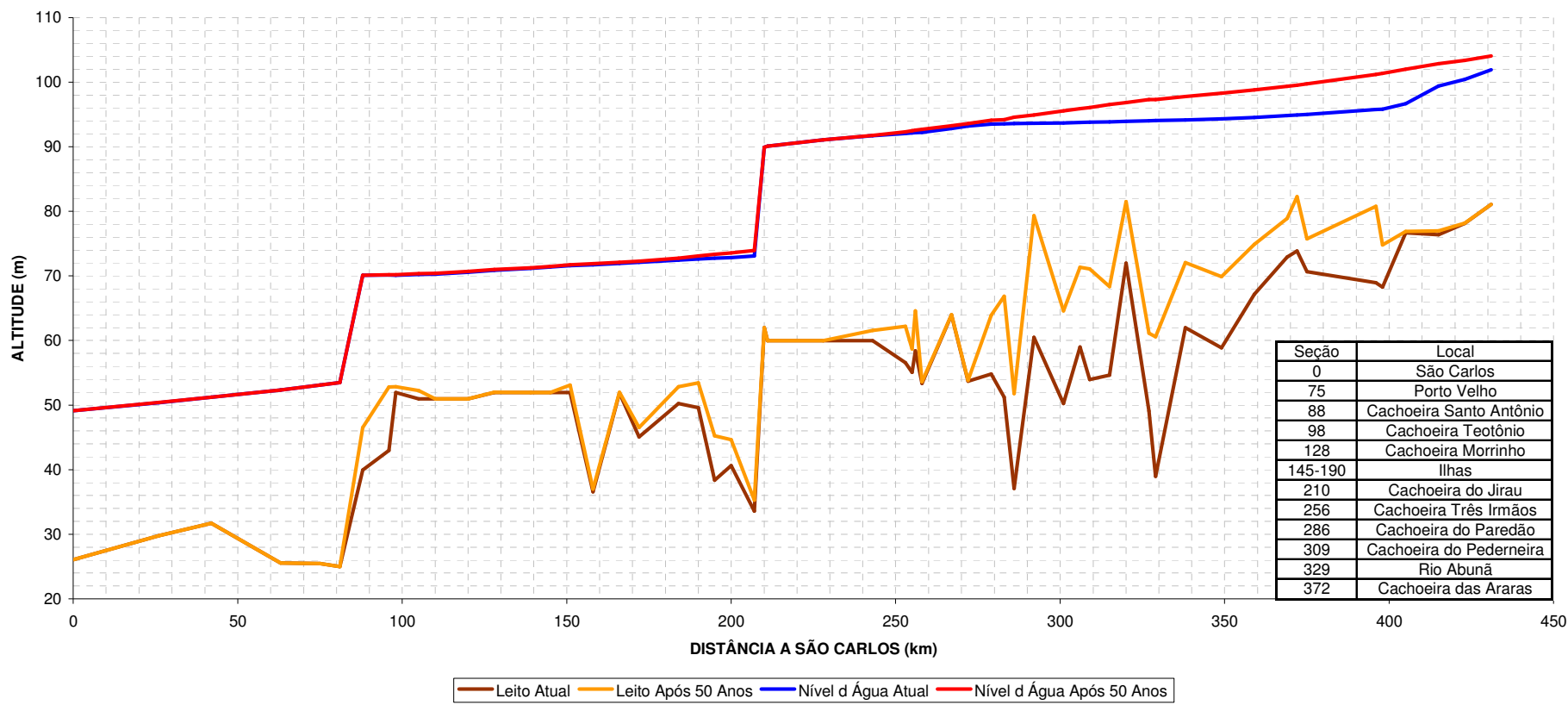


Tabela 6.36
Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 1J-87-C – Após a Construção do AHE Jirau – El. 87,00 m

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	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	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	45.05	70.01	45.05	70.01	45.05	70.01	46.43	70.11
166	51.85	69.73	51.85	69.72	51.85	69.72	51.85	69.72	51.99	69.79
158	36.58	69.31	36.58	69.31	36.58	69.31	36.58	69.31	37.72	69.34
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	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 6.37
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)

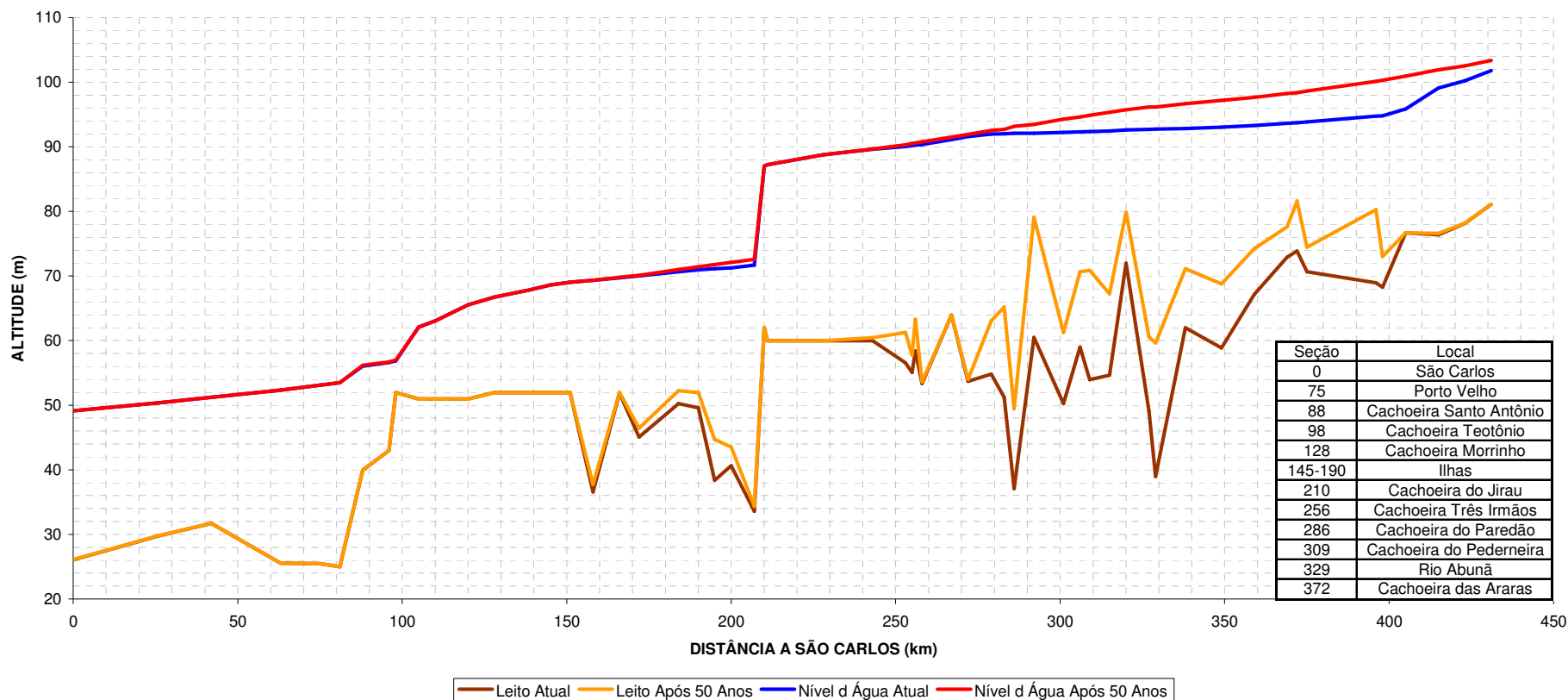
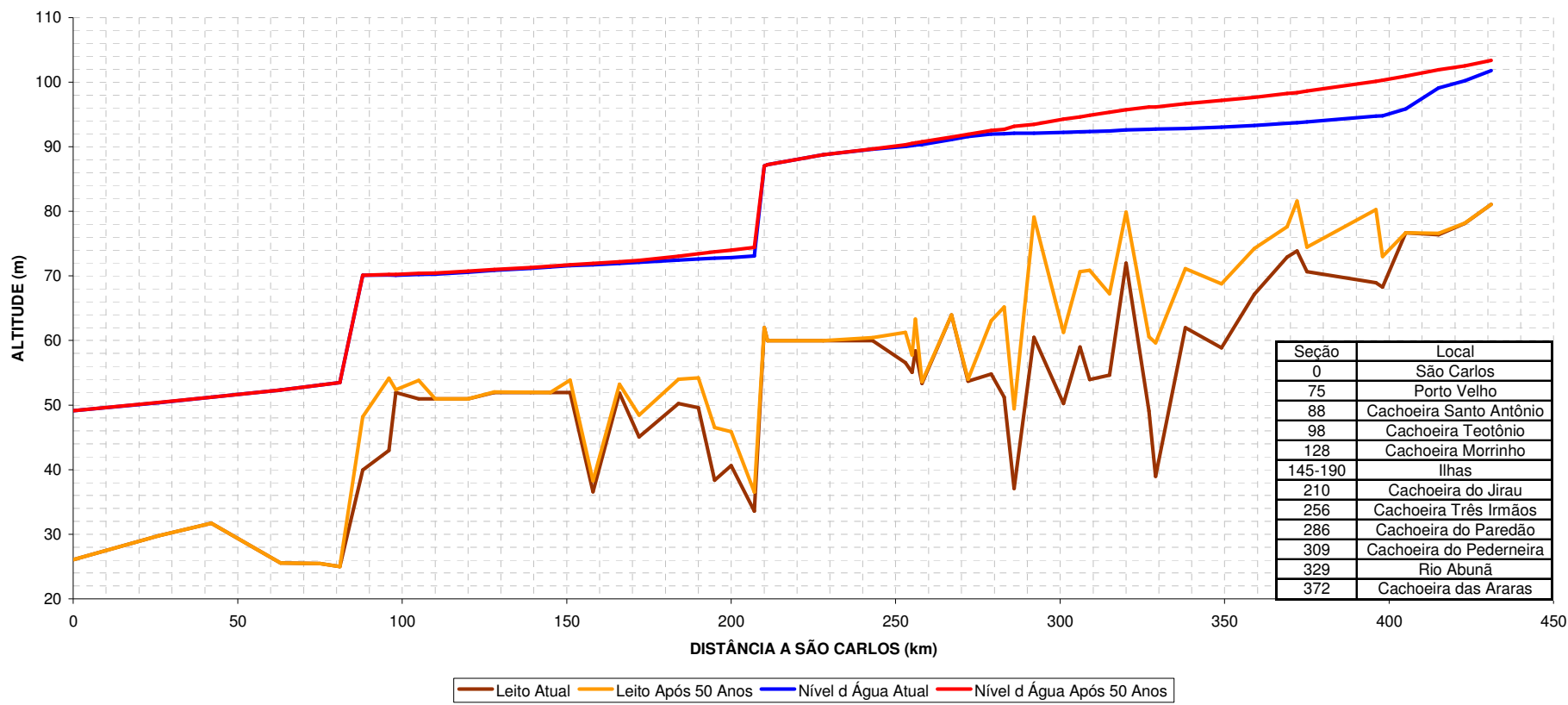


Tabela 6.38
Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 2-87-C – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos –
AHE Jirau na EI. 87,00 m

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	TALVEGUE	NA	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. Tendência Natural do Rio Madeira no Trecho em Estudo

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. Balanco 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 silteoso 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 refere-se 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	Sem Barragens	Com Santo Antônio	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:

- 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 consequência, menores.

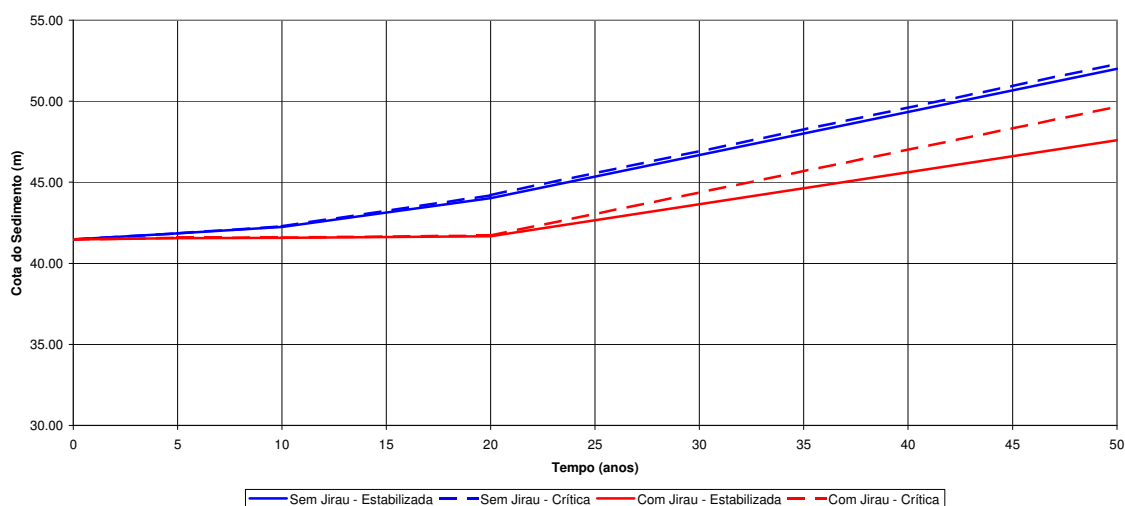
A Tabela 6.44, a seguir, mostra a evolução das cotas do leito do rio neste trecho próximo à barragem de Santo Antônio, com e sem a presença do reservatório de Jirau a montante, para as condições estabilizada e crítica de produção de sedimento na bacia.

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

Tempo (anos)	Sem o Reservatório de Jirau		Com o Reservatório de Jirau	
	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

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

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.

- 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.

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.