

TOMO E
VOLUME 1/3 – MEIO FÍSICO
SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	3
SOLICITAÇÕES DO IBAMA	4
1. Expectativa de vida útil dos reservatórios sem dragagem.	4
2. Expectativa de vida útil dos reservatórios com relação à altura do assoreamento no pé da barragem.....	4
3. Estudos detalhados a jusante do AHE Santo Antônio	4
4. Estudos detalhado de remanso e definição das envoltórias dos reservatórios considerando processo de sedimentação.....	4
5. Depósitos com ocorrências prováveis entre a confluência com o rio Beni e a confluência com o rio Jamari.....	4
6. Vida Útil dos AHEs com relação a altura de assoreamento no pé da barragem....	4
7. Informações sobre o material por arrasto.....	4
8. Estudos detalhados das cotas de altura de sedimentos no pé da barragem para condições estabilizada e crítica dos AHEs e evolução do sedimento junto às barragens	4
CONSOLIDAÇÃO DOS ESTUDOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DOS AHEs SANTO ANTÔNIO E JIRAU	6
1. INTRODUÇÃO	6
2. DESCRIÇÃO GERAL DOS EMPREENDIMENTOS	12
2.1. AHE Santo Antônio.....	12
2.2. AHE Jirau.....	16
3. ESTUDOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DO RIO MADEIRA	24
3.1. Dados Disponíveis.....	24
3.2. Análise dos Dados Hidrossedimentométricos.....	32
3.3. Série de Descargas Sólidas Totais Médias Mensais em AHE Santo Antônio	47
3.4. Série de Descargas Sólidas Totais Médias Mensais em AHE Jirau.....	47
4. AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO DOS RESERVATÓRIOS	50
4.1. Considerações Iniciais	50
4.2. AHE Santo Antônio.....	63
4.3. AHE Jirau.....	75
4.4. Análise de Sensibilidade dos Resultados.....	93

5.	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS SEDIMENTOS NO RIO MADEIRA	102
5.1.	Considerações Iniciais	102
5.2	Descrição do Modelo HEC-6.....	103
5.3	Dados Disponíveis Para Simulação.....	109
5.4	Procedimentos Para Ajuste do Modelo	117
5.5	Descrição dos Casos Simulados.....	121
5.6	Resultados das Simulações	122
5.7	Análise dos Resultados	148
5.8	Considerações Finais	153
4.5.	Considerações Finais	158
6.	ESTUDOS DE REMANSO DEVIDO AOS RESERVATÓRIOS	159
6.1.	Considerações Iniciais	159
6.2.	Perfis de Remanso	160
7.	TRANSPORTE DE SEDIMENTOS A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA SANTO ANTÔNIO	185
8.	MEDIDAS MITIGADORAS DOS PROCESSOS DE ASSOREAMENTO E DE EROSÃO	186
8.1.	Controle de Produção de Sedimentos na Bacia Hidrográfica.....	186
8.2.	Controle de sedimentos na área dos reservatórios	187
8.3	Controle de erosão de margens no trecho a jusante da barragem	191
9.	NOVOS ESTUDOS	191
10.	EQUIPE TÉCNICA	192
ANEXO 1 - ATAS DE REUNIÕES DE ESCLARECIMENTO COM A EQUIPE DO IBAMA		193

APRESENTAÇÃO

O presente documento corresponde à Revisão 1 do relatório denominado **TOMO E – Complementação e Adequação às Solicitações do IBAMA**, protocolado nessa instituição em 28 de abril de 2006 e que continha o atendimento às solicitações expressas no Ofício nº 135/2006, de 24 de fevereiro de 2006 – Pedido de Complementação e Adequação dos Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA dos AHEs Santo Antônio e Jirau, localizados no rio Madeira, no Estado de Rondônia.

Esta revisão vem detalhar parte do atendimento às solicitações de esclarecimentos e adequações do referido Tomo E, apresentadas no documento Informação Técnica Nº 08/2006 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA – Análise das Complementações ao EIA/RIMA do AHE Santo Antônio e do AHE Jirau, datado de 26 de junho de 2006 e entregue aos Empreendedores em 07 de julho de 2006.

Com o intuito de elucidar as solicitações de complementações e adequações dos estudos ambientais e, posteriormente, do detalhamento de parte destas, foram realizadas duas reuniões com a equipe de analistas da DILIQ/IBAMA, em 09 de março e em 07 de julho de 2006, respectivamente, das quais participaram técnicos desta diretoria e da equipe técnica dos Empreendedores; as Atas destas reuniões são apresentadas no Anexo 1.

A itemização adotada neste relatório segue a mesma estrutura do Tomo E versão original, que obedece à ordem das solicitações contidas no Pedido de Complementação e Adequação do IBAMA.

Para facilitar seu manuseio, em vista da grande quantidade de informações que contém, o presente documento foi organizado em 3 volumes, assim constituídos:

Volume I	Meio Físico
Volume II	Meio Biótico
Volume III	Meio Socioeconômico

SOLICITAÇÕES DO IBAMA

1. **Expectativa de vida útil dos reservatórios sem dragagem.**
2. **Expectativa de vida útil dos reservatórios com relação à altura do assoreamento no pé da barragem.**
3. **Estudos detalhados a jusante do AHE Santo Antônio**
4. **Estudos detalhado de remanso e definição das envoltórias dos reservatórios considerando processo de sedimentação.**
5. **Depósitos com ocorrências prováveis entre a confluência com o rio Beni e a confluência com o rio Jamari**
6. **Vida Útil dos AHEs com relação a altura de assoreamento no pé da barragem**
7. **Informações sobre o material por arrasto**
8. **Estudos detalhados das cotas de altura de sedimentos no pé da barragem para condições estabilizada e crítica dos AHEs e evolução do sedimento junto às barragens**

1. Apresentar estudos e informações mais detalhados sobre a expectativa de vida útil dos reservatórios, sem a necessidade de dragagem, levando em consideração a eficiência de retenção, materiais transportados por arrasto e relação [vazões afluentes / vazões defluentes / nº de turbinas em operação / energia gerada / operação do reservatório por regra, política ou demanda de geração de energia (ex.: picos de demanda) / nº. de ciclos e cotas de enchimento / depleção do reservatório / tempo / dinâmica cíclica de depósitos sedimentares].
2. A respeito dos estudos de vida útil dos AHEs com relação à altura de assoreamento no pé da barragem, apresentar estudo e prognóstico para a seguinte consideração:
 - Efeitos, a montante e jusante, da operação do vertedouro, para ambos os AHEs, cujas cotas são inferiores às dos canais de adução e altura de assoreamento no pé da barragem, considerando a probabilidade de anuais e repetidas aberturas e fechamentos das comportas.
 - Considerações e prognósticos quanto à fração transportada por arraste.
3. Apresentar maiores estudos a jusante do AHE Santo Antônio, considerando, entre as diversas variáveis, a deposição de materiais de escavação da fase de construção e efeitos de descargas oriundas do vertedouro.
4. Apresentação dos gráficos dos estudos de remanso em escala maior com pontos de interesse definidos e quadriculas nítidas, levantamento e definição da curva de nível envoltória dos reservatórios, confecção e apresentação de mapa e carta de imagem, todos com base nos estudos sedimentológicos, efeitos quanto ao remanso e vida útil dos empreendimentos baseado na “Curva Guia”, com reflexos nos meios físico, biótico e socioeconômico, uma vez que são esperadas cotas de inundação superiores às cotas máximas operacionais apresentadas (70,00 para Santo Antônio e 90,00 para AHE Jirau).

5. Considerações sobre outros depósitos com ocorrências prováveis no estirão fluvial entre a confluência com o rio Beni e a confluência com o rio Jamari.
6. Informações a respeito dos estudos de Vida Útil dos AHEs com relação a altura de assoreamento no pé da barragem para as seguintes considerações:
 - O AHE Santo Antônio, a partir de 10 anos, apresenta-se com altura de assoreamento no pé da barragem mais elevado do que a cota do canal de adução;
 - A ensecadeira localizada frontalmente ao canal de adução da tomada d'água com cota 63,00 (submerso) considerando o método construtivo descrito, o fato de ser colocada em operação de absoluto "over top" bem como a dinâmica hidráulica que poderá gerar imediatamente a montante da tomada d'água;
7. Informações a respeito do material por arrasto quando o estudo informa que a Taxa média de material transportado por arrasto é 6%, bem como 2% do material transportado é por salitação e/ou arrasto;
8. Estudos mais aprofundados quanto às diferentes cotas de altura de sedimentos no pé da barragem para as condições estabilizada e crítica dos AHEs Santo Antônio e Jirau obtidas a partir dos Estudos de Vida Útil dos AHEs e Evolução do Sedimento junto às barragens.

Em atendimento às solicitações listadas acima expressas no Ofício nº 135/2006, de 24 de fevereiro de 2006 e na Informação Técnica Nº 08/2006 – COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, datado de 26 de junho de 2006, apresenta-se a seguir o relatório de Consolidação dos Estudos Hidrossedimentológicos dos Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau, que visa esclarecer as questões levantadas pelo IBAMA.

CONSOLIDAÇÃO DOS ESTUDOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DOS AHEs SANTO ANTÔNIO E JIRAU

1. INTRODUÇÃO

Entre os temas abordados no EIA-RIMA dos aproveitamentos hidrelétricos Santo Antônio e Jirau, que vêm sendo objeto de solicitações de complementações e esclarecimentos por parte do IBAMA, incluem-se os relativos à sedimentologia. Esse tema mereceu especial atenção por parte dos empreendedores em todas as etapas de projeto em razão de: reconhecido potencial de transporte de sedimentos do rio Madeira, condição que confere especial importância aos estudos de assoreamento dos reservatórios; complexidade do assunto, que demandou uma abordagem contemplando variados cenários e a elaboração de sucessivos estudos; e do grande número de variáveis intervenientes nos processos de erosão e de transporte fluvial de material sólido, que dificulta sua quantificação.

Com a finalidade de atender as solicitações demandadas procedeu-se elaboração de novos estudos e a uma compilação dos diversos documentos emitidos no âmbito dos Estudos de Viabilidade dos empreendimentos em questão, na qual prevaleceram sempre os trabalhos mais recentes e que incorporam maior quantidade de dados básicos. Procurou-se, então, codificar tais estudos de acordo com uma seqüência lógica e didática, conforme descrito abaixo:

- Descrição geral dos empreendimentos, incluída no item 2, no qual os projetos dos aproveitamentos são explicados sucintamente, com ênfase para suas regras de operação;
- Estudos hidrossedimentológicos do rio Madeira, objeto do item 3, que identifica os dados básicos específicos empregados nos trabalhos e apresenta o processamento realizado para caracterizar o regime hidrossedimentológico do rio Madeira em Porto Velho, onde se localiza a melhor estação regional;
- Avaliação dos assoreamentos dos reservatórios, na qual foram empregadas metodologias tradicionais para estimativa das suas vidas úteis e para identificação das alturas que os depósitos de sedimentos poderão alcançar junto aos barramentos, apresentada no item 4;
- Distribuição espacial dos sedimentos, comentada no item 5, que se constituiu numa tentativa de prognosticar a configuração dos depósitos de sedimentos utilizando-se um modelo computacional, apesar da insuficiência de dados requeridos pelo respectivo processamento;
- Estudos de remanso, incluídos no item 6, que permitiram avaliar as sobrelevações de nível d'água que serão causadas pelos barramentos para diferentes vazões afluentes;
- Transporte de sedimentos a jusante do AHE Santo Antônio, discussão apresentada no item 7, acerca do impacto sobre o regime hidrossedimentológico rio abaixo desse empreendimento, devido à retenção de material sólido exercida pelos reservatórios;

- Medidas mitigadoras dos processos de assoreamento e de erosão, relacionadas no item 8, que deverão ser detalhadas por ocasião da formulação dos programas de controle ambiental;
- Novos estudos, recomendados no item 9, com a finalidade de aprofundar o conhecimento do assunto, incorporando dados e informações ainda em fase de coleta, que tem caráter dinâmico.

Especial atenção foi dada aos quesitos específicos levantados na “Informação Técnica nº 08/2006-COVID/CGENE/DILIC/IBAMA”, de 26 de junho de 2006, cujas explicações foram detalhadas ao longo deste relatório. As principais conclusões relacionadas com as exigências do IBAMA, mesmo as não explicitadas nesse documento, contudo, são resumidas antecipadamente a seguir:

- Os sedimentos têm uma granulometria predominantemente fina, uma vez que são constituídos por 25 % de argila, 60,6 % de silte, 12% de areias finas com diâmetro de até 0,25 mm e 2,4% de areias médias, areias grossas e traços de cascalho (item 3);
- A descarga sólida do leito é igual a cerca de 6% da descarga sólida em suspensão e compreende a parcela de sedimentos transportada por saltitação e a parcela de sedimento transportado por arrasto. Somente 0,44% da descarga sólida total corresponde ao sedimento grosso (areia média, areia grossa e traços de pedregulhos), que pode ser associado transporte por arrasto. Portanto, as medições de descarga sólida e os respectivos processamentos atestam que o transporte de material de arraste local do rio Madeira é insignificante, se comparado ao transporte de material sólido saltante e em suspensão (item 3);
- A concentração de sedimentos em suspensão, cuja média é de 750 mg/l, varia de 120 mg/l em águas baixas até 3.500 mg/l em águas altas. No local da AHE Santo Antônio, a descarga sólida total média anual é igual a 1.621.024 t/dia (item 3.3) e no local da AHE Jirau, a descarga sólida total média anual é de 1.594.529 t/dia (item 3.4);
- Os Vertedouros de Jirau e Santo Antônio terão condições de funcionamento semelhantes às de Descarregadores de Fundo, já que as cotas de fundo dos seus canais de aproximação (El. 62,00 m e 42,00 m, respectivamente) são ligeiramente superiores às cotas locais do fundo do rio. Essa característica possibilitará que as parcelas de sedimento transportadas por arraste e saltitação até a região do barramento, compostas de areias médias e grossas e traços de cascalho, possam ser carreadas para jusante antes mesmo que os depósitos que venham por elas a ser formados alcancem as cotas das soleiras dos Vertedouros. Bastará, para isso, que o material sólido preencha as depressões da calha fluvial local, o que se dará em um tempo relativamente curto. As características peculiares do sedimento (granulometria), das condições de escoamento ao longo do reservatório e as características hidrodinâmicas e de transporte da região do Vertedouro e Tomada d’Água foram exaustivamente detalhadas no item 4.1;

Nota: As características granulométricas e de transporte sólido supracitadas são médias e resultaram de 35 medições de descarga sólida do rio Madeira em Porto Velho, realizadas entre 01/11/2003 e 10/09/2004, exceto onde especificado.

- Adotando-se hipóteses de cálculo conservadoras, a aplicação do método clássico de avaliação de assoreamento de reservatórios, em que se utiliza a curva de Brune, indica que suas capacidades de retenção de sedimentos no início da operação são da ordem de 20%. Além disso, verifica-se que essa capacidade diminui com o tempo até se anular, ainda com um volume disponível significativo nos reservatórios. Valores desprezíveis, todavia, já são atingidos ao final dos primeiros 15 anos de operação, algo em torno de 3% no AHE Santo Antônio e 4% no AHE Jirau. Desse ponto de vista, portanto, a vida útil dos empreendimentos é ilimitada (itens 4.2 e 4.3);
- Nos cálculos de assoreamento que conduziram aos percentuais supracitados, também foram determinados os volumes de sedimentos retidos, volumes esses que não podem ser associados a cotas únicas do topo dos depósitos de sedimentos, já que eles não ocorrem segundo camadas horizontais. Nos casos dos reservatórios em análise, espera-se que o assoreamento se dê em formato entre cunha e depósito em camadas uniformes, decrescendo de espessura de montante para jusante (item 4.4);
- As simulações do assoreamento do reservatório pelo método de redução de área para o AHE Jirau foram realizadas apenas para duas situações de nível d'água operacional, 87,0 e 90,0 m, respectivamente o nível médio definido pela curva guia e o nível d'água máximo normal. Não foi estudada a situação com nível d'água variando mês a mês devido a restrições da aplicação da metodologia. Ressalta-se que os resultados da simulação com NA máximo normal (90,00 m) corresponde à situação mais conservadora, tendo sido utilizada para dimensionamento das proteções do canal de adução (item 4.3).
- Ao se conceber os arranjos dos aproveitamentos procurou-se incorporar algumas características aos mesmos visando proteger os equipamentos do circuito de geração quanto a desgastes prematuros por abrasão e mitigar os efeitos de assoreamento nos reservatórios e de problemas erosivos a jusante. Em ambos os aproveitamentos, por exemplo, na entrada dos canais de adução das estruturas de Tomada D'água haverá uma soleira mais alta, para dificultar o acesso dos sedimentos, sobretudo de sua parcela mais pesada, às respectivas turbinas. Ao mesmo tempo, essa solução tende a induzir a deposição temporária dos sólidos a montante dessas entradas, até que, durante as cheias, o fluxo para o Vertedouro, que se processará com maior energia os conduza para jusante (item 4.2 e 4.3);
- Ainda que o efeito de remoção de sedimentos supracitado não tivesse sido previsto, as Tomadas d'Água permaneceriam protegidas do assoreamento, uma vez que as respectivas entradas dos canais de adução se encontram em cotas superiores às dos depósitos de sedimentos nos pés das barragens. Em outras palavras, mesmo que todo o volume do reservatório na cota da soleira da tomada d'água fique assoreado, ela permanecerá operacional. Também desse ponto de vista, portanto, a vida útil dos aproveitamentos é ilimitada (itens 4.2 e 4.3);
- As análises paramétricas do assoreamento considerando um aumento da carga sólida total (aumento da descarga sólida do leito), através de uma maior relação Q_{ST}/Q_{SS} ou da utilização da série de descarga média diária ao invés da mensal, permitiram concluir que a situação adotada no projeto é mais conservadora que as outras alternativas estudadas, não

indicando a necessidade de revisões no dimensionamento das proteções recomendadas no projeto (cota de fundo do canal de adução no AHE Jirau e da cota do septo de proteção a montante do canal de adução do AHE Santo Antônio) ou alterações nas conclusões sobre o assoreamento a vida útil dos reservatórios. (item 4.4)

- Considerando a granulometria fina da carga sólida que transitará pelo circuito hidráulico de geração, não se espera que as máquinas sejam afetadas por abrasão, já que estas condições (concentração, granulometria, vazão, etc.) estão sendo consideradas no projeto das turbinas, grades, peças fixas etc. (item 4.1);
- O fato do circuito hidráulico das turbinas Bulbo ser praticamente alinhado na direção montante-jusante, portanto sem curvas acentuadas, também contribui para minimizar os desgastes por abrasão, ao contrário do que acontece nos casos das turbinas Kaplan ou Francis (item 4.1);
- Os estudos para caracterização da distribuição espacial dos sedimentos no rio Madeira, realizados através de simulação com o modelo HEC-6, foram elaborados visando estabelecer tendências de deposição ao longo do estirão fluvial na condição sem barragens e com a implantação dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio (item 5.1). As simplificações práticas decorrentes da pequena quantidade de seções transversais e da indisponibilidade de dados granulométricos ao longo do estirão, bem como as imprecisões inerentes ao processo de medições de descargas sólidas, determinam uma utilização apenas qualitativa dos resultados da modelagem fluvial, valorizando mais as tendências observadas e menos as avaliações quantitativas geradas pelo modelo. (item 5.2).
- Os resultados fornecidos pelas duas modelagens (método de redução de áreas e HEC-6) foram diferentes, apesar de apontarem para a mesma tendência, não devem ser comparados diretamente sem uma crítica. Não faz o menor sentido usar os resultados de um modelo para calibrar os resultados do outro, já que não se pode prever com exatidão o comportamento sedimentológico em questão. Importante é o entendimento das razões dessas diferenças. (item 5.7).
- A evolução do leito para as várias situações analisadas no trecho entre Jirau e Abunã parece ter sido exagerada pelo modelo HEC-6, uma vez que não se observa uma tendência de alteração da curva-chave do posto fluviométrico de Abunã, situado a montante e que vem sendo operado ao longo dos últimos 30 anos. Este fato indica que, pelo menos nesse período, o processo de assoreamento do estirão do rio Madeira entre Jirau e Abunã ainda não foi capaz de afetar de forma significativa a referida curva-chave, ao contrário do que indicam os resultados da modelagem. Outro fato que corrobora esta conclusão são as pequenas alterações das conformações de ilhas e depósitos sedimentares no trecho, identificados em imagens de satélite, contrastando com os elevados volumes de depósito sugeridos pelo modelo. (item 5.7)
- O regime hidrossedimentológico do rio Madeira a jusante dos aproveitamentos, conseqüentemente, será pouco alterado e tenderá a ser normalizado em prazo

relativamente curto. Estão sendo desenvolvidos estudos mais aprofundados visando confirmar a tendência assinalada. (item 7)

- As escavações a serem realizadas durante a fase construtiva estarão protegidas por ensecadeiras, de tal modo que o processo de escavação em si não irá produzir carga de sedimentos para jusante da obra. Durante a construção das ensecadeiras, quando é efetuado o lançamento de solos e de material rochoso para sua estabilização, haverá produção e lançamento de uma carga sedimentar adicional no curso d'água do rio Madeira. Esta carga, além de ser pequena, relativamente à carga sedimentar naturalmente presente no rio Madeira, deverá ocorrer durante dois períodos localizados: no decorrer do lançamento das ensecadeiras, no início das obras, e durante sua remoção, ao final (item 8).
- Enquanto o assoreamento dos futuros reservatórios estiver se processando, haverá uma intensificação dos efeitos de remanso, com elevação gradual ao longo do tempo, dos níveis d'água na região de montante dos reservatórios, para uma dada vazão. Quando o processo de aumento dos depósitos de sedimentos cessar, deixará de ocorrer, também, a elevação dos níveis d'água em questão (item 6.1);
- Os resultados dos estudos de remanso são apresentados sob a forma de gráficos que foram reformulados, apresentando neste trabalho escala maior que a utilizada em documentos anteriormente emitidos (item 6.2.2);
- Para o AHE Santo Antônio, todavia, essa intensificação é desprezível, o que já não se pode afirmar em relação ao prognóstico obtido para a região de montante do reservatório de Jirau. Nela se localiza a vila de Abunã, onde, no início da operação deste aproveitamento não ocorreriam inundações para cheias de recorrência de até 50 anos. Mesmo com o assoreamento previsto em 35 anos de operação, o rio Madeira ficaria, ainda, contido em sua calha para a cheia de até 10 anos de recorrência com 5% de intervalo de confiança, que é aproximadamente igual a máxima cheia já observada em 35 anos de observação na estação de Porto Velho. Na hipótese de ocorrência de cheias de 25 anos de recorrência, todavia, ocorreriam extravasamentos da calha fluvial com o assoreamento correspondente a 12 anos de operação, enquanto que para cheias de 50 anos de recorrência este período é de cerca de 4 anos. Registre-se, porém, que esse inconveniente não ocorreria caso se repetissem as cheias observadas dos últimos 35 anos (item 6.2.3);
- Os prognósticos acima devem ser considerados com a devida precaução, pois apresentam incerteza acentuada. Para reduzi-la, propõe-se caracterizar de forma precisa a influência da implantação dos reservatórios sobre os níveis d'água do rio Madeira. Com esse objetivo, serão executados monitoramentos específicos, que terão que contemplar os primeiros anos de operação dos aproveitamentos. Isso poderá ser levado a cabo com boa margem de segurança, já que, conforme explicado acima, mesmo na hipótese de ocorrência de uma cheia de 25 anos de recorrência, ainda não registrada na região, os extravasamentos na região de montante do reservatório de Jirau somente ocorreriam após 12 anos de operação, sem considerar a implantação de outras usinas a montante, inclusive em território boliviano. Dispor-se-á, portanto, de um período suficiente e adequado para a otimização e complementação dos estudos de assoreamento e de remanso dos

reservatórios, assim como, caso necessário, para a implementação de medidas mitigadoras e/ou compensatórias dos impactos potenciais (item 6.2.3);

- Dentre essas medidas que, se for o caso, serão estudadas, destacam-se as seguintes:
 - Relocação da população e da infra-estrutura potencialmente atingida;
 - Implantação de sistema de alerta de inundações;
 - Construção de diques de proteção;
 - Adequação de sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário;
 - Implementação de ações de comunicação social que contemplem o esclarecimento da população eventualmente afetada sobre a questão;
 - Compensação onde a relocação, mitigação ou controle não forem adequados (item 6.2.3);
- As manchas de inundação relativas às vazões de cheia com tempos de recorrência de 10 e de 25 anos não apresentaram diferenças sensíveis em relação à referente ao tempo de recorrência de 50 anos, razão pela qual somente se apresentou a planta relativa à última. Isso em virtude das diferenças de nível d'água correspondentes às diversas vazões, pequenas quando comparadas com a equidistância das curvas de nível da base cartográfica e da sua escala. Além disso, a precisão dos resultados da modelagem do assoreamento não justificaria uma análise tão detalhada que, entretanto, deverá ser procedida numa fase posterior dos estudos, conforme explicado mais adiante. Além disso, em virtude de representar a situação mais desfavorável em termos de impactos negativos, a planta supracitada representa apenas a mancha de inundação para o reservatório assoreado (item 6.2.3);
- Em todos os cálculos, desconsideraram-se os efeitos sinérgicos da implantação de mais de um aproveitamento, isto é, admitiu-se que cada reservatório seria implantado isoladamente. Dessa forma, considerou-se que a descarga sólida afluyente a cada um deles não é alterada por barramentos construídos a montante (item 4.1).

2. DESCRIÇÃO GERAL DOS EMPREENDIMENTOS

2.1. AHE SANTO ANTÔNIO

2.1.1. Descrição Geral do Arranjo (Desenho PJ-0532-V3-GR-DE-0021-01)

O Arranjo do AHE Santo Antônio foi desenvolvido com todas as estruturas de concreto - Vertedouro, Tomada D'água e Casa de Força - dispostas nas margens do rio e na ilha do Presídio, com as escavações, concretagens e montagens eletromecânicas respectivas executadas com o rio no braço principal de seu leito natural. O fechamento do rio, através de Barragem de Enrocamento e Ensecadeiras incorporadas, é realizado ao final, com o desvio se processando pelo Vertedouro.

O eixo do aproveitamento configura uma poligonal formada (da direita para esquerda): pelo eixo retilíneo, do Vertedouro, pelo eixo em curva da Barragem de Enrocamento (de fechamento do leito do rio) e pelo eixo retilíneo da Tomada D'água / Casa de Força.

Na primeira fase de construção o rio Madeira é mantido no braço principal de seu leito natural. As Ensecadeiras Auxiliares, que permitem a construção em suas margens mesmo nos períodos de cheia, foram dimensionadas para diferentes tempos de recorrência definidos em função da duração da sua permanência (número de períodos de cheias que enfrentarão) e dos eventuais danos e conseqüentes atrasos de cronograma. Durante esta fase serão executados:

Na margem esquerda:

- 44 unidades da Tomada d'Água/Casa de Força, com largura de bloco igual a 22,60 m, divididas em dois conjuntos de 24 e 20 unidades, separados pela Área de Montagem Auxiliar AM-5 e AM-6;
- Muro Divisor em CCR, transversal ao eixo do barramento, com extensão a montante e a jusante para encosto das Ensecadeiras Auxiliares 8 e 9, respectivamente a montante e a jusante;
- Muro de Encosto em CCR na extremidade direita da Casa de Força, com eixo retilíneo, de direção perpendicular ao eixo desta, definindo os limites dos Canais de Adução e de Fuga, no qual são encostadas, na face esquerda, as Ensecadeiras Auxiliares 8 e 9 e, na face direita, a Barragem de Enrocamento e as Ensecadeiras Principais;
- Canais de Adução e de Fuga escavados nas cotas 58,00 m e 42,00 m, respectivamente, sendo que a entrada do primeiro, a ensecadeira de 1ª Fase será removida apenas parcialmente, ficando o coroamento da parte remanescente submersa, à cota 63,00 m, o qual exercerá, de fato, o controle hidráulico de fundo da adução;
- Área de Montagem Principal, AM-1 a AM-4, com 4 blocos de 22,60 m de largura, e Área de Descarga, bloco de 12,00 m de largura, ambas localizadas externamente à Tomada d'Água / Casa de Força, em sua extremidade esquerda;

- Área de Montagem Auxiliar, AM-5 e 6, em correspondência ao Muro Divisor da Casa de Força, montante e jusante, com largura equivalente a 2 blocos de 22,60 m;

Na margem direita:

- Vertedouro com 21 vãos de 20,00 m de largura e soleira na El. 50,00 m, com comportas segmento. Da maneira como foi projetado, o vertedor apresenta características de funcionamento similares às de um descarregador de fundo, assunto que é abordado em detalhe no item 4.1.
- Canal de Aproximação, em curva, com cota de fundo em patamares nas elevações 60,00, 47,00 e 42,00 m, de montante para jusante;
- Canal de Restituição, com seu eixo alinhado com a direção natural do rio a jusante, situando-se na El. 42,00.

Além dessas estruturas está prevista a construção de Eclusa e Canais de Navegação, localizados na margem esquerda, com eixos com pequenas curvaturas, estando o conjunto afastado cerca de 100 metros da Área de Descarga.

Concluídas as concretagens e instalações eletromecânicas do Vertedouro, bem como do primeiro conjunto de Tomada d'Água / Casa de Força (24 unidades), as Ensecadeiras Auxiliares serão removidas e iniciado o fechamento do rio.

O fechamento tem início com o lançamento de cordões de enrocamento das pré-ensecadeiras de montante e jusante, em enrocamento lançado e vedado por montante com solo lançado, e o conseqüente desvio do rio pelo Vertedouro. Após a construção das pré-ensecadeiras serão iniciadas as Ensecadeiras Principais que serão incorporadas à Barragem de Enrocamento. Essas ensecadeiras, dimensionadas para cheias de 1.000 anos de recorrência, deverão ter cotas de crista iguais a 73,00 e 66,00 m, montante e jusante, respectivamente.

Em razão dos grandes volumes necessários à construção da Barragem de Enrocamento e da limitação do prazo disponível entre a conclusão das Ensecadeiras Principais e o início do período chuvoso, sua execução é prevista para o próximo período hidrológico. No período chuvoso subsequente (se possível) e no próximo período de estiagem serão executados os tratamentos de fundações e o próprio maciço da Barragem de Enrocamento, com núcleo argiloso e cota de crista na El. 75,50 m.

O enchimento parcial do reservatório se dará após a construção das Ensecadeiras Principais que permitem o comissionamento e o início da operação com as 6 primeiras unidades geradoras.

As Ensecadeiras Auxiliares 8 e 9 serão removidas por dragagem após a conclusão das montagens eletromecânicas correspondentes ao segundo conjunto de unidades geradoras. O conjunto das estruturas de barramento possui a cota de coroamento na El. 75,50 m, garantindo uma borda livre de 3,50 m acima do N.A. máximo maximorum.

Além desse conjunto de estruturas está prevista também a relocação das pontes sobre o igarapé Bate-estaca e rios Caracol e Jaci-Paraná, da Rodovia BR-364, e também o alteamento do greide dos trechos próximos a estes locais, devido à interferência com o reservatório.

2.1.2. Reservatório

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

Na cota 70,00 m, NA máximo normal, o reservatório acumula um volume da ordem de $2.050 \times 10^6 \text{ m}^3$, ocupando uma área de 271 km^2 . Dessa área, cerca de 164 km^2 correspondem à inundação natural, resultando um acréscimo de área inundada de apenas 107 km^2 .

Destaca-se ainda que mesmo durante a ocorrência da vazão decamilenar, $Q = 84.000 \text{ m}^3/\text{s}$, e com a usina interligada ao Sistema Elétrico, a capacidade de descarga do vertedouro e das turbinas permitem o controle do nível d'água do reservatório mantendo-o em seu NA máximo normal (70,00).

2.1.3. Regra Operativa

A AHE de Santo Antônio será operada como uma *usina a fio d'água* em razão do pequeno volume do reservatório comparativamente às vazões afluentes. Nesta condição, as turbinas e o vertedouro são operados de forma a manter a vazão defluente igual à vazão afluente ao reservatório e, conseqüentemente, o nível d'água do reservatório constante.

Portanto, não há previsão de regularizações, nem mesmo a nível diário para atendimento a demandas de geração de energia em ponta. Tão pouco existe previsão de deplecionamento do reservatório para controle de cheias.

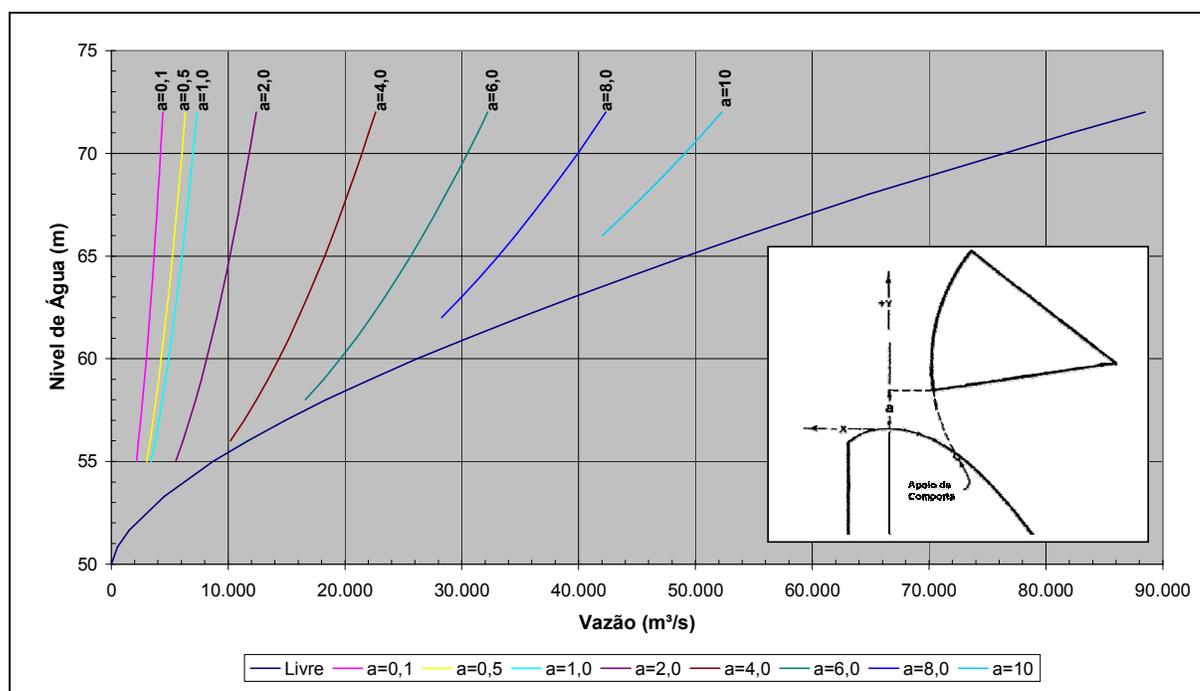
Vazões afluentes inferiores a $24.684 \text{ m}^3/\text{s}$ ($44 \times 561 \text{ m}^3/\text{s}$), que corresponde à vazão máxima de engolimento de todas as 44 unidades, são completamente descarregadas pelas turbinas. Para vazões superiores, o que exceder a capacidade de engolimento das máquinas é descarregado pelo vertedouro.

Exemplo: Para uma vazão afluente igual a $48.600 \text{ m}^3/\text{s}$, que corresponde à vazão máxima observada em todo o histórico, cerca de $24.684 \text{ m}^3/\text{s}$ serão descarregados pelas turbinas e cerca de $23.916 \text{ m}^3/\text{s}$ pelo vertedouro.

A curva de capacidade de descarga total do vertedouro (21 vãos) com e sem controle de comportas é apresentado na Figura 2.1, onde podem ser observadas as seguintes vazões características:

	Vazão por vão m ³ /s	Vazão total m ³ /s
Abertura da comporta = 0,50 m e NA = 70,00 m	288	6.050
Abertura da comporta = 1,00 m e NA = 70,00 m	333	6.993
Abertura da comporta = 2,00 m e NA = 70,00 m	562	11.811
Abertura da comporta = 4,00 m e NA = 70,00 m	1.022	21.457
Abertura da comporta = 6,00 m e NA = 70,00 m	1.452	30.484
Abertura da comporta = 8,00 m e NA = 70,00 m	1.904	39.992
Sem Controle de Comporta e NA = 70,00 m	3.607	75.744
Com Controle de Comporta e NA = 70,00 m Incluindo o engolimento das 44 máquinas resulta, neste último caso, 84.000 m ³ /s de defluência total.	2.824	59.316

Figura 2.1
AHE Santo Antônio
Curva de Capacidade da Descarga Vertedouro com Controle de Comportas



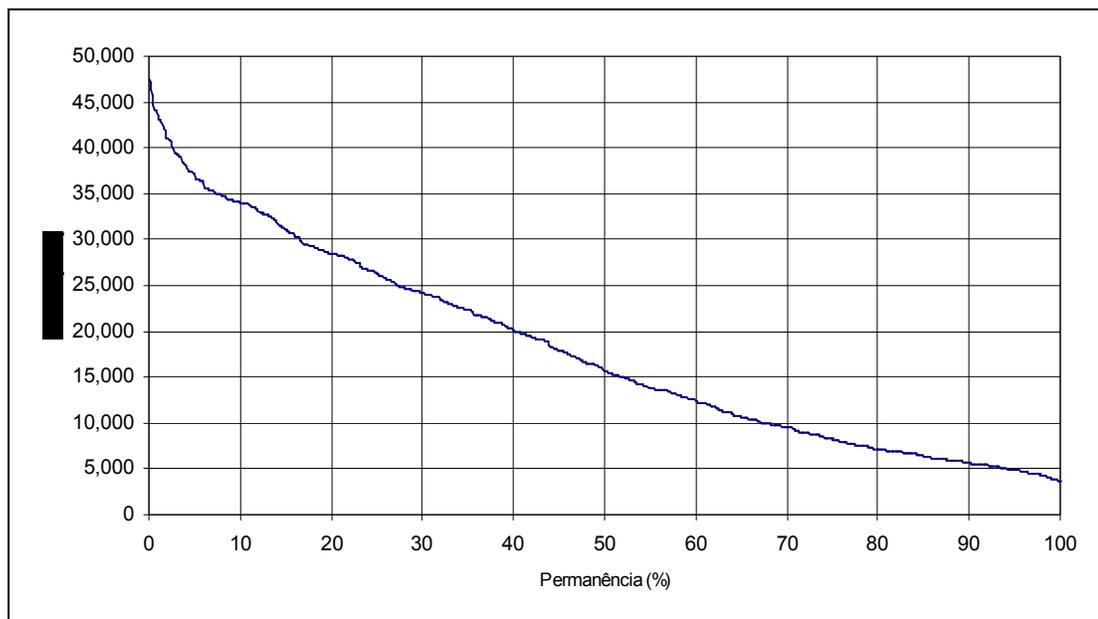
Como é usual, a regra operacional do vertedouro - seqüência detalhada de aberturas das comportas - está prevista para ser estabelecida a partir de ensaios em modelo físico, a escala reduzida, a serem realizados durante os projetos básico e executivo da usina. Entretanto, alguns conceitos básicos estão previamente estabelecidos e deverão ser confirmados nesses estudos, a saber:

- aberturas de comportas graduais dos vãos centrais para as extremidades e fechamento em sentido inverso;
- comportas dos vãos do vertedouro com igual abertura, de modo a evitar a formação de vorticidades do escoamento a montante e correntes de recirculações a jusante.
- abertura / fechamento gradual das comportas de forma a evitar variações bruscas de vazões e níveis (ondas rápidas) no estirão fluvial a jusante.

Fazendo uso das vazões características apresentadas anteriormente, tem-se que, para uma vazão afluente igual a $48.600 \text{ m}^3/\text{s}$, cerca de $24.700 \text{ m}^3/\text{s}$ serão descarregados pelas turbinas e o restante pelo vertedouro, com os 21 vãos em abertura parcial das comportas da ordem de 5 m.

Com base na curva de permanência de descargas médias mensais (Figura 2.2) pode-se estimar que a frequência média de operação do vertedouro - vazões afluentes superiores a $24.684 \text{ m}^3/\text{s}$ será da ordem de 30 % do tempo, ou seja, de 3 a 4 meses por ano.

Figura 2.2
AHE Santo Antônio
Curva de Permanência de Vazões Média Mensais



2.2. AHE JIRAU

2.2.1. Descrição Geral do Arranjo (Desenho PJ-519-V3-GR-DE-0021)

O Arranjo da AHE Jirau foi desenvolvido com todas as estruturas de concreto - Vertedouro, Tomada D'água e Casa de Força - dispostas nas margens do rio, com as escavações, concretagens e montagens eletromecânicas respectivas executadas com o rio em seu leito

natural. O fechamento do rio, através de Barragem de Enrocamento e Ensecadeiras incorporadas, é realizado ao final, com o desvio se processando pelo Vertedouro.

O eixo do aproveitamento configura uma poligonal formada (da esquerda para direita): pelo eixo retilíneo, do Vertedouro, pelo eixo da Barragem de Enrocamento (de fechamento do leito do rio), em curva circular imediatamente a montante do início da Cachoeira de Jirau; pelo eixo da Barragem de CCR, paralelo ao rio e sobre a margem direita, e pelo eixo retilíneo das Tomadas D'água / Casa de Força, localizado a cerca de 500 m da margem direita, e que forma com o eixo da Barragem de CCR uma deflexão de aproximadamente 90°.

Na primeira fase de construção o rio Madeira é mantido em seu leito natural. As Ensecadeiras Auxiliares 1 e 2 na margem direita e a Ensecadeira Auxiliar 4 na margem esquerda, dimensionadas para cheia de 300 anos de tempo de recorrência, para enfrentarem 3 períodos de cheias, permitem a construção em suas margens mesmo nos períodos de cheia. Durante esta fase serão executados:

Na margem direita:

- 44 unidades da Tomada d'Água / Casa de Força, com largura de bloco igual a 22,10 m, divididas em dois conjuntos de 24 e 20 unidades, separados pela Área de Montagem Auxiliar AM-5 e AM-6;
- Muro Divisor em CCR, transversal ao eixo do barramento, com extensão a montante e a jusante para encosto das Ensecadeiras Auxiliares 9 e 10, respectivamente a montante e a jusante;
- Barragem de Concreto Compactado a Rolo (CCR), na extremidade esquerda da Casa de Força, com eixo retilíneo, de direção perpendicular ao eixo desta, definindo o limite do Canal de Adução, sendo abraçado pela Barragem de Enrocamento na extremidade de montante e permitindo o encosto da Ensecadeira Auxiliar 9;
- Muro Lateral Esquerdo da Casa de Força;
- Canais de Adução e de Fuga com cotas de fundo iguais a 78,00 m e 63,00 m, respectivamente;
- Área de Montagem Principal, AM-1 a AM-4, com 4 blocos de 22,10 m de largura, e Área de Descarga, bloco de 15,00 m de largura, ambas localizadas externamente à Tomada d'Água / Casa de Força, em sua extremidade direita;
- Área de Montagem Auxiliar, AM-5 e 6, em correspondência ao Muro Divisor da Casa de Força, montante e jusante, com largura equivalente a 2 blocos de 22,10 m;

Na margem esquerda:

- Vertedouro com 21 vãos de 20,00 m de largura e soleira na El. 70,00 m, com comportas segmento. Da maneira como foi projetado, o vertedor apresenta características de funcionamento similares às de um descarregador de fundo, assunto que é abordado em detalhe no item 4.1;
- Canal de Aproximação, em curva, com cota de fundo em patamares nas elevações 70,00, 64,00 e 62,00 m, de montante para jusante;
- Canal de Restituição tem seu eixo alinhado com o leito natural do rio a jusante, e cotas de fundo iguais a 62,00 e 66,00m de montante para jusante.

Além dessas estruturas está prevista a construção de Eclusa e canais de navegação, localizados na margem direita, com eixo retilíneo, afastado cerca de 100 metros da área de montagem.

Concluídas as concretagens e instalações eletromecânicas do Vertedouro, bem como do primeiro conjunto de Tomada d'Água / Casa de Força (24 unidades), as Ensecadeiras Auxiliares serão removidas e iniciado o fechamento do rio.

O fechamento tem início com o lançamento de cordões de enrocamento das pré -ensecadeiras de montante e jusante, em enrocamento lançado e vedado por montante com solo lançado, e o conseqüente desvio do rio pelo Vertedouro. Após a construção das pré-ensecadeiras serão iniciadas a construção das Ensecadeiras Principais que serão incorporadas à Barragem de Enrocamento, Essas ensecadeiras, dimensionadas para cheias de 1.000 anos de recorrência, deverão ter cotas de crista iguais a 93,00 e 83,00 m, montante e jusante, respectivamente.

Em razão dos grandes volumes necessários à construção da Barragem de Enrocamento e da limitação do prazo disponível entre a conclusão das Ensecadeiras Principais e o início do período chuvoso, sua execução é prevista para o próximo período hidrológico. No período chuvoso subsequente (se possível) e no próximo período de estiagem serão executados os tratamentos de fundações e o próprio maciço da Barragem de Enrocamento, com núcleo argiloso e cota de crista na El. 95,50 m.

O enchimento parcial do reservatório se dará após a construção das Ensecadeiras Principais que permitem o comissionamento e o início da operação com as primeiras das 26 unidades geradoras.

As Ensecadeiras Auxiliares 9 e 10 serão removidas por dragagens após a conclusão das montagens eletromecânicas correspondentes ao segundo conjunto de unidades geradoras.

O conjunto das estruturas de barramento possui a cota de coroamento das na El. 95,50 m, garantindo uma borda livre de 3,50 m acima do N.A. máximo maximorum.

2.2.2. Reservatório

O Nível d'Água Máximo Normal no reservatório da AHE Jirau foi fixado na cota 90,00 m, conforme os resultados dos “Estudos de Inventário Hidrelétrico do Rio Madeira - Trecho Porto Velho - Abunã”, no Estado de Rondônia, desenvolvidos por FURNAS e CNO, e aprovados pela ANEEL em abril de 2002.

Na cota 90,00 m o reservatório acumula um volume da ordem de $2.015 \times 10^6 \text{ m}^3$, ocupando uma área de 244 km^2 , em janeiro. Dessa área, cerca de 136 km^2 correspondem à inundação natural, resultando um acréscimo de área inundada de apenas 108 km^2 .

Outras características geométricas e hidráulicas do reservatório para diferentes níveis d'água são apresentadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3
Reservatório do AHE Jirau
Características Geométricas e Hidráulicas

Mês	Vazão Média Mensal	Reservatório						Área do Estirão Fluvial em Condições Naturais	Acréscimo de Área
		NA operativo	Área	Extensão	Volume	Tempo de Residência	Profundidade Média		
		m	km ²	Km	hm ³	h	m		
Janeiro	23.900	90,0	244,03	108,650	2015,26	23	8,26	136,45	107,58
Fevereiro	29.100	90,0	220,03	88,300	2015,26	19	9,16	133,74	86,29
Março	33.600	90,0	200,22	70,418	2015,26	17	10,07	132,46	67,76
Abril	30.200	90,0	220,02	84,825	2015,26	19	9,16	133,89	86,13
Maiο	22.700	89,5	225,51	108,000	1894,64	23	8,40	137,42	88,09
Junho	15.900	87,0	168,63	113,288	1378,91	24	8,18	121,10	47,53
Julho	10.600	85,0	155,27	128,302	1081,50	28	6,97	124,02	31,25
Agosto	6.800	83,0	138,38	128,302	855,00	35	6,18	115,54	22,84
Setembro	5.600	82,5	136,87	128,302	806,54	40	5,89	109,94	26,93
Outubro	6.800	83,0	138,38	128,302	855,00	35	6,18	115,54	22,84
Novembro	10.400	85,0	155,27	128,302	1081,50	29	6,97	124,02	31,25
Dezembro	16.600	87,5	171,72	115,927	1471,05	25	8,57	120,74	50,98
Mínimo	5.600	82,5	136,87	128,302	806,54	40	5,89	109,94	26,93
Médio	17.683	86,9	181,19	110,91	1457,10	26	7,8	125,41	55,79
Máximo	33.600	90,0	200,22	70,418	2015,26	17	10,07	132,46	67,76

Os estudos de remanso, foram elaborados considerando os níveis d'água operativos estabelecidos na Curva Guia e a vazão média mensal associada a cada mês, o NA máximo normal do reservatório (90,00 m) e as vazões associadas a períodos de recorrência de 10, 100 e 1.000 anos, e o NA máximo maximorum (92,00 m) para a vazão associada a 10.000 anos de recorrência. Estes estudos permitiram avaliar as inundações parciais ou totais das localidades ribeirinhas em especial as localidades de Mutum-Paraná, Abunã e Fortaleza do Abunã.

Destaca-se ainda que mesmo durante a ocorrência da vazão decamilenar, $Q = 82.600 \text{ m}^3/\text{s}$, e com a usina interligada ao Sistema Elétrico, a capacidade de descarga do vertedouro e das turbinas permitem o controle do nível d'água do reservatório mantendo-o em seu NA máximo normal (90,00).

2.2.3. Regra Operativa

Os dados disponíveis a época dos Estudos de Inventário permitiram definir o AHE de Jirau como uma usina a fio d'água com NA máximo normal na El. 90,00 m, de modo a manter inalterado o regime fluvial do rio Madeira, a montante da localidade de Abunã (divisa Brasil - Bolívia), e de seus afluentes bolivianos.

Entretanto, os levantamentos topográficos executados na etapa dos estudos de Viabilidade demonstram que o nível d'água normal do reservatório do AHE Jirau mantido constante na El. 90,00 m influencia o regime fluvial do rio Madeira a montante de Abunã, perenizando áreas antes só atingidas durante o período de cheias.

No período de cheias este nível d'água (90,00 m) é inferior aos níveis máximos observados anualmente na estação fluviométrica de Abunã, indicando que neste período o reservatório situa-se integralmente em território nacional. Entretanto, no período de águas baixas, o remanso provocado pelo reservatório com nível d'água na EL. 90,00 m estende-se a montante de Abunã, alterando a permanência dos níveis d'água.

Assim sendo, definiu-se que o reservatório do AHE Jirau será operado com *NA variável*, através de uma *Curva Guia de níveis*, de forma que as condições do regime fluvial do rio Madeira a montante de Abunã permaneçam inalteradas.

A curva Guia estabelecida, apresentada na Tabela 2.4, define os NAs junto à usina a serem mantidos mês a mês, de forma que o remanso provocado pelo reservatório não altere os níveis d'água atuais do rio Madeira a montante de Abunã, para a vazão média mensal de cada mês.

Tabela 2.4
AHE Jirau - Curva Guia do Reservatório

Mês	Vazão Média Mensal (m³/s)	NA reservatório (m)
Jan	23.900	90,00
Fev	29.100	90,00
Mar	33.600	90,00
Abr	30.200	90,00
Mai	22.700	89,50
Jun	15.900	87,00
Jul	10.600	85,00
Ago	6.800	83,00
Set	5.600	82,50
Out	6.800	83,00
Nov	10.400	85,00
Dez	16.600	87,50

Desta forma, o AHE Jirau operado com NA variável, segundo a Curva Guia, caracteriza-se como um EMPREENDIMENTO INTEGRALMENTE NACIONAL. Destaca-se que a Curva Guia estabelecida é uma curva válida para efeito de planejamento, considerando a vazão média mensal. Em tempo real o reservatório deverá ser operado a partir das curvas de remanso e de um sistema de quantificação e previsão de afluições em Abunã, apoiado em uma rede telemétrica de aquisição de dados em tempo real na bacia do rio Madeira.

Não há previsão de regularizações, nem mesmo a nível diário para atendimento a demandas de geração de energia em ponta. Tão pouco existe previsão de deplecionamento do reservatório para controle de cheias.

Vazões afluentes inferiores à vazão de 23.848 m³/s (44 x 542 m³/s), que corresponde à vazão máxima de engolimento de todas as 44 unidades, são completamente descarregadas pelas turbinas. Para vazões superiores, o que exceder a capacidade de engolimento das máquinas é descarregado pelo vertedouro.

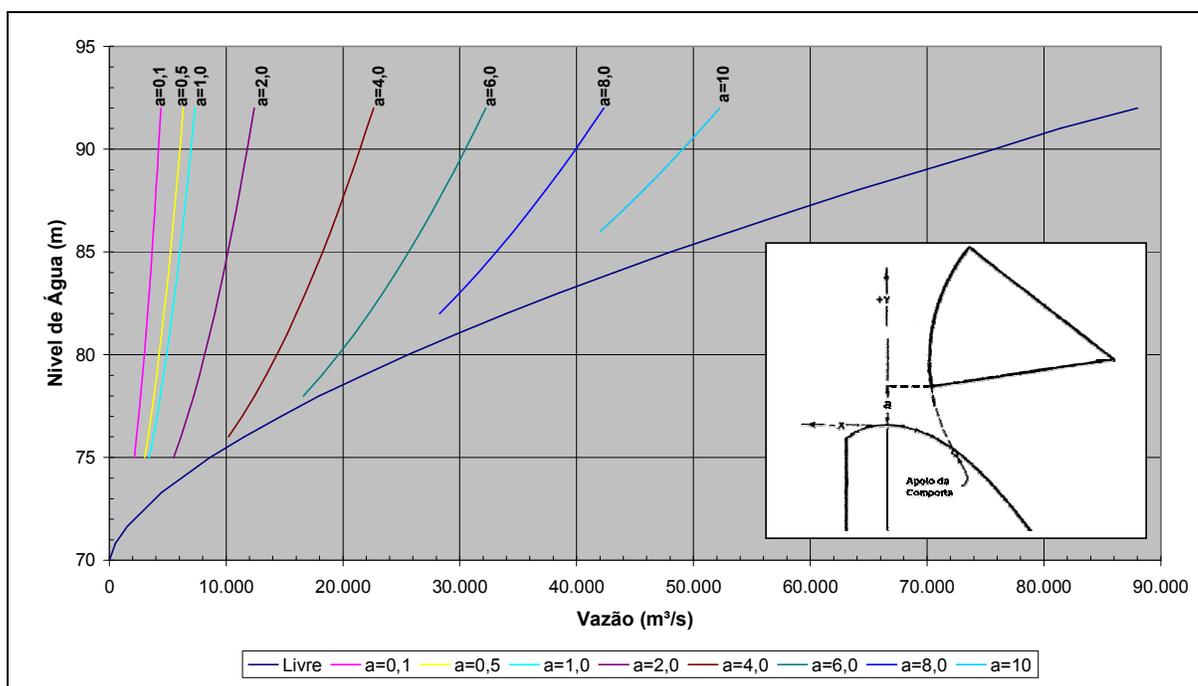
Exemplo: De modo análogo ao exposto para Santo Antônio, para uma vazão afluente igual a 48.600 m³/s, que corresponde a vazão máxima observada em todo o histórico em Porto Velho, cerca de 23.800 m³/s serão descarregados pelas turbinas e o restante, cerca de 24.800 m³/s pelo vertedouro.

A curva de capacidade de descarga total do vertedouro (21 vãos) com e sem controle de comportas é apresentado na Figura 2.5, onde podem ser observadas as seguintes vazões características:

	Vazão por vão	Vazão total

	m^3/s	m^3/s
Abertura da comporta = 0,50 m e NA = 90,00 m	288	6.050
Abertura da comporta = 1,00 m e NA = 90,00 m	333	6.993
Abertura da comporta = 2,00 m e NA = 90,00 m	562	11.811
Abertura da comporta = 4,00 m e NA = 90,00 m	1.022	21.457
Abertura da comporta = 6,00 m e NA = 90,00 m	1.452	30.484
Abertura da comporta = 8,00 m e NA = 90,00 m	1.904	39.992
Sem Controle de Comporta e NA = 90,00 m	3.607	75.744
Com Controle de Comporta e NA = 90,00 m Incluindo-se o engolimento das 44 máquinas – 23.848 m^3/s , resulta no valor total de 84.000 m^3/s , que é a vazão decamilenar.	2.864	60.152

Figura 2.5
AHE Jirau
Curva de Capacidade de Descarga do Vertedouro com Controle de Descarga

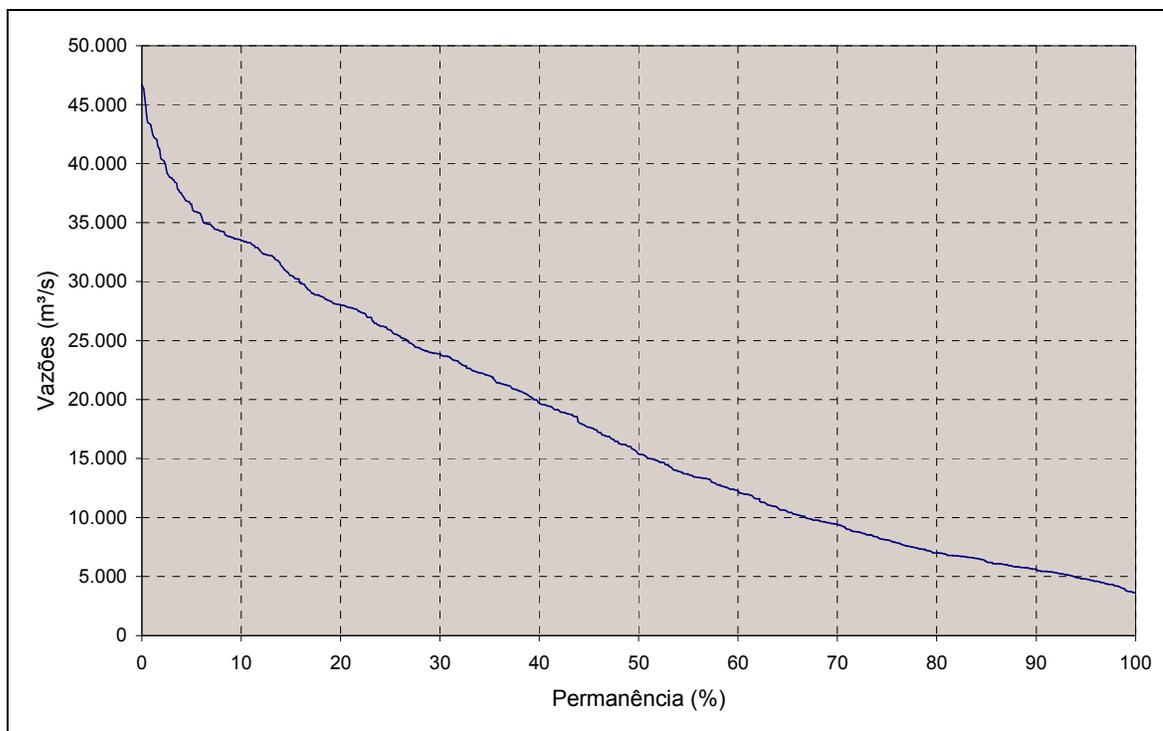


A regra operacional do vertedouro - seqüência de aberturas das comportas – também será estabelecida a partir de ensaios em modelo físico a serem realizados durante os projetos básico e executivo. Os conceitos básicos previamente estabelecidos para AHE Santo Antônio e descritos no item 2.1.3. são também aplicáveis a este aproveitamento.

Para uma vazão afluyente igual a 48.600 m^3/s , cerca de 23.800 m^3/s serão descarregados pelas turbinas e cerca de 24.800 m^3/s pelo vertedouro, com os 21 vãos em abertura parcial das comportas da ordem de 5 m.

Com base na curva de permanência de descargas médias mensais (Figura 2.6) estima-se que a frequência média de operação do vertedouro - vazões afluentes superiores a 23.848 m³/s será de 30 % do tempo, ou seja, de 3 a 4 meses por ano - estimada.

Figura 2.6
AHE Jirau
Curva de Permanência de Vazões Médias Mensais



3. ESTUDOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DO RIO MADEIRA

3.1. DADOS DISPONÍVEIS

3.1.1. Banco de Dados da ANA

O banco de dados da ANA inclui resultado de medições de descarga líquida e de concentração nas estações de Guajará-Mirim, no rio Mamoré no período de 11/8/1984 a 25/4/2003, em Abunã no rio Madeira no período de 16/8/1984 a 6/12/1984 e em Porto Velho, também no rio Madeira, no período de 10/10/1978 a 18/10/2002. Esses dados foram os mesmos utilizados nos Estudos de Inventário do rio Madeira, salvo cinco novas medições em Guajará-Mirim e duas em Porto Velho.

Foram agregados aos dados da ANA duas medições realizadas na estação de Porto Velho pelo U.S. Geological Survey (USGS), contendo informações de descarga líquida, concentração e de descarga sólida em suspensão, uma realizada em 21/4/1984 e a segunda sem data.

Esses resultados são apresentadas nas Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 respectivamente para as estações de Guajará-Mirim, Abunã e Porto Velho.

Tabela 3.1
Rio Mamoré em Guajará-Mirim
Dados Disponíveis no Banco de Dados da ANA

Entidade	Data	Q _{Líquida} m ³ /s	Concentração ppm	Q _{Sólida Suspensão} t/dia
ANA	11/8/1984	2.847	28	6.954
ANA	27/10/1984	1.073	27	2.473
ANA	1/12/1984	6.508	247	138.751
ANA	27/4/1987	11.017	469	446.598
ANA	28/8/1987	1.651	85	12.166
ANA	25/10/1987	1.071	51	4.719
ANA	16/12/1987	8.243	677	482.056
ANA	2/11/1991	1.708	164	24.137
ANA	30/5/1992	14.045	95	115.476
ANA	28/10/1992	5.829	290	145.830
ANA	12/2/1993	15.119	174	226.679
ANA	16/6/1993	9.085	117	91.564
ANA	12/9/1993	1.520	40	5.223
ANA	9/2/1994	12.000	746	773.277
ANA	30/6/1994	4.868	93	39.317
ANA	24/8/1994	1.502	45	5.892

Tabela 3.1
Rio Mamoré em Guajará-Mirim
Dados Disponíveis no Banco de Dados da ANA

Entidade	Data	Q_{Líquida} m³/s	Concentração ppm	Q_{Sólida Suspensão} t/dia
ANA	30/11/1994	3.947	135	46.096
ANA	16/2/1995	12.300	396	420.986
ANA	12/5/1995	15.582	457	615.252
ANA	28/7/1995	3.308	24	6.814
ANA	18/10/1995	942	20	1.595
ANA	30/1/1996	8.146	1.301	915.944
ANA	25/4/1996	14.903	257	331.098
ANA	1/8/1996	2.410	17	3.594
ANA	16/10/1996	1.772	33	5.013
ANA	30/1/1997	9.150	341	269.779
ANA	23/4/1997	21.200	56	102.299
ANA	31/7/1997	4.229	86	31.427
ANA	30/10/1997	1.817	54	8.405
ANA	31/1/1998	8.504	579	425.631
ANA	26/4/1998	13.049	325	365.852
ANA	22/7/1998	2.010	47	8.088
ANA	2/11/1998	2.284	61	12.097
ANA	27/1/1999	13.483	143	166.108
ANA	4/8/1999	2.112	129	23.620
ANA	29/1/2000	7.446	99	63.652
ANA	7/8/2000	1.986	28	4.829
ANA	1/2/2001	9.734	394	331.590
ANA	26/7/2001	3.054	64	16.963
ANA	4/11/2001	1.336	39	4.558
ANA	9/2/2002	8.321	165	118.552
ANA	28/6/2002	5.781	183	91.186
ANA	1/10/2002	1.453	14	1.760
ANA	25/4/2003	12.617	131	143.245

Tabela 3.2
Rio Madeira em Abunã
Dados Disponíveis no Banco de Dados da ANA

Entidade	Data	Q_{Líquida} m³/s	Concentração ppm	Q_{Sólida Suspensão} t/dia
ANA	16/08/1984	6.581	57	32.217
ANA	20/10/1984	3.843	46	15.393
ANA	6/12/1984	20.528	645	1.143.860

Tabela 3.3
Rio Madeira em Porto Velho
Dados Disponíveis no Banco de Dados da ANA

Entidade	Data	Q_{Líquida} m³/s	Concentração ppm	Q_{Sólida Suspensão} t/dia
ANA	10/10/1978	5.016	245	106.179
ANA	14/11/1978	9.340	467	376.600
ANA	02/12/1978	11.114	316	303.698
ANA	06/05/1981	31.469	221	600.120
ANA	03/07/1981	17.892	133	206.219
ANA	03/09/1981	5.289	79	36.197
ANA	20/01/1982	40.862	872	3.078.046
ANA	14/03/1982	42.731	1.323	4.884.461
ANA	01/07/1982	25.429	513	1.128.149
ANA	23/09/1982	4.712	228	92.639
ANA	25/11/1982	19.451	210	353.339
ANA	06/01/1983	25.525	886	1.953.662
ANA	02/07/1983	28.081	287	696.780
ANA	30/08/1983	9.212	118	93.632
ANA	22/10/1983	6.647	113	64.827
ANA	20/12/1983	12.320	527	561.092
ANA	23/02/1984	39.262	764	2.591.669
USGS	21/04/1984	42.000	791	2.870.381
ANA	27/4/1984	48.413	526	2.201.242
ANA	2/06/1984	32.213	215	598.305
ANA	25/08/1984	7.048	99	60.316
ANA	01/11/1984	9.523	169	139.150
ANA	10/03/1985	36.720	813	2.580.821
ANA	31/05/1985	29.007	165	414.376

Tabela 3.3 (Continuação)
Rio Madeira em Porto Velho
Dados Disponíveis no Banco de Dados da ANA

Entidade	Data	Q_{Líquida} m³/s	Concentração ppm	Q_{Sólida Suspensão} t/dia
ANA	15/09/1993	5.817	241	121.084
ANA	26/08/1994	4.637	107	42.796
ANA	26/11/1994	15.060	433	563.217
ANA	23/02/1995	32.400	1.017	2.847.789
ANA	27/04/1995	32.145	170	471.507
ANA	09/08/1995	8.081	100	69.771
ANA	10/10/1995	4.325	27	10.168
ANA	06/02/1996	30.134	323	839.758
ANA	01/05/1996	27.524	187	445.223
ANA	07/08/1996	3.573	51	15.883
ANA	10/10/1996	4.992	86	37.002
ANA	27/01/1997	26.128	657	1.483.625
ANA	23/07/1997	11.577	109	109.048
ANA	24/10/1997	6.922	226	135.401
ANA	21/01/1998	22.715	409	803.243
ANA	02/08/1998	4.736	101	41.439
ANA	07/11/1998	8.896	293	225.496
ANA	31/07/1999	8.314	96	68.888
ANA	26/01/2000	22.138	792	1.515.374
ANA	17/08/2000	5.040	84	36.374
ANA	31/07/2001	8.206	107	75.579
ANA	20/10/2001	5.931	68	34.627
ANA	29/01/2002	19.266	357	594.622
ANA	12/07/2002	9.207	90	71.960
ANA	18/10/2002	3.903	88	29.817
USGS	-	20.100	483	838.797

3.1.2. Campanhas Hidrossedimentométricas Realizadas por FURNAS

FURNAS, no âmbito dos projetos do rio Madeira, realizou duas campanhas de medição de descarga sólida nas estações de Guajará-Mirim no rio Mamoré e em Araras, Abunã e Porto Velho no rio Madeira. A primeira, mais curta, entre 15/5/2002 e 21/5/2002, somente em Abunã e Porto Velho, tendo sido realizadas 3 medições de descarga líquida e de concentração de sedimentos em suspensão em cada estação.

Na segunda campanha, mais recente, foram realizadas, entre 1/11/2003 e 10/9/2004, medições de descarga líquida, de concentração de sedimentos e determinação da granulometria do material em suspensão e do leito, que permitiram a obtenção de valores de descarga sólida em suspensão e total, estes últimos calculados pelo método modificado de Einstein. Em resumo, foram realizadas 37 medições em Guajará-Mirim, uma em Araras, 28 em Abunã e 38 em Porto Velho. Destaca-se que FURNAS prossegue com as medições, cujos resultados serão utilizados nas fases seguintes de projeto.

As medições de descarga sólida foram realizadas e processadas em conformidade com as Normas Hidrológicas do DNAEE (1970), com o Guia de Práticas Sedimentométricas da ANEEL (2000) e com as normas da Organização Meteorológica Mundial, dentre outras.

As medições acima citadas são apresentadas nas Tabelas 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7 respectivamente para as estações de Guajará-Mirim, Araras, Abunã e Porto Velho.

Tabela 3.4
Rio Mamoré em Guajará-Mirim
Medições Realizadas por FURNAS

Entidade	Data	Q_{Líquida} m³/s	Concentração ppm	Q_{Sólida Suspensão} t/dia	Q_{Sólida Total} t/dia
FURNAS	04/11/2003	998	61	5.276	-
FURNAS	19/12/2003	3.865	693	231.346	-
FURNAS	08/01/2004	6.157	965	513.375	537.369
FURNAS	17/01/2004	8.383	1.159	839.480	-
FURNAS	29/01/2004	10.273	913	810.574	-
FURNAS	05/02/2004	9.829	636	540.194	613.374
FURNAS	12/02/2004	9.742	903	759.761	824.717
FURNAS	18/02/2004	9.780	1.086	918.038	958.481
FURNAS	27/02/2004	11.111	1.608	1.543.670	1.573.287
FURNAS	04/03/2004	11.159	1.230	1.185.847	1.260.628
FURNAS	11/03/2004	10.855	1.070	1.003.804	1.121.470
FURNAS	17/03/2004	10.769	421	391.998	414.116
FURNAS	23/03/2004	11.140	379	364.989	380.353
FURNAS	30/03/2004	11.581	520	520.589	-
FURNAS	08/04/2004	11.028	336	320.516	327.330
FURNAS	14/04/2004	11.119	405	388.696	-
FURNAS	23/04/2004	11.087	540	517.082	525.542
FURNAS	29/04/2004	11.592	660	660.940	-
FURNAS	06/05/2004	10.925	592	558.888	-
FURNAS	13/05/2004	10.135	385	336.868	-
FURNAS	20/05/2004	9.362	341	275.500	-

Tabela 3.4
Rio Mamoré em Guajará-Mirim
Medições Realizadas por FURNAS

Entidade	Data	Q_{Líquida} m³/s	Concentração ppm	Q_{Sólida Suspensão} t/dia	Q_{Sólida Total} t/dia
FURNAS	28/05/2004	8.420	327	238.172	242.220
FURNAS	03/06/2004	7.151	316	195.367	211.212
FURNAS	08/06/2004	6.521	428	240.875	244.190
FURNAS	17/06/2004	5.271	105	47.726	53.074
FURNAS	24/06/2004	4.920	101	43.066	-
FURNAS	01/07/2004	4.008	180	62.235	64.620
FURNAS	08/07/2004	3.435	94	27.811	28.986
FURNAS	16/07/2004	2.858	734	181.166	185.069
FURNAS	22/07/2004	2.483	158	33.790	35.284
FURNAS	30/07/2004	2.059	97	17.164	-
FURNAS	05/08/2004	1.601	131	18.097	-
FURNAS	13/08/2004	1.958	67	11.401	-
FURNAS	20/08/2004	1.636	77	10.901	-
FURNAS	27/08/2004	1.276	30	3.308	-
FURNAS	03/09/2004	1.379	222	26.441	-
FURNAS	10/09/2004	1.258	17	1.804	-

Tabela 3.5
Rio Madeira em Araras
Medições Realizadas por FURNAS

Entidade	Data	Q_{Líquida} m³/s	Concentração ppm	Q_{Sólida Suspensão} t/dia	Q_{Sólida Total} t/dia
FURNAS	10/03/2004	21.087	573	1.043.045	1.212.426

Tabela 3.6
Rio Madeira em Abunã
Medições Realizadas por FURNAS

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

Tabela 3.7
Rio Madeira em Porto Velho
Medições Realizadas por FURNAS

Entidade	Data	Q_{Líquida} m³/s	Concentração ppm	Q_{Sólida Suspensão} t/dia	Q_{Sólida Total} t/dia
FURNAS ¹	15/5/2002	21.698	520	974.567	-
FURNAS ¹	17/5/2002	21.177	636	1.164.563	-
FURNAS ¹	21/5/2002	19.468	576	968.095	-
FURNAS ²	01/11/2003	4.701	601	244.276	249.592
FURNAS ²	27/01/2004	22.711	1.245	2.443.540	2.560.993
FURNAS ²	03/02/2004	30.372	1.086	2.848.760	2.968.682
FURNAS ²	10/02/2004	27.820	535	1.285.705	1.386.947
FURNAS ²	16/02/2004	29.351	3.506	8.889.566	9.210.329
FURNAS ²	20/02/2004	32.496	2.710	7.608.490	7.923.098
FURNAS ²	02/03/2004	33.672	1.342	3.904.473	4.214.942
FURNAS ²	09/03/2004	23.877	1.228	2.533.908	2.626.446
FURNAS ²	15/03/2004	23.527	2.172	4.414.629	-
FURNAS ²	19/03/2004	30.128	632	1.643.851	1.648.834
FURNAS ²	25/03/2004	31.252	713	1.925.748	2.058.831
FURNAS ²	31/03/2004	32.682	946	2.671.242	2.697.488
FURNAS ²	06/04/2004	27.879	680	1.637.972	-
FURNAS ²	15/04/2004	23.840	534	1.099.310	-
FURNAS ²	21/04/2004	26.372	635	1.446.179	-
FURNAS ²	27/04/2004	31.674	802	2.193.434	2.321.485
FURNAS ²	04/05/2004	27.372	731	1.728.795	-
FURNAS ²	11/05/2004	21.723	654	1.227.281	1.328.256
FURNAS ²	18/05/2004	19.882	539	925.049	939.440
FURNAS ²	26/05/2004	19.101	428	706.822	774.367
FURNAS ²	01/06/2004	20.489	593	1.049.584	1.140.582
FURNAS ²	10/06/2004	15.126	299	390.113	427.021
FURNAS ²	15/06/2004	13.736	292	346.895	376.797
FURNAS ²	22/06/2004	12.644	318	347.617	377.364
FURNAS ²	29/06/2004	10.315	245	218.534	227.584
FURNAS ²	06/07/2004	10.085	342	298.246	314.830
FURNAS ²	14/07/2004	7.469	214	137.783	144.849
FURNAS ²	20/07/2004	8.889	230	176.722	187.955
FURNAS ²	28/07/2004	6.599	277	158.164	160.340
FURNAS ²	07/08/2004	9.424	205	166.756	182.090

Tabela 3.7 (continuação)
Rio Madeira em Porto Velho
Medições Realizadas por FURNAS

Entidade	Data	Q _{Líquida} m ³ /s	Concentração ppm	Q _{Sólida Suspensão} t/dia	Q _{Sólida Total} t/dia
FURNAS ²	10/08/2004	8.297	223	159.650	167.798
FURNAS ²	17/08/2004	5.455	194	91.532	93.999
FURNAS ²	24/08/2004	4.671	121	48.998	-
FURNAS ²	31/08/2004	4.536	115	44.956	49.082
FURNAS ²	08/09/2004	4.664	159	64.107	-

¹ Medições realizadas por FURNAS na fase de Inventário do rio Madeira (primeira campanha)

² Medições realizadas por FURNAS na fase de Viabilidade do AHE Santo Antônio (segunda campanha)

Os valores de descarga sólida em suspensão, foram calculados pela expressão:

$$Q_{SS} = 0,0864 \cdot Q_L \cdot C$$

onde:

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

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

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

0,0864 - um fator de homogeneização de unidades.

Na segunda campanha realizada por FURNAS, as coletas de sedimentos em suspensão foram feitas com o amostrador de saca enquanto que as coletas das amostras do leito com 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.

3.2. ANÁLISE DOS DADOS HIDROSEDIMENTOMÉTRICOS

Esta análise privilegiou os dados coletados na estação Porto Velho, devido aos seguintes motivos:

- Trata-se da estação do rio Madeira com dados históricos mais antigos e maior quantidade de medições de vazões;
- É a mais próxima dos sítios dos aproveitamentos e tem fácil acesso;

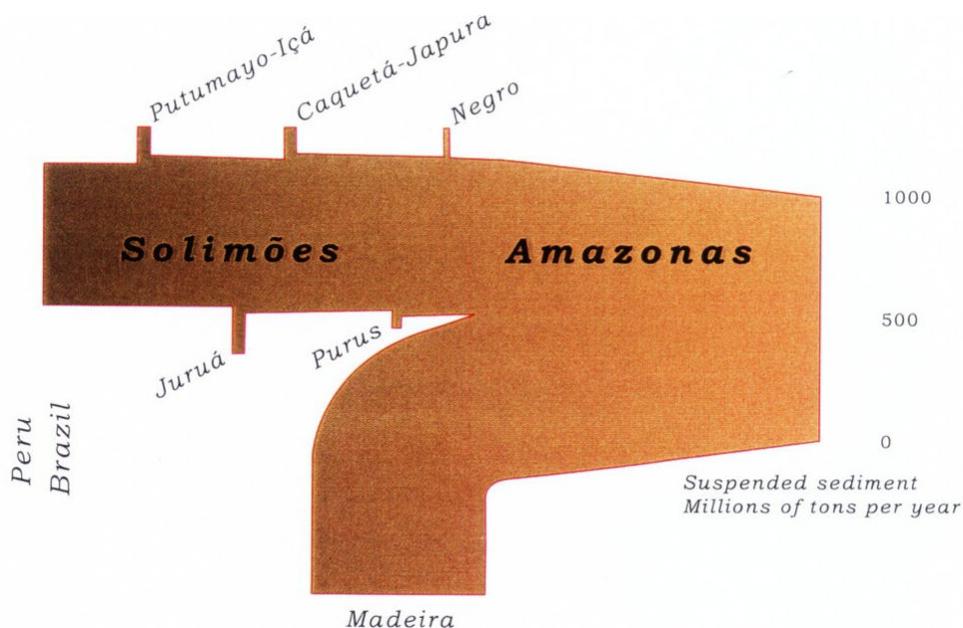
- c) Apresenta facilidade de operação e boas condições hidrométricas (seção em trecho reto do rio e com margens altas, podendo conter enchentes);
- d) A estação de Abunã, que constituiria uma alternativa de dados, permaneceu desativada por vários anos, além de apresentar dificuldade de operação em níveis altos, situação em que ocorrem velocidades superiores a 3,0 m/s.

3.2.1. Produtividade de Sedimentos do Rio Madeira

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

Figura 3.8
Descargas Sólidas em Suspensão na Bacia Amazônica



A Figura 3.9 apresenta uma imagem do rio Beni, um dos principais contribuintes andinos para a formação do rio Madeira. 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 3.9
Calha do Rio Beni



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

Como ilustração, a Tabela 3.10 apresenta 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.

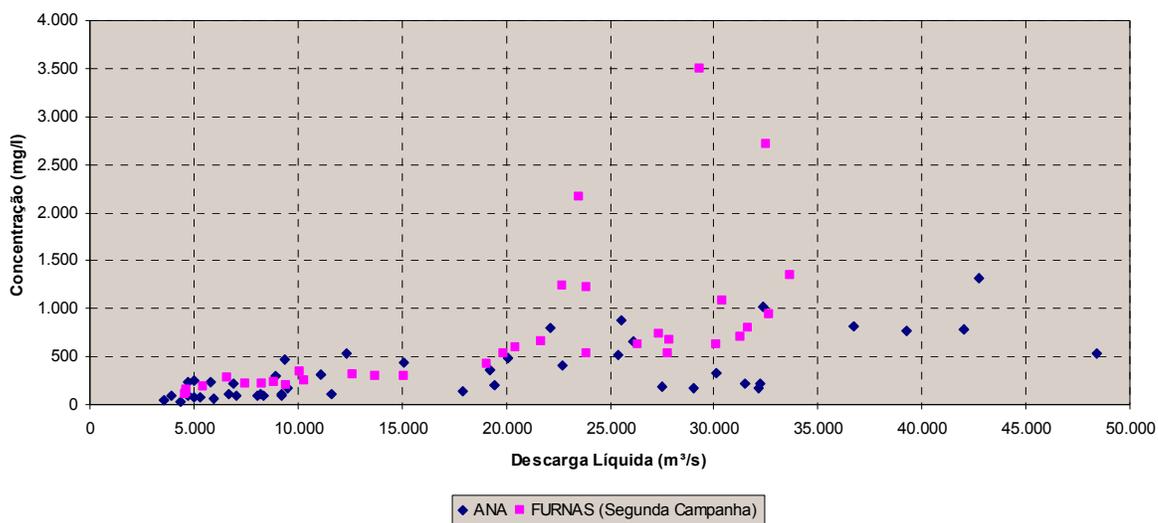
Tabela 3.10
Comparação entre as Concentrações de Sedimentos em Suspensão (em ppm) em
Guajará Mirim no Rio Mamoré e Porto Velho no Rio Madeira

Origem dos Dados	Concentra de Sedimentos em ppm	
	Guajará-Mirim	Porto Velho
Banco de Dados (ANA)	203	336
Medies de FURNAS	486	721

3.2.2. Varição da Concentração das Amostras

As concentraes obtidas na segunda campanha de FURNAS resultaram em valores médios superiores aos obtidos nas medies constantes no banco de dados da ANA realizadas no período entre 1978 e 2002, conforme pode ser verificado na Figura 3.11 que apresenta os pontos de descarga líquida (m³/s) x concentração (mg/l) para a estao de Porto Velho.

Figura 3.11
Rio Madeira em Porto Velho
Descarga Líquida (m³/s) x Concentração (mg/l)



Este aumento de concentração  devido, muito provavelmente, às diferenças de métodos de amostragem e equipamentos utilizados, bem como ao aumento da descarga sólida ao longo do tempo, como será apresentado no item 3.2.6.

3.2.3. Relação Entre as Descargas Sólidas Totais e em Suspensão

Os dados da estação de Porto Velho referentes a segunda campanha de FURNAS possuem informações sobre a descarga sólida total (calculada pelo método modificado de Einstein), o que permitiu uma estimativa da relação entre a descarga sólida total e da descarga sólida em suspensão. A Tabela 3.12 apresenta esses valores para cada uma das 34 medições consideradas no presente estudo, após a devida análise de consistência. Foi adotado o valor de 1,06 como valor médio para a relação entre a descarga sólida total e a descarga sólida em suspensão.

A diferença entre a descarga sólida total e a descarga em suspensão que corresponde a descarga sólida do leito é igual a 6% da descarga sólida em suspensão e compreende a parcela de sedimentos transportado por saltitação e a parcela de sedimento transportado por arrasto.

Desses 6% somente 0,44% corresponde ao sedimento grosso: areia média, areia grossa e traços e pedregulhos que pode ser associado ao sedimento transportado por arrasto.

As curvas granulométricas e as planilhas de cálculo da Descarga total de sedimentos pelo método modificado de Einstein, bem como as análises estatísticas da granulometria média do sedimento não são apresentadas neste documento mas estão disponíveis para consulta.

A referência no EIA/RIMA de que 2% do material transportado é por saltitação e/ou arrasto corresponde a uma informação resultante de medições realizadas no rio Madeira em Villabela, constante da bibliografia consultada, mas não confirmada pelas medições supracitadas.

Tabela 3.12
Rio Madeira em Porto Velho
Relação entre as Descargas Sólidas Totais e as Descargas Sólidas em Suspensão

Data	Q_{Sólida Suspensão} t/dia	Q_{Sólida Total} t/dia	Q_{Sólida Total} / Q_{Sólida Suspensão}
27/01/2004	2.443.540	2.560.993	1,048
03/02/2004	2.848.760	2.968.682	1,042
10/02/2004	1.285.705	1.386.947	1,079
16/02/2004	8.889.566	9.210.329	1,036
20/02/2004	7.608.490	7.923.098	1,041
02/03/2004	3.904.473	4.214.942	1,080
09/03/2004	2.533.908	2.626.446	1,037
15/03/2004	4.414.629	-	-
19/03/2004	1.643.851	1.648.834	1,003
25/03/2004	1.925.748	2.058.831	1,069
31/03/2004	2.671.242	2.697.488	1,010
06/04/2004	1.637.972	-	-

Tabela 3.12 (continuação)
Rio Madeira em Porto Velho
Relação entre as Descargas Sólidas Totais e as Descargas Sólidas em Suspensão

Data	Q_{Sólida Suspensão} t/dia	Q_{Sólida Total} t/dia	Q_{Sólida Total} / Q_{Sólida Suspensão}
15/04/2004	1.099.310	-	-
21/04/2004	1.446.179	-	-
27/04/2004	2.193.434	2.321.485	1,058
04/05/2004	1.728.795	-	-
11/05/2004	1.227.281	1.328.256	1,082
18/05/2004	925.049	939.440	1,016
26/05/2004	706.822	774.367	1,096
01/06/2004	1.049.584	1.140.582	1,087
10/06/2004	390.113	427.021	1,095
15/06/2004	346.895	376.797	1,086
22/06/2004	347.617	377.364	1,086
29/06/2004	218.534	227.584	1,041
06/07/2004	298.246	314.830	1,056
14/07/2004	137.783	144.849	1,051
20/07/2004	176.722	187.955	1,064
28/07/2004	158.164	160.340	1,014
07/08/2004	166.756	182.090	1,092
10/08/2004	159.649	167.798	1,051
17/08/2004	91.532	93.999	1,027
24/08/2004	48.998	-	-
31/08/2004	44.956	49.082	1,092
08/09/2004	64.107	-	-
Média			1,057

3.2.4. Granulometria e Peso Específico Aparente

As Tabelas 3.13 e 3.14 apresentam, para cada uma das amostras, a granulometria do material em suspensão e do leito, respectivamente.

Tabela 3.13
Rio Madeira em Porto Velho
Porcentagens de Argila, Silte e Areia das Amostras de Sólidos em Suspensão

Data	Sólidos em Suspensão (%)		
	Argila	Silte	Areia
01/11/2003	25,5	71,1	3,4
27/01/2004	30,3	67,3	2,4
03/02/2004	28,7	68,0	3,3
10/02/2004	23	72,5	4,5
16/02/2004	25,5	73,4	1,1
20/02/2004	27,7	71,4	0,9
02/03/2004	12,9	86,2	0,9
09/03/2004	32,1	65,5	2,4
15/03/2004	16	71,2	12,8
19/03/2004	19,8	73,7	6,5
25/03/2004	16,8	72,8	10,4
31/03/2004	18,8	74,7	6,5
06/04/2004	24,8	66,9	8,3
15/04/2004	23,5	61,9	14,6
21/04/2004	31,6	59,5	8,9
27/04/2004	22,1	65,7	12,2
04/05/2004	26,8	60,9	12,3
11/05/2004	21,7	58,6	19,7
18/05/2004	23,9	59,6	16,5
26/05/2004	20,4	59,2	20,4
01/06/2004	21,3	58,6	20,1
10/06/2004	23,8	57,4	18,8
15/06/2004	24,5	60,3	15,2
22/06/2004	26,2	59,0	14,8
29/06/2004	32,6	51,3	16,1
06/07/2004	27,4	62,5	10,1
14/07/2004	31,8	55,8	12,4
20/07/2004	29,9	54,3	15,8
28/07/2004	45,5	47,1	7,4

Tabela 3.13
Rio Madeira em Porto Velho
Porcentagens de Argila, Silte e Areia das Amostras de Sólidos em Suspensão

Data	Sólidos em Suspensão (%)		
	Argila	Silte	Areia
07/08/2004	25,1	54,2	20,7
10/08/2004	40,8	49,9	9,3
17/08/2004	45,7	50,4	3,9
24/08/2004	25,8	71,1	3,1
31/08/2004	8,3	86,0	5,7
08/09/2004	45,7	52,0	2,3
Média	26,5	63,7	9,8

Tabela 3.14
Rio Madeira em Porto Velho
Porcentagens de Argila, Silte e Areia das Amostras de Sólidos do Leito

Data	Sólidos do Leito (%)		
	Argila	Silte	Areia
01/11/2003	2,7	27,3	70,0
19/03/2004	4,0	15,3	80,7
25/03/2004	0,0	0,9	99,1
31/03/2004	3,9	18,0	78,1
06/04/2004	2,1	12,7	85,2
21/04/2004	2,2	11,8	86,0
27/04/2004	0,0	1,3	98,7
04/05/2004	2,3	12,4	85,3
11/05/2004	2,9	11,4	85,7
18/05/2004	0,0	0,3	99,7
26/05/2004	0,0	4,8	95,2
01/06/2004	0,0	2,8	97,2
10/06/2004	0,0	2,3	97,7
15/06/2004	0,0	1,0	99,0
22/06/2004	0,0	2,3	97,7
29/06/2004	0,4	5,8	93,8
06/07/2004	0,0	2,3	97,7
14/07/2004	0,0	2,5	97,5

Tabela 3.14
Rio Madeira em Porto Velho
Porcentagens de Argila, Silte e Areia das Amostras de Sólidos do Leito

Data	Sólidos do Leito (%)		
	Argila	Silte	Areia
20/07/2004	0,0	1,9	98,1
28/07/2004	2,3	13,0	84,7
07/08/2004	0,3	5,3	94,4
10/08/2004	0,0	3,3	96,7
24/08/2004	1,1	8,0	90,9
31/08/2004	2,3	15,2	82,5
08/09/2004	3,0	13,6	83,4
Média	1,2	7,8	91,0

Foi calculada uma média ponderada das porcentagens de argila, silte e areia a partir das médias das porcentagens de sólidos em suspensão e do leito, considerando que descarga de sólidos total é 1,06 maior do que a descarga de sólidos em suspensão. O resultado é apresentado na Tabela 3.15.

Tabela 3.15
Rio Madeira em Porto Velho
Porcentagens Ponderadas de Argila, Silte e Areia das Amostras Analisadas

Sólidos	% de Argila P _c	% de Silte P _m	% de Areia P _s
em Suspensão	25,0	60,1	9,3
do Leito	0,1	0,4	5,2
Total	25,0	60,6	14,4

Da parcela de 14,4% correspondete às frações de areia, 12% correspondem às areias finas com diâmetro de até 0,25 mm e o restante 2,4% correspondem às areias médias, areias grossas e traços de cascalho.

O peso específico aparente do sedimento, ao longo do tempo foi calculado segundo as equações abaixo (Lara e Pemberton segundo apresentado por Strand, 1974):

$$\gamma_i = W_c * p_c + W_m * p_m + W_s * p_s$$

$$K = K_c * p_c + K_m * p_m + K_s * p_s$$

$$\gamma_T = \gamma_i + 0,4343 * K \left[\frac{T}{T-1} * (\ln(T)) - 1 \right]$$

onde:

γ_i - peso específico aparente inicial (t/m^3);

W_c , W_m e W_s - coeficientes de compactação de argila, silte e areia, obtidos segundo o tipo de operação do reservatório, Tabelas 3.16 e 3.17;

K - constante que depende da granulometria do sedimento e obtida com base no tipo de operação do reservatório, Tabelas 3.16 e 3.17;

p_c , p_m e p_s - percentagens de argila, silte e areia do sedimento total afluente;

γ_T - peso específico aparente médio em T anos (t/m^3)

T - tempo de compactação do sedimento depositado (anos)

Tabela 3.16
Tipos de Operação de Reservatório (Strand, 1974)

Tipo	Operação do Reservatório
1	Sedimentos sempre ou quase sempre submersos
2	Depleção do reservatório de pequena a média
3	Reservatório normalmente vazio
4	Sedimentos do leito do rio

Tabela 3.17
Constantes W e K para Cálculo do Peso Específico Aparente (Strand, 1974)

Tipo de Operação	Argila		Silte		Areia	
	Wc	Kc	Wm	Km	Ws	Ks
1	0,416	0,2563	1,121	0,0913	1,554	0,0
2	0,561	0,1346	1,137	0,0288	1,554	0,0
3	0,641	0,0	1,153	0,0	1,554	0,0
4	0,961	0,0	1,169	0,0	1,554	0,0

O cálculo do valor do peso específico aparente depende do tipo de operação do reservatório, segundo os critérios de Lara e Pemberton, apresentados na Tabela 3.16. Para os AHEs em estudo, estabeleceu-se que a operação do seu reservatório será do tipo 1, uma vez que seus sedimentos estarão sempre submersos.

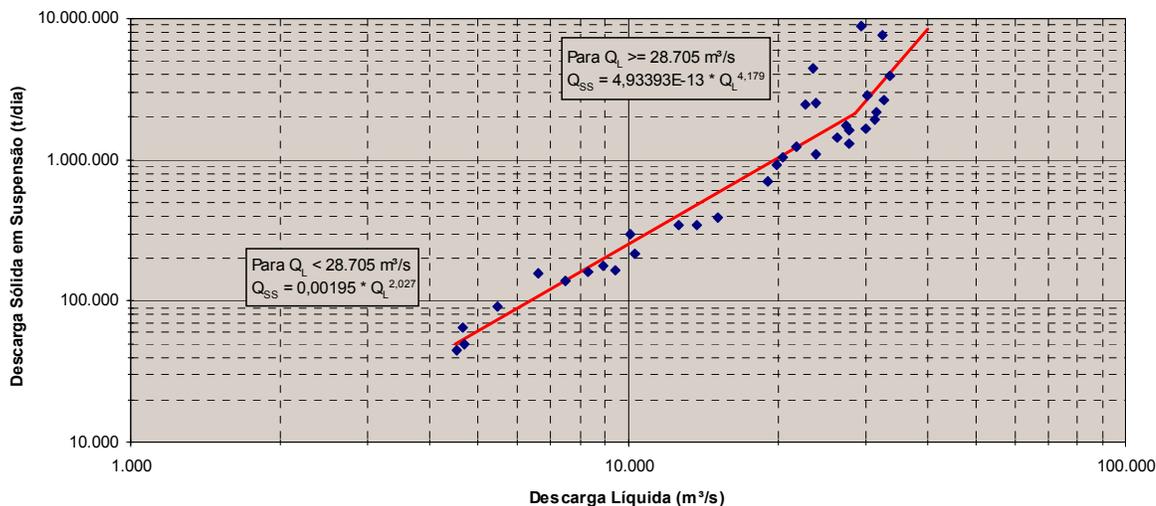
Foi encontrado para o peso específico aparente inicial o valor de $1,007 t/m^3$, e para a constante K o valor de 0,119.

3.2.5. Curva-Chave de Sedimentos em Porto Velho

As medições realizadas por FURNAS na campanha mais recente de medição apresentaram valores de concentração superiores ao restante para uma mesma faixa de descarga líquida. Como já exposto no item 3.2.1, isto se deve principalmente a diferença de metodologia de amostragem utilizada na campanha.

Adotando-se um critério conservativo, foram consideradas somente as medições realizadas por FURNAS no traçado da curva-chave de sedimentos. A Figura 3.18 apresenta a curva-chave de sedimentos do rio Madeira em Porto Velho adotada nos estudos.

Figura 3.18
Rio Madeira em Porto Velho
Curva-Chave de Sedimentos



3.2.6. Série de Descargas Sólidas

A partir da série de descargas líquidas médias mensais em Porto Velho e da curva-chave de sedimentos do Rio Madeira em Porto Velho (Figura 3.18), determinou-se a série de descargas sólidas em suspensão médias mensais. A série de descargas sólidas totais médias mensais em Porto Velho (Tabela 3.19) 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.

Tabela 3.19
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

Tabela 3.19 (continuação)
Rio Madeira em Porto Velho
Série de Descargas Sólidas Totais Médias Mensais (t/dia)

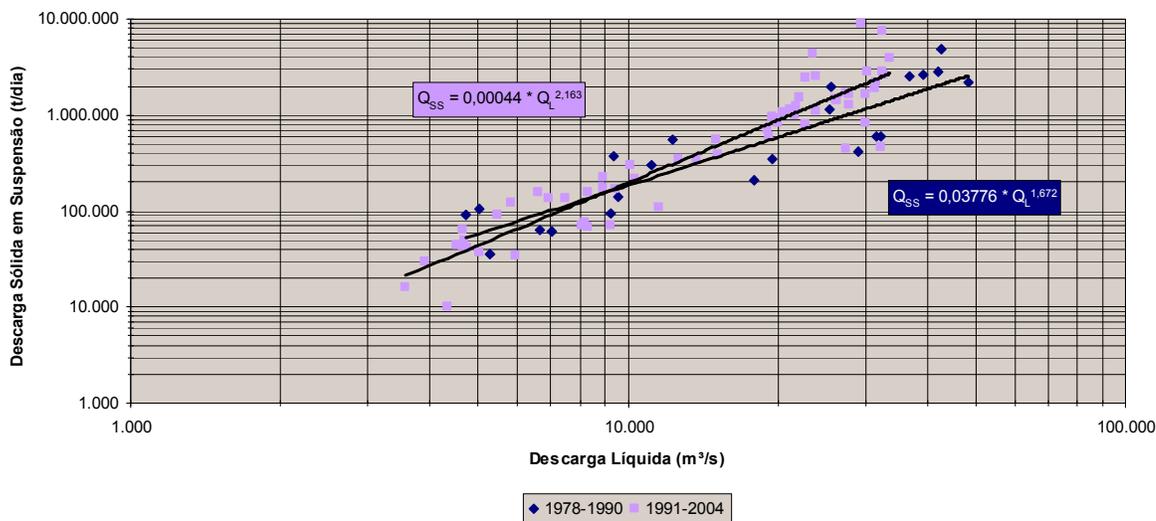
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT		NOV	DEZ	MÉDIA
1969	1.382.033	1.768.957	1.773.534	1.641.579	646.599	393.546	158.913	63.829	49.885	331.655	113.541	497.295	735.114	
1970	748.179	1.360.829	2.169.977	2.166.833	1.521.077	801.644	255.349	79.952	61.854	61.596	100.641	247.361	797.941	
1971	957.849	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	
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	

3.2.7. Taxa de Aumento na Produção de Sedimentos

A descarga sólida de um rio é muito variável, 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.

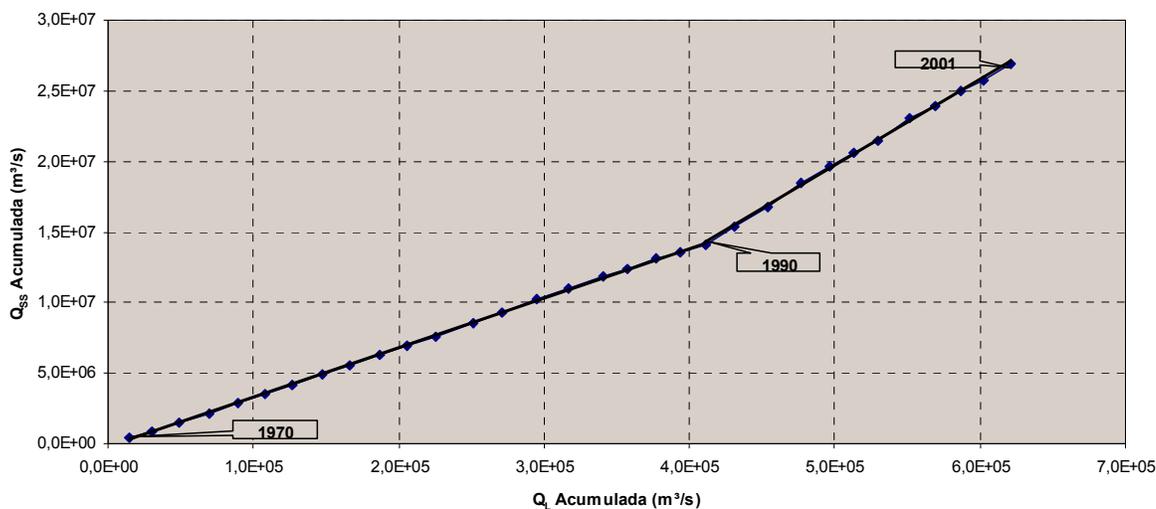
O estudo do aumento do transporte de sedimentos foi realizado com base nas medições de descargas sólidas e líquidas realizadas em Porto Velho (incluindo as medições da ANA, de FURNAS e da USGS) e na série de vazões médias mensais observadas no mesmo posto, que compreendem um período de 32 anos (de 1970 a 2001). 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 2001 foi usada a segunda curva-chave. Estas curvas são apresentadas na Figura 3.20.

Figura 3.20
Rio Madeira em Porto Velho
Curvas-Chave de Sedimentos para Traçado da Curva de Massa



Através do traçado de um diagrama de massa para o posto de Porto Velho, usando os valores médios anuais acumulados de sedimentos em suspensão em função das descargas líquidas médias anuais correspondentes também acumuladas, apresentado na Figura 3.21, fica evidente o aumento gradual da degradação da bacia.

Figura 3.21
Rio Madeira em Porto Velho
Curva de Massa



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 dos estudos são apresentados na Tabela 3.22, a seguir.

Tabela 3.22
Rio Madeira em Porto Velho
Taxas de Aumento Anuais na Produção de Sedimentos

Período	R	Ec	R %
1970-1990	34,6	-	-
1990-2001	60,7	0,75	1,83

Certamente estes valores devem variar com o tempo, conforme a redução ou o aumento (mais provável) da erosão na bacia. Foi adotado então conservadoramente um valor de 2% como

representativo da taxa de aumento anual da produção de sedimentos para os estudos de vida útil dos reservatórios do AHE Santo Antônio e do AHE Jirau.

3.3. SÉRIE DE DESCARGAS SÓLIDAS TOTAIS MÉDIAS MENSAIS EM AHE SANTO ANTÔNIO

A série de descargas sólidas totais médias mensais no local do AHE Santo Antônio foi admitida igual à de Porto Velho devido a proximidade desses locais. A série assim obtida, conseqüentemente é a mesma apresentada na Tabela 3.19 (item 3.2.6).

Finalmente, destacar-se que nos Estudos de Viabilidade da AHE Jirau, concluídos em novembro de 2004 foram utilizadas apenas 8 medições de descargas sólida realizados até março de 2004 para definição da curva-chave em Porto Velho. Já os Estudos de Viabilidade do AHE Santo Antônio foram concluídos em abril de 2005 tendo sido utilizadas 34 medições de descarga sólida realizadas até setembro de 2004 para a definição da referida curva-chave.

Com a finalidade de padronizar os estudos relativos do assoreamento dos reservatórios, os estudos relativos a AHE Jirau foram revisados, utilizando a curva-chave atualizada. A série de descargas sólidas totais médias mensais apresentada na Tabela 3.23 corresponde a série atualizada que deu origem aos estudos anteriormente encaminhados a ANEEL, ANA e ao IBAMA.

3.4. SÉRIE DE DESCARGAS SÓLIDAS TOTAIS MÉDIAS MENSAIS EM AHE JIRAU

A série de descargas sólidas totais médias mensais de Porto Velho foi empregada para determinar a correspondente série no local do AHE Jirau. Utilizou-se nesse processo a relação entre as áreas de drenagem do local do aproveitamento (972.710 km²) e de Porto Velho (988.997 km²), resultando na Tabela 3.23.

Tabela 3.23
Rio Madeira em AHE Jirau
Série de Descargas Sólidas Totais Médias Mensais (t/dia)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1931	485.777	1.242.705	2.088.770	1.162.850	587.250	255.334	112.525	50.306	49.481	363.046	431.931	714.568	628.712
1932	2.172.472	2.764.135	4.487.359	2.120.026	1.299.046	624.151	379.467	208.551	128.144	168.242	263.320	415.607	1.252.543
1933	1.337.080	2.115.551	2.406.368	1.785.110	777.139	328.594	143.260	72.867	46.630	69.603	136.212	388.605	800.585
1934	4.258.588	9.584.408	8.009.242	8.641.540	1.325.630	569.091	241.031	113.618	98.136	143.852	500.257	851.289	2.861.390
1935	1.374.202	1.591.933	13.290.865	3.898.246	1.001.761	560.557	257.504	125.871	74.281	77.137	258.954	362.231	1.906.128
1936	1.034.250	1.184.781	1.383.214	1.248.923	521.325	239.616	103.387	49.893	58.812	95.546	227.013	1.049.455	599.685
1937	7.516.613	2.088.770	8.359.913	2.466.468	1.516.810	633.003	282.530	131.006	116.364	168.242	304.496	524.094	2.009.026
1938	3.023.068	2.344.020	1.962.441	1.257.645	616.318	338.090	155.274	71.929	54.928	78.097	194.567	471.445	880.652
1939	978.773	2.416.314	7.919.440	2.742.361	959.377	594.955	476.802	267.712	216.690	241.031	343.672	958.240	1.509.614

Tabela 3.23(continuação)
Rio Madeira em AHE Jirau
Série de Descargas Sólidas Totais Médias Mensais (t/dia)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1940	3.347.554	6.949.124	16.297.638	3.816.055	2.084.318	975.340	480.385	255.334	188.026	189.980	256.780	325.449	2.930.499
1941	1.157.995	1.504.853	2.155.942	1.415.567	607.547	274.346	163.260	98.136	64.580	115.813	386.105	854.565	733.226
1942	2.128.986	6.025.944	11.930.332	3.443.840	983.356	441.480	194.567	91.452	122.486	293.821	708.411	1.602.767	2.330.620
1943	3.007.624	1.933.451	4.677.337	1.578.427	784.555	400.342	177.083	79.062	41.491	54.928	87.921	205.861	1.085.673
1944	1.028.423	3.847.876	3.050.225	1.855.921	893.104	415.607	179.637	79.062	52.810	90.439	320.752	1.258.893	1.089.396
1945	1.439.019	1.838.840	2.463.103	1.673.794	806.949	346.073	149.827	65.937	43.837	70.066	116.917	201.184	767.962
1946	671.852	1.573.036	1.462.603	882.034	846.927	777.139	453.737	122.486	79.545	77.617	101.275	246.718	607.914
1947	639.917	1.316.748	3.898.246	3.550.621	1.361.362	535.224	249.579	122.486	114.165	341.276	1.069.453	2.145.445	1.278.710
1948	6.521.939	3.879.878	4.548.386	1.642.248	941.244	483.079	241.739	121.925	89.933	195.225	639.917	2.927.424	1.852.745
1949	14.158.133	4.651.350	6.081.815	7.302.889	1.121.809	585.329	284.776	131.006	83.944	237.499	850.197	1.664.171	3.096.077
1950	4.441.956	2.164.953	11.773.349	2.199.615	946.898	413.901	184.138	86.921	42.658	51.553	95.546	441.480	1.903.581
1951	1.477.079	2.228.921	18.078.936	2.446.322	1.883.076	737.301	323.098	142.077	96.580	121.925	507.551	2.070.981	2.509.487
1952	2.466.468	4.986.055	5.018.762	1.583.825	677.899	233.986	143.852	70.066	38.055	58.376	118.578	752.941	1.345.739
1953	1.432.491	2.176.988	4.703.423	2.412.996	1.586.526	600.755	261.134	119.690	101.275	174.541	679.919	4.558.612	1.567.363
1954	2.006.202	3.232.833	4.327.352	1.853.071	1.225.352	643.880	285.526	129.287	78.579	59.687	147.427	715.596	1.225.399
1955	1.353.677	5.995.056	4.761.160	6.706.561	1.604.123	697.170	303.730	142.668	97.097	106.582	178.998	479.489	1.868.859
1956	1.005.225	1.543.497	6.489.339	2.060.628	1.136.236	583.411	306.032	142.668	76.658	86.921	165.122	476.802	1.172.712
1957	2.189.046	2.181.507	2.775.066	2.247.831	1.240.221	569.091	249.579	131.006	87.921	98.657	206.533	541.753	1.043.184
1958	813.387	1.333.259	1.535.474	1.638.148	1.035.417	437.131	227.013	115.263	66.847	78.097	217.373	700.229	683.137
1959	1.542.158	2.808.036	2.175.483	1.803.430	1.401.300	607.547	263.320	171.381	127.006	199.191	521.325	711.487	1.027.639
1960	864.419	1.316.748	1.547.513	1.260.141	698.189	349.285	160.172	84.437	49.070	85.428	211.252	1.048.283	639.578
1961	1.568.997	6.673.335	5.382.513	2.166.456	1.346.008	648.845	276.570	119.690	67.304	99.179	193.909	829.558	1.614.364
1962	1.958.083	6.627.007	2.426.289	2.059.150	1.365.209	609.493	266.245	130.432	162.640	233.285	413.049	1.432.491	1.473.615
1963	1.465.231	1.542.158	1.154.359	959.377	491.190	381.952	182.204	83.944	44.232	34.359	61.451	236.092	553.046
1964	481.283	834.972	1.567.651	976.484	1.211.777	773.967	507.551	246.005	139.133	362.231	719.714	1.173.798	749.547
1965	1.088.392	1.170.145	10.851.652	3.620.131	1.236.498	585.329	306.801	152.239	89.429	124.739	323.098	554.893	1.675.279
1966	1.062.380	2.635.241	1.885.942	1.518.140	880.929	525.019	239.616	110.351	89.933	86.921	163.260	302.198	791.661
1967	507.551	1.054.149	1.409.076	1.494.251	754.969	380.454	119.325	68.327	36.845	41.722	154.071	257.493	523.186
1968	486.400	1.568.528	3.823.147	1.776.317	497.593	129.037	60.340	35.294	62.713	61.674	138.773	367.470	750.607
1969	1.359.444	1.740.044	1.744.546	1.614.747	636.031	387.114	156.315	62.785	49.070	326.234	111.685	489.167	723.099
1970	735.950	1.338.587	2.134.509	2.131.416	1.496.215	788.541	251.176	78.645	60.843	60.590	98.996	243.318	784.899
1971	942.193	2.371.048	3.817.375	1.893.422	805.222	275.082	158.681	58.110	47.474	110.847	216.212	584.175	939.987
1972	1.050.921	2.006.755	4.747.601	4.632.847	1.409.328	720.671	208.249	151.932	254.872	285.853	246.506	1.036.839	1.396.031
1973	1.577.348	4.091.534	6.868.712	5.961.561	2.055.360	1.140.806	457.259	205.713	117.980	122.068	428.286	1.121.381	2.012.334
1974	2.420.104	4.952.155	9.819.306	5.203.759	2.134.711	971.067	374.359	149.613	75.149	92.952	296.122	482.301	2.247.633
1975	1.232.490	2.946.531	5.923.831	4.386.518	1.622.156	756.185	442.813	121.616	62.752	153.212	189.388	842.356	1.556.654
1976	1.910.671	5.159.922	7.445.358	5.043.022	1.892.806	859.216	237.263	73.523	53.113	60.507	175.673	424.106	1.944.598
1977	1.648.395	2.274.433	8.212.919	5.320.420	2.192.009	979.535	389.231	149.551	88.976	147.721	437.407	1.002.251	1.903.571
1978	1.917.079	3.839.005	8.320.948	4.268.940	1.679.142	843.569	423.252	92.905	36.666	54.435	175.876	1.107.935	1.896.646
1979	2.588.875	5.336.139	6.728.339	9.382.698	4.145.362	1.232.996	364.700	107.807	69.697	72.911	122.915	322.869	2.539.609
1980	1.105.143	1.826.531	4.543.258	5.036.225	2.078.871	1.378.716	486.694	176.021	137.526	178.160	218.611	405.202	1.464.247

Tabela 3.23(continuação)
Rio Madeira em AHE Jirau
Série de Descargas Sólidas Totais Médias Mensais (t/dia)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
1981	874.607	2.177.804	5.418.575	5.399.148	2.290.323	1.499.733	385.792	98.391	55.553	131.232	429.146	1.041.534	1.650.153
1982	2.654.379	6.171.870	11.010.057	15.307.824	7.254.276	2.003.670	1.015.624	311.637	120.972	394.743	896.706	1.381.131	4.043.574
1983	1.733.306	2.937.195	4.917.589	3.047.247	2.754.618	1.582.666	1.186.363	451.463	118.553	83.946	194.146	461.167	1.622.355
1984	1.691.670	4.398.321	9.920.841	17.415.964	8.348.284	1.910.583	716.172	173.477	76.265	84.052	612.507	1.199.449	3.878.965
1985	2.372.427	4.489.525	4.936.991	5.325.331	4.170.408	1.494.758	570.357	292.091	145.416	201.344	411.648	718.228	2.094.044
1986	1.730.887	5.249.453	10.708.292	13.120.098	4.713.983	1.895.780	807.764	329.626	223.309	277.645	209.147	826.725	3.341.059
1987	1.858.027	3.246.539	2.146.572	1.543.841	1.335.945	533.752	188.009	89.054	45.591	71.372	304.621	1.174.112	1.044.786
1988	1.801.889	3.666.085	5.070.808	8.958.893	3.176.838	1.293.389	455.284	102.159	38.442	45.526	86.561	264.632	2.080.042
1989	1.260.471	2.224.858	3.567.515	3.176.483	1.573.694	641.635	299.815	98.314	88.575	68.610	109.653	278.495	1.115.676
1990	1.197.762	2.121.300	2.314.840	1.638.597	1.358.958	945.002	431.240	117.143	75.670	117.343	601.999	1.024.975	995.402
1991	2.009.271	4.562.374	5.765.825	4.581.515	1.807.330	1.047.678	393.528	166.285	95.447	133.253	315.064	686.456	1.797.002
1992	1.709.904	1.932.371	7.157.367	6.046.189	3.632.384	1.609.283	1.093.479	282.403	416.103	628.598	740.314	1.393.154	2.220.129
1993	2.936.852	8.145.663	11.621.182	12.613.720	3.889.506	1.094.433	334.325	153.639	129.282	123.455	412.701	994.843	3.537.467
1994	1.690.158	3.758.423	4.347.515	4.437.190	1.779.880	610.982	209.741	93.133	33.772	77.967	485.171	1.193.159	1.559.758
1995	1.793.389	2.283.112	5.957.814	4.961.649	1.603.097	593.065	205.537	129.988	35.875	36.204	76.437	499.140	1.514.609
1996	965.571	2.160.468	2.560.243	3.280.960	1.153.038	532.868	194.153	55.961	56.819	97.496	509.994	789.076	1.029.721
1997	1.638.710	3.746.331	12.131.679	13.398.559	4.408.422	1.445.128	526.990	169.180	63.829	119.581	247.407	778.749	3.222.881
1998	1.254.654	1.565.021	4.172.419	4.576.906	1.244.229	391.181	137.768	56.152	49.272	96.361	510.181	1.195.155	1.270.775
1999	1.889.887	4.435.773	4.639.267	4.035.795	1.365.891	553.228	278.858	72.646	35.410	46.474	89.484	491.189	1.494.492
2000	1.001.006	1.754.927	3.041.828	2.028.550	966.381	507.020	203.430	81.486	103.349	52.964	249.411	660.619	887.581
2001	1.538.261	3.867.202	9.726.378	5.355.731	1.752.757	869.960	293.321	112.461	50.932	78.348	345.136	760.883	2.062.614
MÍNIMA	481.283	834.972	1.154.359	882.034	491.190	129.037	60.340	35.294	33.772	34.359	61.451	201.184	33.772
MÉDIA	1.951.893	3.150.766	5.628.169	4.061.876	1.732.151	741.890	327.749	132.469	90.011	138.993	323.524	854.851	1.594.529
MÁXIMA	14.158.133	9.584.408	18.078.936	17.415.964	8.348.284	2.003.670	1.186.363	451.463	416.103	628.598	1.069.453	4.558.612	18.078.936

4. AVALIAÇÃO DO ASSOREAMENTO DOS RESERVATÓRIOS

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Apresenta-se neste item, para cada empreendimento, uma análise do assoreamento que ocorrerá ao longo do tempo e sua influência na operação do AHE. Foram determinadas para diferentes cenários, as alturas de depósito do sedimento ao pé do barramento em várias épocas e a distribuição dos sedimentos ao longo do reservatório, o que permitiu o traçado das futuras curvas cota x área e cota x volume.

Nesses estudos, desconsideraram-se os efeitos sinérgicos entre eles, isto é, admitiu-se que cada reservatório seria implantado isoladamente. Dessa forma, considerou-se que a descarga sólida afluente a cada um deles não é alterada por barramentos construídos a montante.

Todos os cálculos foram efetuados segundo procedimentos tradicionalmente recomendados, ou seja: a avaliação dos assoreamentos dos reservatórios foi realizada pelo *método empírico de redução de área* desenvolvido por Borland & Miller; na obtenção das eficiências de retenção de sedimentos nos reservatórios utilizou-se a curva média de Brune; e, para o cálculo do peso específico aparente dos depósitos, seguiu-se o método de Lara & Pemberton do USBR.

Esses métodos encontram-se explicados na publicação do United States Bureau of Reclamation denominada *Design of Small Dams (Appendix H*, por Robert I. Strand). Tratam-se de metodologias divulgadas, também, por diversos outros autores como Vito Vanoni na publicação *Sedimentation Engineering*, ASCE, New York, de 1977, e por Gregory L. Morris & Jiahua Fan, em *Reservoir Sedimentation Handbook*, editado por McGraw Hill em 1997. No Brasil foram abordadas por Newton de Oliveira Carvalho na publicação *Hidrossedimentologia Prática*, editada pela CPRM e Eletrobrás, em 1994.

A aplicação da metodologia citada deve ser ajustada as características dos sedimentos transportados, dos reservatórios e dos órgãos de descarga – Tomada D'água e Vertedouros.

Tomando por base a citação de Carvalho em “Hidrossedimentologia Prática” (1994) de que

“A metodologia para o cálculo do volume de assoreamento é a mesma para pequenos, médios e grandes reservatórios. Normalmente, em pequenos reservatórios a carga de finos sai pelos vertedouros e tomada d'água, retendo o sedimento grosso. Na curva de Brune, isso aparece como retenção nula ou pequeno valor de Er (eficiência da retenção), tendo sempre o cuidado de saber que as areias que vêm como descarga de arrasto ficam no lago.”

entende-se que a mesma **tem caráter geral e não é aplicável de forma generalizada, especialmente em aproveitamentos com as características dos AHE de Santo Antonio e Jirau.**

Mesmo no início da fase de operação dos empreendimentos, o sedimento transportado em suspensão deverá assim se manter ao longo dos reservatórios, saindo pelos condutos das Tomadas D'água e pelos Vertedouros. A descarga do leito incluindo-se as parcelas transportadas por saltitação e arraste, constituída de material arenoso, ao alcançar as proximidades do barramento, deverá também ser escoada pelos Vertedouros, (que têm cotas de soleiras muito próximas a do leito do rio), devido a sua granulometria fina e a grande turbulência do escoamento no local. Esses aspectos são discutidos em detalhes a seguir.

Características dos Sedimentos

Da análise de todos os dados coletados e processados, apresentados e discutidos no item 3, conclui-se que o rio Madeira caracteriza-se por significativo transporte de material sólido. Nele prevalece, porém, com grande porcentagem, material fino - 25% de argila, 60,6% de silte, 12% de areia fina ($\Phi < 0,25\text{mm}$) e 2,4% de areia grossa ($\Phi > 0,25\text{mm}$).

Desse material, 94,3 % é transportado em suspensão na corrente líquida e 5,7 % é arrastado no leito ou salta junto a ele. Além disso, somente 0,44% do total de sedimentos correspondem ao sedimento graúdo, composto por areia média, areia grossa e traços de pedregulho. Dessa forma somente esta última parcela do material sólido (0,44% do total) não teria condições de ultrapassar a barreira imposta pelos barramentos até que os depósitos de sedimentos atingissem os canais de aproximação dos vertedouros, por onde o fenômeno do arrastamento teria continuidade.

Análise do Comportamento Hidráulico do Rio Madeira com e sem Reservatório

A partir dos perfis de linha d'água e de velocidades obtidos a partir de simulação do escoamento, realizadas pelo modelo HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers – River Analysis System HEC-RAS – Version 3.1.1 – September 2002), foi possível apreciar a magnitude da mudança das características hidráulicas ao longo do estirão fluvial, tendo como objetivo identificar os trechos com tendência ao assoreamento e a capacidade de transporte nas situações de estiagem, média e de cheias.

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

Figura 4.1
Perfis de Linha d'Água Simulados entre AHE Santo Antônio e AHE Jirau

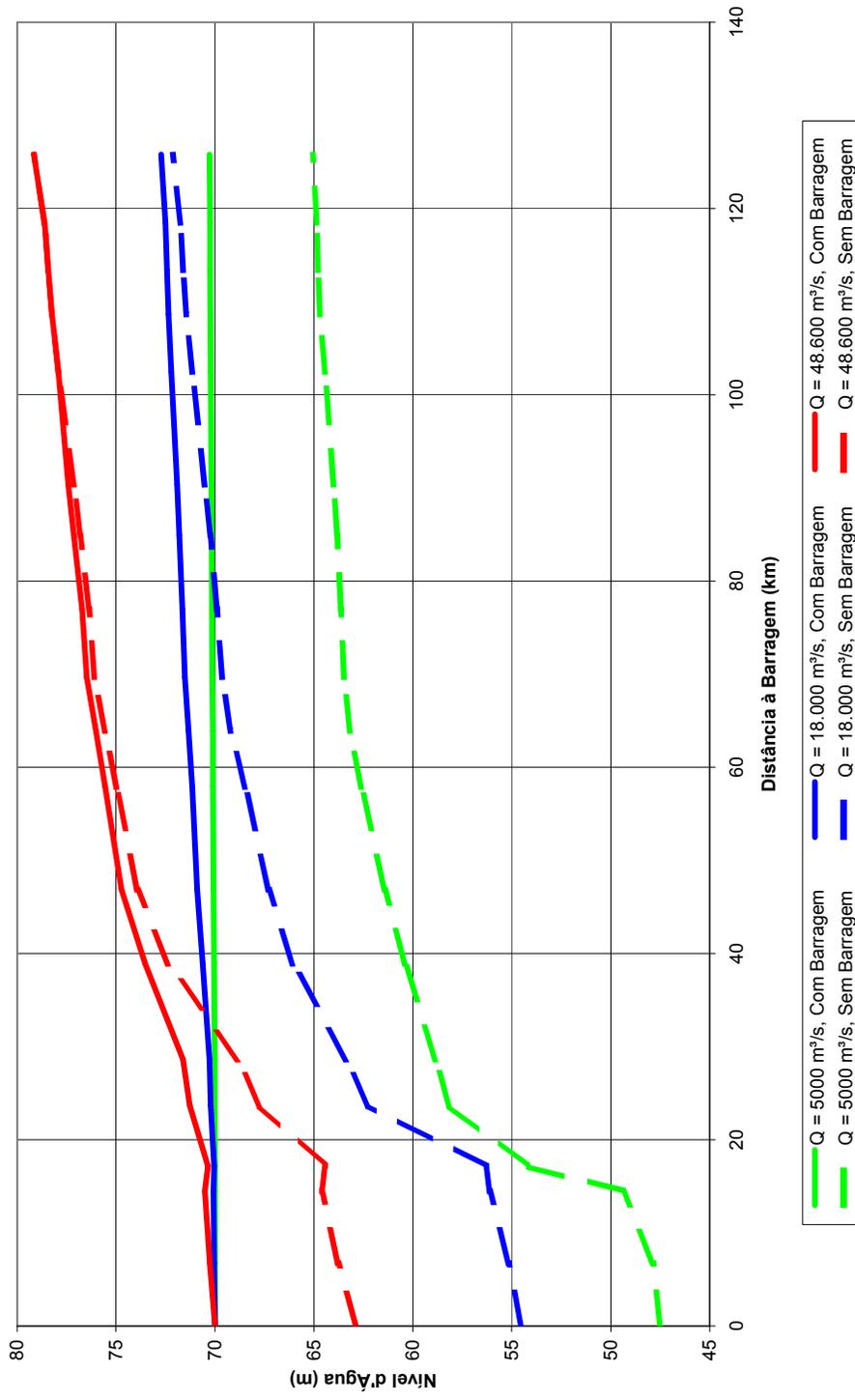


Figura 4.2
Perfis de Velocidades d'Água Simulados entre AHE Santo Antônio e AHE Jirau

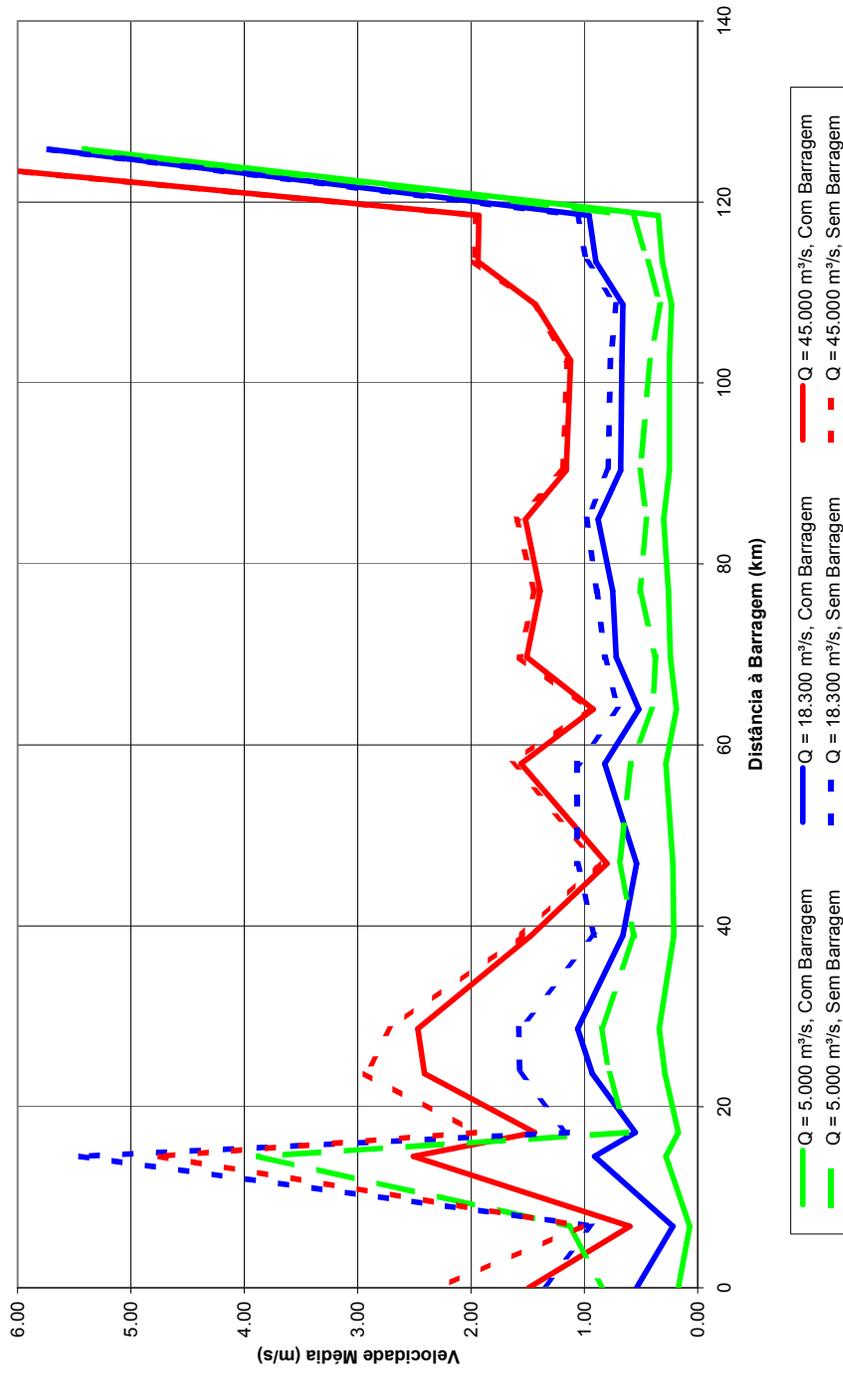


Figura 4.3
Perfis de Linha d'Água Simulados – Trecho: Jirau - Abunã

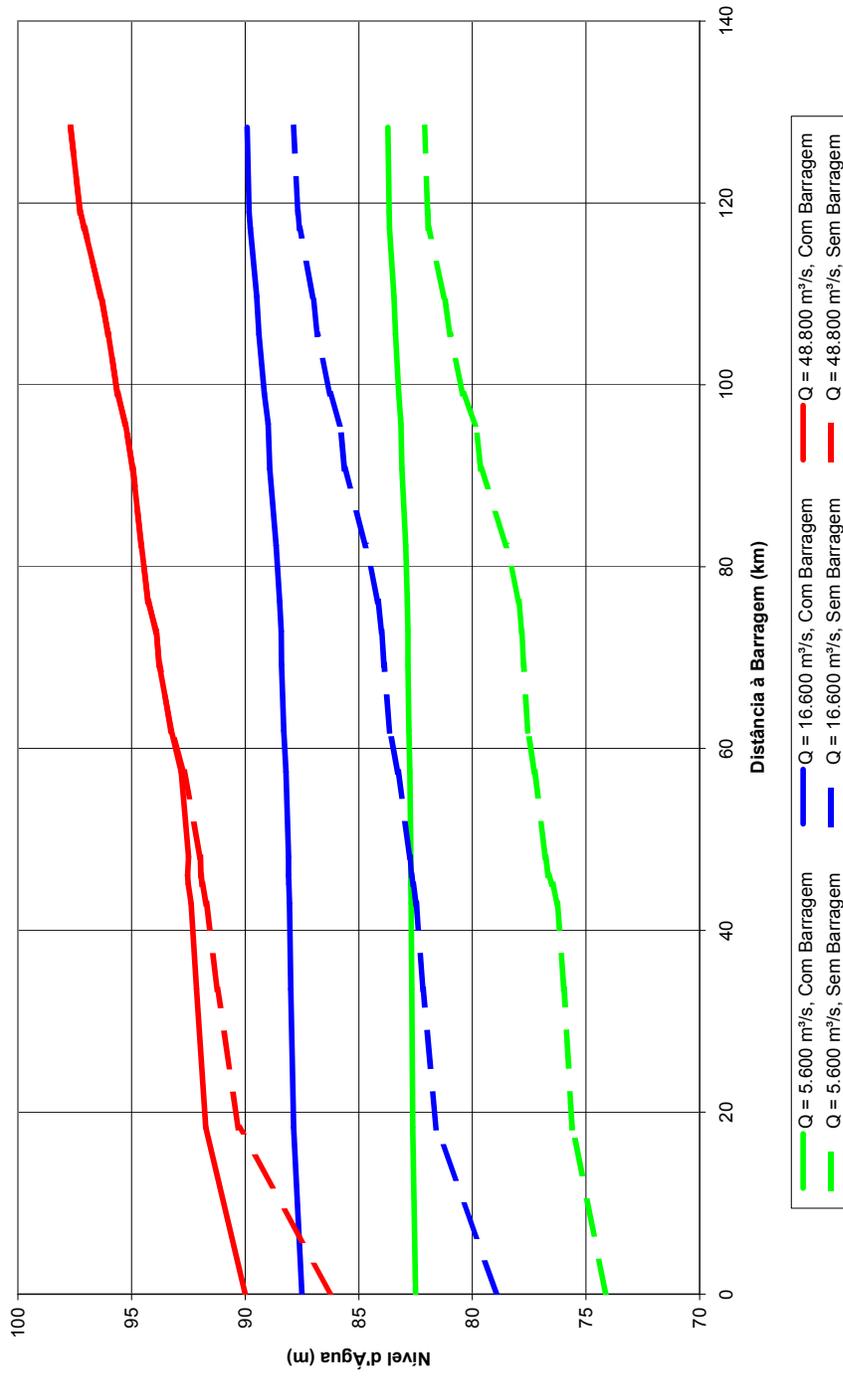
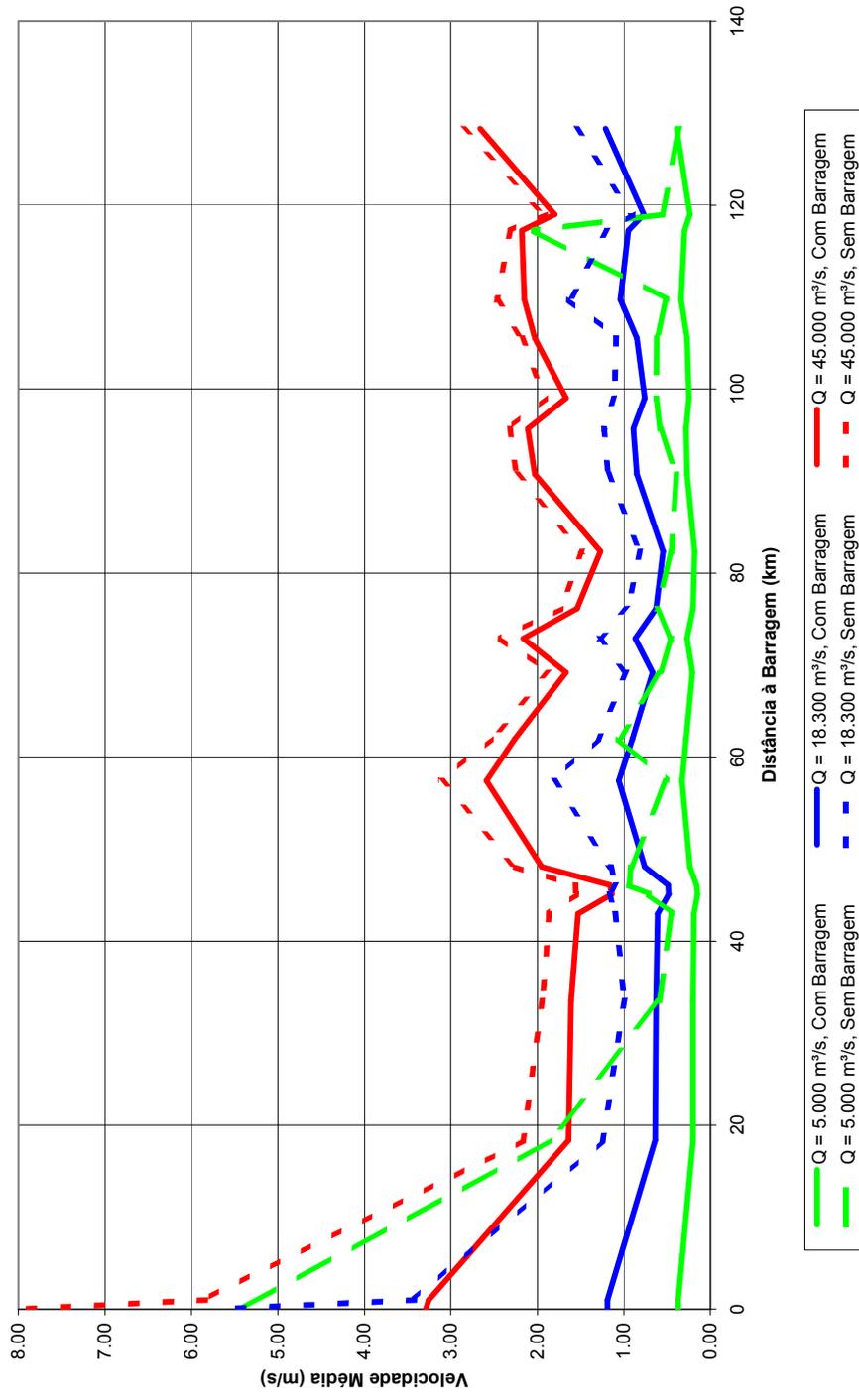


Figura 4.4
Perfis de Velocidade Simulados – Trecho: Jirau - Abunã



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; que ficam afogadas quando as vazões aumentam, e as velocidades locais diminuem.

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

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

	Vazão (m³/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	1,40	(0,05)
UHE JIRAU	5.600	2,62	0,31	(2,31)	0,68	0,24	(0,44)
	16.600	4,57	1,19	(3,38)	1,17	0,76	(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.
- No trecho mais próximo à barragem, 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, na situação de vazões baixas, a capacidade de transporte por arrasto ficará muito reduzida, sendo de se esperar que o material transportado pelo fundo aí se deposite, ficando disponível até que o aumento da vazão e conseqüentemente da velocidade de escoamento, mobilize para jusante. Quanto ao de suspensão, as velocidades de escoamento serão ainda capazes de transportá-los. Na situação de cheias, as velocidades de escoamento têm capacidade de transportar o sedimento, seja de suspensão ou do leito.

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 às obtidas para o reservatório de Santo Antônio.
- As reduções de velocidade de escoamento ao longo de todo o restante do reservatório, apesar de mais significativas que no reservatório de Santo Antônio, também são quase sempre superiores às obtidas para este último.
- Por esse motivo, não se espera 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 Santo Antônio e Jirau teve por objetivo apenas de tentar identificar segmentos mais propícios ao assoreamento, não permitindo nenhuma conclusão quanto à quantidade de sedimento que pode vir a ser depositado.

Hidrodinâmica e transporte de sedimentos através dos Vertedouros e Tomadas D'Água

É importante esclarecer, inicialmente, que a expressão “nível de assoreamento ao pé de barragem”, utilizada ao longo deste documento, é de uso corrente na literatura referente às análises e cálculos do comportamento sedimentológico de reservatórios, porém em muitos casos, em especial como os dos aproveitamentos aqui discutidos, não deve ser entendida rigorosamente em seu sentido literal.

O significado físico da expressão mais se aproxima deste último à medida que os reservatórios, junto às obras do barramento, têm largura várias vezes maior que a da calha principal do rio (resultando em “zonas mortas”, de água parada, propícias à deposição permanente de sedimentos) e suas estruturas de descarga (circuitos de adução, vertedouros etc.) localizam-se em cotas elevadas em relação à fundação dessas obras (“pé da barragem”) e têm área da seção de “chamada hidráulica” muito inferior à da calha principal do rio nas condições naturais. Em casos como esses, o campo de velocidades do fluxo na aproximação ao barramento, sobretudo nas cotas inferiores e próximas ao fundo do reservatório, resulta em intensidades muito baixas, incapazes de produzir o transporte dos sedimentos – praticamente de qualquer granulometria, mas sobretudo as partículas mais pesadas, que normalmente são conduzidas pelo escoamento por arraste ou saltitação – até as cotas das soleiras dos dispositivos de descarga, que garantiriam a continuidade de seu carreamento para jusante.

A partir de uma análise dos arranjos gerais e das dimensões e cotas constantes dos desenhos das estruturas desses dois aproveitamentos do rio Madeira fica fácil compreender que a configuração dos reservatórios e de suas obras hidráulicas no barramento se traduz num panorama hidráulico ou hidrossedimentológico totalmente diverso (ou quase inverso) do acima esboçado.

A seguir, resumem-se algumas das características gerais desses aproveitamentos que auxiliam na demonstração da afirmativa anterior.

Em Santo Antônio, a largura da calha principal (e, praticamente, do vale inundável pelo reservatório) numa seção a montante das entradas dos canais de adução e de aproximação do vertedouro é de aproximadamente 1,0 km, enquanto que na seção do barramento a largura total é da ordem de 2,6 km, ou seja, pouco mais que o dobro; porém, desta última largura cerca de 1,6 km (aproximadamente 60%) corresponde à soma das larguras do vertedouro e tomada d'água. Em suma, a largura total das passagens da água para jusante não é menor que da própria calha natural a montante.

Por outro lado, altimetricamente tem-se que, com relação ao vertedouro, enquanto a soleira vertente (El. 50,00) encontra-se a uma profundidade de 20,0 m em relação ao N.A. normal (El. 70,00), seu canal de aproximação, com fundo projetado na El. 42,00 nos trechos próximos à estrutura, tem profundidade de 28,0 m; ou seja, a soleira do vertedouro, de paramento inclinado a montante, encontra-se bem mais próxima do fundo (8,0 m) do que da superfície (20,0 m), sendo por isso capaz de exercer grande influência sobre os sedimentos trazidos às suas proximidades.

Com relação à tomada d'água, a soleira da estrutura (El. 25,20) encontra-se a uma profundidade de aproximadamente 45,0 m em relação ao N.A. normal, não dificultando a passagem para jusante dos sedimentos que cheguem até ela. Contudo, o septo representado pelo tramo remanescente da ensecadeira de 1ª fase à entrada de seu canal de adução, na El. 63,00, portanto, 13,0 m acima da soleira do vertedouro, constitui um obstáculo deliberadamente previsto no projeto para dificultar esse acesso de sedimentos à estrutura, principalmente dos mais pesados. Enquanto que o septo situa-se a uma profundidade de 7,0 m, a calha do rio imediatamente a montante tem cotas (El. 40,00 a 45,00) que resultam em profundidades de 30,0 m 25,0 m; ou seja, esse septo, por um lado, protege a tomada contra sedimentos mais pesados e, por outro lado, induz eventual deposição destes no caminho do fluxo de aproximação ao vertedouro.

Em Jirau, as características são similares. A largura da seção do reservatório a montante das entradas dos canais de adução e de aproximação do vertedouro é da ordem de 0,6 km e a largura total na seção do barramento é da ordem de 2,5 km, ou cerca de 4 vezes aquela. Desta última largura, cerca de 1,6 km correspondem à soma das larguras da tomada e do vertedouro, ou seja, praticamente inexitem condições para ocorrência de “zonas mortas”, propícias à deposição permanente de sedimentos junto à barragem.

Altimetricamente, o panorama também é semelhante ao de Santo Antônio. O vertedouro tem soleira na El. 70,00 e seu canal de aproximação tem o fundo na El. 62,00, isto é, a soleira também está a apenas 8,0 m do fundo. A profundidade do escoamento, em relação ao N.A. normal do reservatório (El. 90,00) é de 20,0 m acima da soleira do vertedouro ou de 28,0 m acima do canal nas proximidades do vertedouro. Igualmente, são extremamente favoráveis as condições do contorno físico para que a influência dessa estrutura sobre os sedimentos se manifeste de forma eficaz.

Quanto à tomada d'água, sua soleira (na El. 49,85) encontra-se a uma profundidade de aproximadamente 40,0 m em relação ao N.A. normal, sendo, portanto, baixa, o que também não dificulta a passagem para jusante dos sedimentos trazidos pelo escoamento até ela. Como a entrada do canal de adução, entretanto, situa-se na El. 78,00 (8,0 m acima da soleira do

vertedouro e cerca de 13,0 m acima do fundo da calha do rio nas imediações), a passagem de sedimentos em direção à tomada, principalmente a porção mais pesada destes, será dificultada por esse obstáculo, sendo induzida sua deposição temporária, até que o aumento do fluxo para o vertedouro os movimente no sentido desta estrutura, e daí para jusante da barragem.

Para uma análise comparativa, nos casos de Jirau e Santo Antônio, a expressão “nível de assoreamento ao pé da barragem” e as cotas de sedimentação obtidas nos cálculos poderiam ser consideradas como aplicáveis a uma seção localizada, por exemplo, a montante da entrada dos canais de adução à tomada d’água e de aproximação do vertedouro, efetuando-se a partir daí a verificação das condições efetivas dos campos de velocidade e de transporte dos sedimentos, tendo-se em mente as características de contorno físico descritas nos parágrafos precedentes.

Visando ilustrar de modo um pouco mais quantitativo as condições hidráulicas gerais na área de ambos os reservatórios imediatamente a montante das obras e com isso demonstrar-se, em termos de magnitudes, a capacidade de transporte de sedimentos na mesma, efetuaram-se simulações através do modelo HEC-RAS em que se considerou o funcionamento conjunto da tomada d’água e vertedouro, com N.A. do reservatório na El. 90,00 (Jirau) e El. 70,00 (Santo Antônio), para uma vazão total de 40.000 m³/s, sendo 24.000 m³/s pela tomada e 16.000 m³/s pelo vertedouro. Trata-se de uma situação com probabilidade média de ocorrer anualmente, no período de cheias. A simplificação da modelagem se refere à pouca discretização em termos do número de seções utilizadas nos cálculos – 20 em Jirau e 12 em Santo Antônio – e ao estabelecimento de forma arbitrária (sem preocupação com otimizações) da linha vertical de separação dos escoamentos afluentes às duas estruturas.

As duas Figuras 4.6 e 4.7, a seguir representam graficamente as distribuições de velocidades em algumas das seções consideradas nos cálculos.

Figura 4.6

Figura 4.7

Nem todas as seções utilizadas foram incluídas, para não prejudicar a visualização, devido à superposição de alguns diagramas de seções contíguas. Nos gráficos também se apresentam os valores das velocidades médias (em m/s), em cada seção (ou segmento de seção) e o diâmetro (D_{50}), em mm, do sedimento capaz de ser arrastado pelo fluxo nas condições de vazão simuladas, determinados pelo critério da tensão trativa (Reservoir Sedimentation Handbook – Design and Management of Dams, Reservoirs, and Watersheds for Sustainable Use – Gregory L. Morris & Jiahua Fan – McGraw – Hill – 1997).

Esses gráficos indicam que as velocidades médias em Jirau (ver Figura 4.7), no segmento do reservatório e para as condições de operação analisadas, situam-se entre 0,7 m/s e 2,3 m/s. Velocidades médias dessa magnitude, nas condições de profundidade e localização das respectivas seções, são capazes de movimentar, conforme os resultados das cálculos, sedimentos com D_{50} entre **1,9 mm e 33,2 mm**, localizados no fundo, ou seja, desde **areia muito grossa** até **cascalho grosso** ou **muito grosso**, dependendo da escala de classificação considerada.

Fica bastante evidente que o vertedouro e seu canal de aproximação, que funcionarão por alguns meses praticamente todos os anos (o aproveitamento é a fio d'água), funcionarão como verdadeiro descarregador de fundo, para praticamente a totalidade dos sedimentos medidos e previstos para afluírem ao reservatório (ver item 3) e que cheguem à região objeto desta análise.

O fato da soleira do vertedouro situar-se 8,0 m acima da cota de fundo do seu canal de aproximação não impedirá o transporte dos sedimentos para jusante, já que a magnitude das velocidades e o elevado grau de turbulência (n° de Reynolds superiores a 28×10^6) previstos em suas proximidades, quando suas comportas estivessem abertas, são compatíveis com o arraste e a elevação dos sedimentos ao longo da rampa de sua soleira e sobre esta.

A existência de um grande número de pilares na estruturas e a contração no fluxo provocada por estes, além das inevitáveis situações de desigualdade temporária de aberturas das comportas (mesmo que de pequena magnitude, como certamente será estabelecido no plano de operação das mesmas na fase de projeto executivo), favorecem a geração de gradientes transversais de velocidades ao longo do prisma de chamada da soleira, resultando em movimentos helicoidais ascendentes que tendem a elevar e fazer flutuar os grãos de sedimentos arrastados do fundo do canal que, num segundo momento, são conduzidos pela corrente longitudinal por sobre a soleira e, desta forma, para jusante.

Evidentemente, esse processo será tão ou mais intenso quanto mais elevada a cota em que se encontrar o sedimento. Assim, pelas estimativas numéricas aqui apresentadas e ilustradas na figura comentada, na hipótese de que viesse a ocorrer deposição de sedimentos no canal (no início dos períodos de vertimento, por exemplo, quando a vazão vertida seria ainda relativamente pequena) a cota que esse depósito atingiria, mais alta que a do canal, simplesmente tornaria mais fácil o transporte dos sedimentos para jusante à medida que a vazão vertida fosse aumentando. Portanto, não há dúvidas de que os sedimentos que atinjam as proximidades do vertedouro serão por ele transportados para jusante, como ocorre na maioria dos vertedouros de soleira baixa existentes, que em geral são aqueles cuja a altura da

soleira em relação ao canal de aproximação é igual ou inferior à metade da carga de seu dimensionamento (20,0 m no caso em questão).

Para Santo Antônio, os resultados são semelhantes (ver Figura 4.7), e as conclusões e observações são essencialmente as mesmas.

O circuito de adução, que operará durante todo o ano, também efetuará o transporte do material sólido, nas apenas daquele que porventura transpor a entrada do canal de adução que se encontra 13 m acima da calha do rio. Consequentemente, esse material deverá se restringir comumente a sedimentos finos.

4.2. AHE SANTO ANTÔNIO

A avaliação do assoreamento do reservatório do AHE Santo Antônio foi realizada considerando o NA do reservatório na El. 70,00 m que corresponde ao NA máximo normal. Foram também consideradas as hipóteses da taxa anual de crescimento do sedimento nulo e igual a 2%.

4.2.1. Dados Básicos

No desenvolvimento dos estudos hidrossedimentológicos no reservatório do AHE Santo Antônio, foram utilizadas os seguintes dados:

- curvas cota x área e cota x volume do reservatório, apresentadas na Tabela 4.8;

Tabela 4.8
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

Tabela 4.8 (Continuação)
AHE Santo Antônio
Curvas Cota x Área, e Cota x Volume do Reservatório

Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)
39.00	4.12	19.80
40.00	4.58	24.15
41.00	5.05	28.97
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

Tabela 4.8 (Continuação)
AHE Santo Antônio
Curvas Cota x Área, e Cota x Volume do Reservatório

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
73.00	395.27	3,059.88
74.00	438.52	3,476.78
75.00	480.40	3,936.24

- série de descargas sólidas médias mensais na estação de Porto Velho, representada na tabela 3.19 (item 3.2.6);
- informações referentes às medições de descarga sólida realizadas, tais como:
 - granulometria e o peso específico médio inicial do sedimento, item 3.2.4;
 - curva-chave de sedimentos na estação de Porto Velho, item 3.2.5;
 - a taxa anual de aumento na produção de sedimentos, item 3.2.7.

4.2.2. 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:

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

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

onde:

- S - volume de sedimento retido no reservatório (m³/ano);
D_{st} - deflúvio sólido total médio anual afluente ao reservatório (t/ano);
E_r - eficiência de retenção do reservatório ao sedimento afluente ao lago;
γ_{ap} - peso específico aparente médio dos depósitos (t/m³);

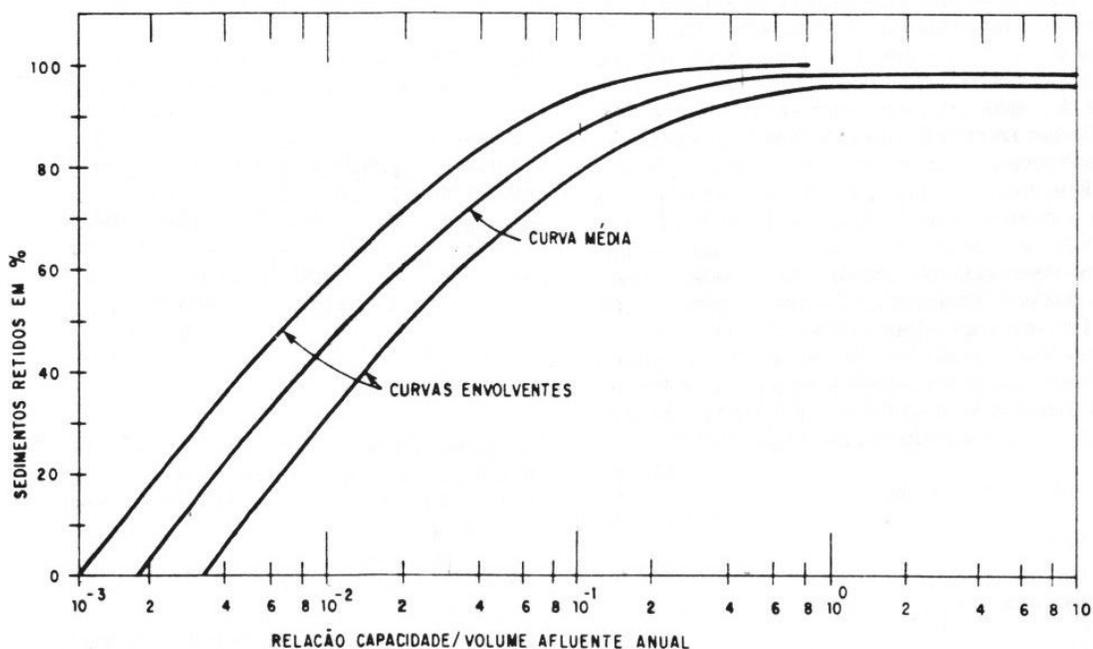
Q_{st} - descarga sólida total média afluyente ao reservatório (t/dia);

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

V_{res} - volume total ou outro característico do reservatório (m^3).

Para a obtenção dos valores da eficiência de retenção E_r , utiliza-se a curva de Brune, apresentada na Figura.4.9.

Figura 4.9
Curva de Brune



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.

4.2.3. Aplicação do Modelo

A partir da série de descargas líquidas médias mensais em Porto Velho e da curva-chave de sedimentos do rio Madeira em Porto Velho, 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.

Com o valor da descarga sólida total média diária afluyente ao reservatório do AHE Santo Antônio (1.621.024 t/dia), aplicou-se a metodologia anteriormente descrita para o cálculo do volume total de sedimentos assoreados no reservatório, considerando as hipóteses sem e com

aumento anual no aporte de sedimentos na bacia (R = 0% e 2% respectivamente, conforme calculado no item 3). Os resultados são apresentados nas Tabelas 4.10 e 4.11, para as duas hipóteses estudadas.

Tabela 4.10
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 4.10 (continuação)
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune - R = 0%

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

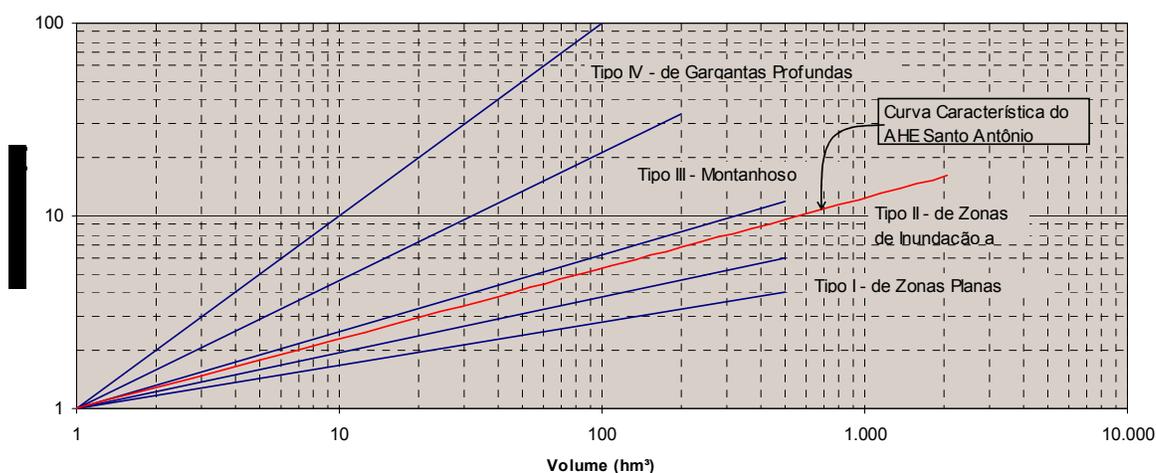
Nessa simulação de assoreamento os volumes de sedimentos retidos não podem ser associados a cotas do topo dos depósitos de sedimentos, já que eles não ocorrem segundo camadas horizontais. Nos casos dos reservatórios em análise, espera-se que o assoreamento se dê em formato entre cunha e depósito em camadas uniformes, decrescendo de espessura de montante para jusante (item 4.4).

De forma a se levar em conta essa desuniforme distribuição dos depósitos de sedimento aplicou-se o “método empírico de redução de área”, definindo-se o tipo de reservatório que será formado pelo AHE Santo Antônio pela curva volume x profundidade do reservatório.

A classificação do reservatório do AHE Santo Antônio com base na curva cota x volume apresentada no item 4.2.1 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), conforme apresentado na Figura 4.12.

Figura 4.12
Reservatório do AHE Santo Antônio
Curva Volume x Profundidade - Tipo de Reservatório



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.

Para tal, foram plotadas as curvas de profundidade relativa x profundidade $h'p$ para cada cenário estudado (n, R), além da curva representativa do reservatório Tipo II, que são apresentadas nas Figuras 4.13 e 4.14 respectivamente para $R = 0\%$ e 2% .

Figura 4.13
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Curva de Cálculo da Altura de Sedimento no Pé da Barragem - R = 0%

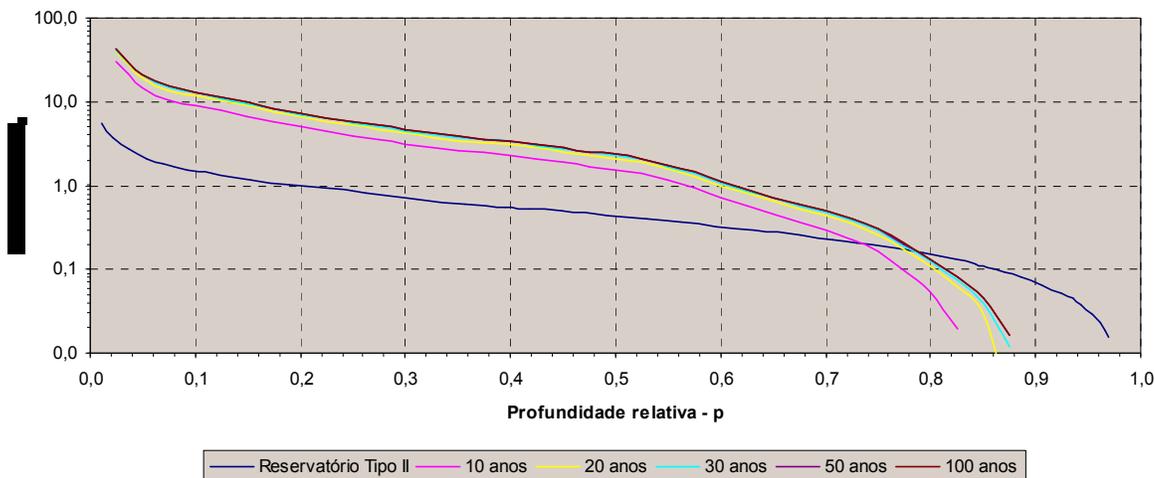
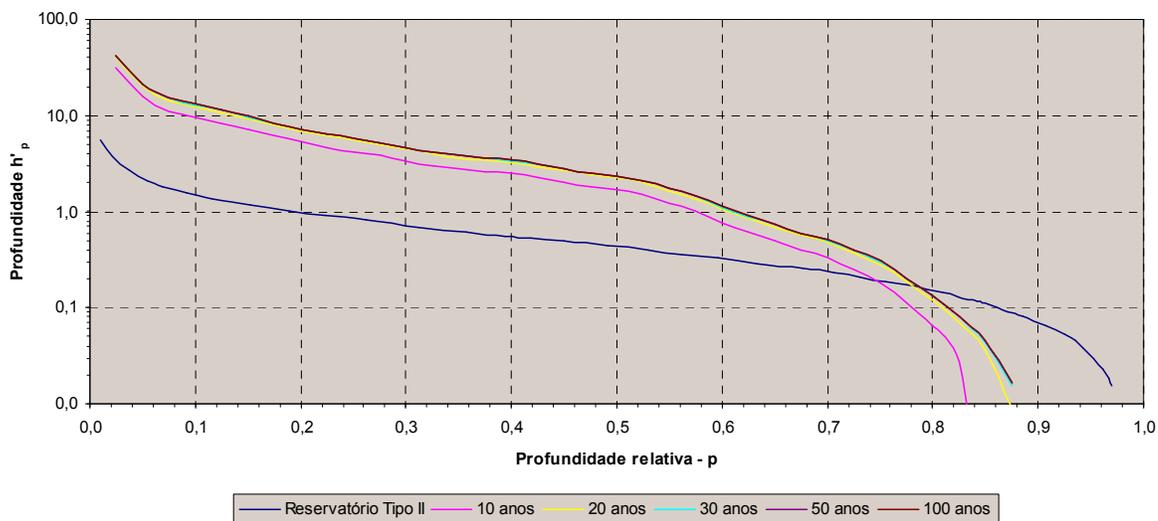


Figura 4.14
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Curva de Cálculo da Altura de Sedimento no Pé da Barragem - R = 2%



A cota que o assoreamento atinge no pé do barramento em cada horizonte de operação é obtida pelo produto da profundidade relativa dada pela interseção entre curva profundidade relativa x profundidade $h'p$ e a curva relativa ao reservatório pela altura máxima (profundidade do nível d'água normal).

As Tabelas 4.15 e 4.16 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 4.15
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem - $R = 0\%$

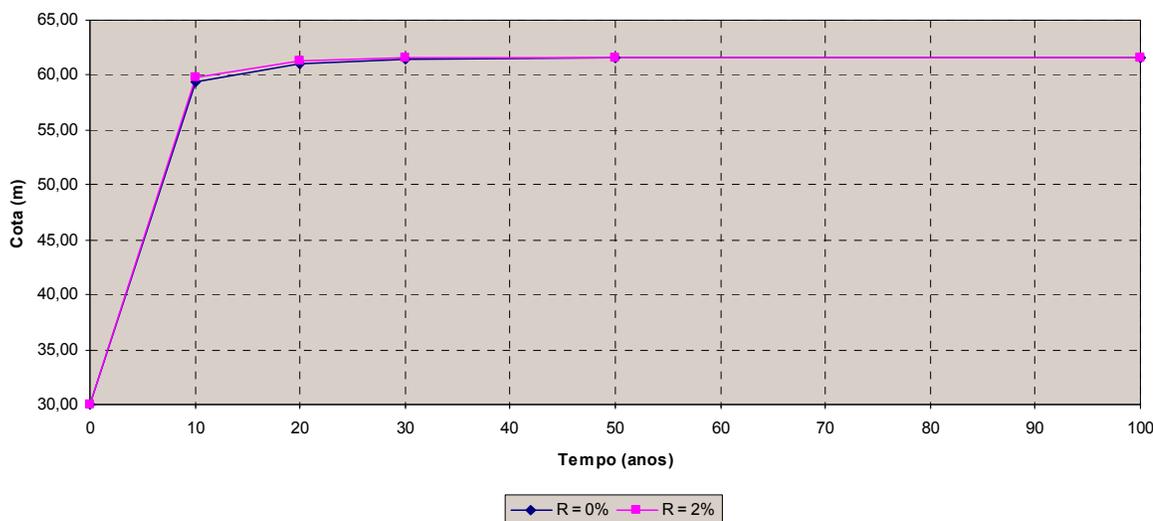
Tempo de Assoreamento (Anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	30,00
10	751,16	59,32
20	982,92	60,97
30	1.052,46	61,44
50	1.079,86	61,61
100	1.082,79	61,63

Tabela 4.16
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem - $R = 2\%$

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

As curvas de avanço do assoreamento no pé da barragem ao longo do tempo são apresentadas na Figura 4.17.

Figura 4.17
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.

A avaliação da distribuição de sedimentos em reservatórios é efetuada por um processo de cálculo por tentativas, procurando-se igualar o volume de sedimento acumulado com o volume de sedimentos depositados no reservatório para um determinado horizonte de operação.

Cada tentativa de cálculo é realizado com o auxílio dos coeficientes K e dos valores de área relativa para as várias profundidades do reservatório. Segundo Borland & Miller, o reservatório do Tipo II tem a seguinte equação para o cálculo da área relativa:

$$A_p = 2,487 \cdot p^{0,57} \cdot (1 - p)^{0,41}$$

onde

A_p - área relativa de deposição de sedimentos, adimensional;

p - profundidade relativa, determinada pela relação entre a profundidade para os vários níveis d'água e a profundidade máxima, esta calculada em relação ao nível máximo normal, adimensional.

Os coeficientes K são dados pelas equações:

$$K_1 = \frac{A}{A_p} \text{ e } K_i = K_1 \cdot \frac{S}{S_{i-1}}$$

onde

K_1 - coeficiente K para o primeiro passo de tempo, adimensional;

K_i - coeficiente K para o passo de tempo i , adimensional;

A - área do reservatório na cota da altura de sedimentos no pé da barragem para um determinado tempo de operação (km^2);

S - volume total de sedimentos depositados no reservatório em um determinado tempo de operação (hm^3);

S_{i-1} - volume calculado de sedimentos depositados no reservatório para o passo de tempo $i-1$ em um determinado tempo de operação (hm^3);

As Figuras 4.18 e 4.19 apresentam o resultado gráfico obtido para as novas curvas cota x área e cota x volume do reservatório do AHE Santo Antônio.

Figura 4.18
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume - R = 0%

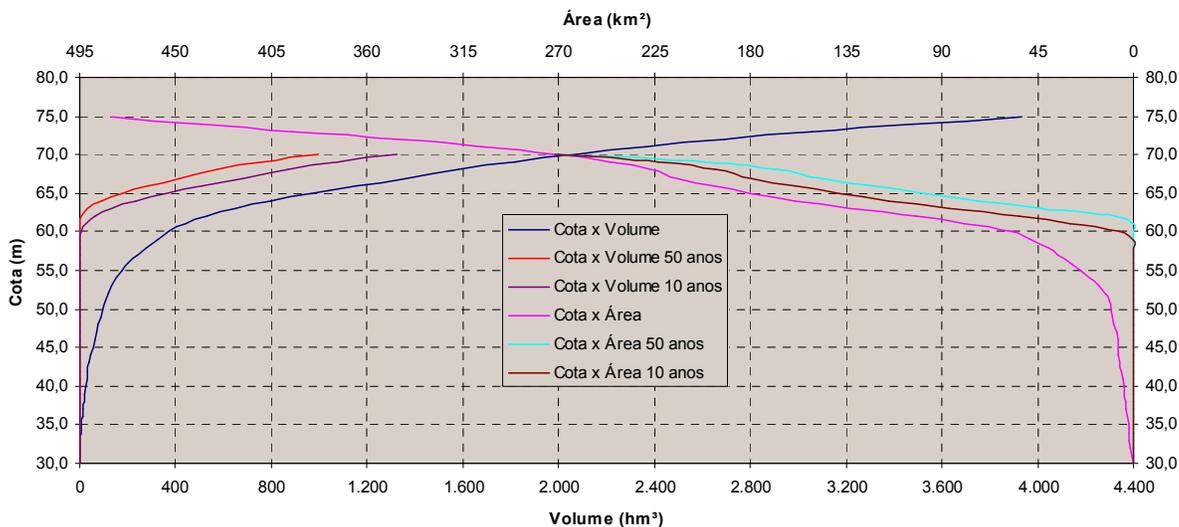
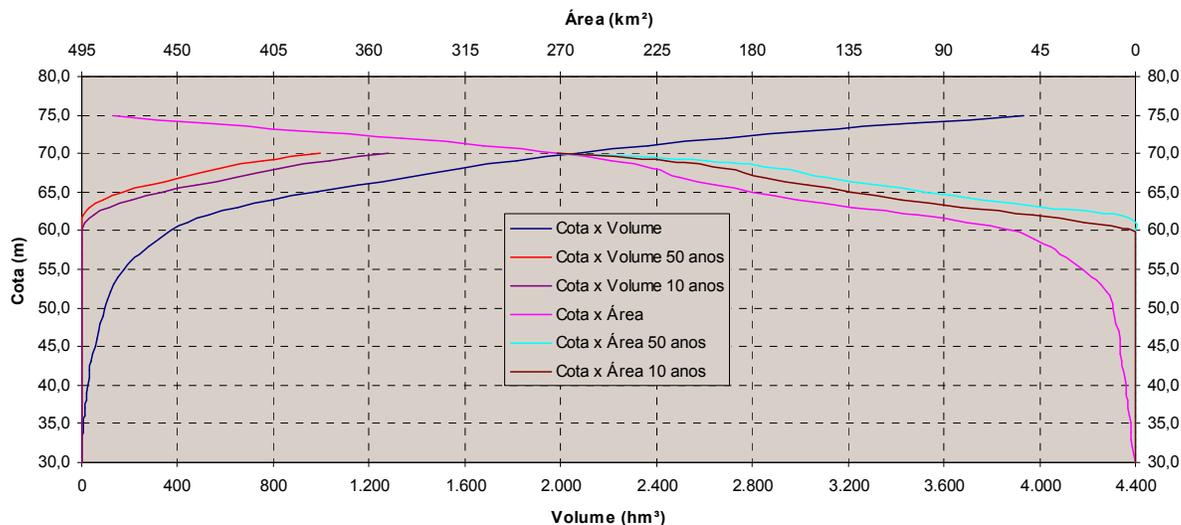


Figura 4.19
Estudos de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume - R = 2%



4.2.4. Análise dos Resultados

A relação entre o volume do reservatório do AHE Santo Antônio e o volume anual afluyente determinam uma reduzida capacidade de retenção de sedimentos do reservatório, de acordo com a curva média de Brune, como demonstrado na Tabela 4.20 que apresenta um resumo das principais resultados obtidos nas simulações.

Tabela 4.20
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

Tabela 4.20 (continuação)
Resumo dos Principais Resultados dos Estudos de Assoreamento

Perda de Volume do Reservatório	%	52,2	52,2
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

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 hm^3 para cerca de 1030 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. 61,6 m. Para garantia do não assoreamento das tomadas d'água durante o horizonte do estudo (100 anos), a ensecadeira de 1ª fase na margem esquerda, localizada frontalmente ao Canal de Adução da Tomada d'Água, deverá ser removido somente até a El. 63,00 m.

4.3. AHE JIRAU

A avaliação do assoreamento do reservatório de AHE Jirau foi inicialmente realizada considerando o NA do reservatório na El. 90,00 m que corresponde ao NA máximo operativo do reservatório.

Posteriormente, com a finalidade de avaliar a influência da operação do reservatório com NA variável mês a mês, segundo a Curva Guia do Reservatório apresentada na Tabela 4.21, foram realizados outros estudos considerando o NA do reservatório na El. 87,00 m, que corresponde ao NA médio operativo obtido pela média aritmética dos níveis d'água mensais estabelecidos na Curva Guia.

Em ambas as situações foram consideradas as hipóteses de taxa anual de crescimento de sedimentos nula e igual a 2%. A análise comparativa dos prognósticos do assoreamento do reservatório possibilitou formular conclusões sobre o assoreamento do reservatório operado com NA variável.

Cabe esclarecer que a avaliação do assoreamento do reservatório é realizada usualmente apenas para o nível d'água máximo normal, não somente para haver coerência com o método de Borland & Miller, mas, também, por ser o nível que permanece na época de maiores

vazões, quando ocorre maior carga sólida. Os depósitos de sedimentos se formam abaixo desse nível, tendo sido o método desenvolvido para essas condições.

Entretanto, uma vez que Strand (1974) e outros autores, preconizam que, para reservatórios com volume d'água de espera, se determine o assoreamento que pode ocorrer na altura de variação do volume de espera, decidiu-se, num critério conservador, aplicar tal recomendação aos estudos em questão, muito embora tal conceito não se aplique com exatidão ao caso do AHE Jirau.

4.3.3.1. Dados Básicos

No desenvolvimento dos estudos hidrossedimentológicos no reservatório do AHE Jirau, foram utilizadas os seguintes dados:

- Curva Guia do Reservatório, apresentada na Tabela 4.21;

Tabela 4.21
Curva Guia do Reservatório

Mês	Vazão Média Mensal (m ³ /s)	NA reservatório (m)
Jan	23.900	90,00
Fev	29.100	90,00
Mar	33.600	90,00
Abr	30.200	90,00
Mai	22.700	89,50
Jun	15.900	87,00
Jul	10.600	85,00
Ago	6.800	83,00
Set	5.600	82,50
Out	6.800	83,00
Nov	10.400	85,00
Dez	16.600	87,50

- curvas cota x área e cota x volume do reservatório, representada pela Tabela 4.22;

Tabela 4.22
AHE Jirau
Curvas Cota x Área, e Cota x Volume do Reservatório

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
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

- série de descargas médias mensais na estação de Porto Velho, apresentada no item 3.2.6.;
- informações referentes às medições de descarga sólida realizadas, tais como:
 - granulometria e o peso específico médio inicial do sedimento, item 3.2.4;

- curva-chave de sedimentos na estação de Porto Velho, item 3.2.5;
- a taxa anual de aumento na produção de sedimentos, item 3.2.7.

4.3.2. Metodologia

O modelo adotado pela avaliação do assoreamento do reservatório de Jirau foi o mesmo empregado no estudo do AHE Santo Antônio e descrito no item 4.2.2, no qual emprega-se a Curva de Brune para estimar a eficiência de retenção de sedimentos do reservatório.

Com o valor da descarga sólida total média diária afluenta ao reservatório do AHE Jirau (1.594.529 t/dia), aplicou-se a metodologia anteriormente descrita para o cálculo do volume total de sedimentos assoreados no reservatório, considerando as hipóteses sem e com aumento anual (2%) no aporte de sedimentos na bacia. Os resultados são apresentados nas Tabelas 4.23 e 4.24, para as duas hipóteses estudadas.

Tabela 4.23
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 %	□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

Tabela 4.23 (continuação)
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 %	□ap t/m³	Sedimentos			Volume Disponível no Reservatório hm³
			Afluentes hm³ (ao ano)	Retidos hm³ (ao ano)	Acumulados hm³	
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 4.24
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 %	□ap t/m³	Sedimentos			Volume Disponível no Reservatório hm³
			Afluentes hm³ (ao ano)	Retidos hm³ (ao ano)	Acumulados hm³	
0	19,15	1,007	578,00	0,00	0,00	2.015,26
5	13,30	1,059	606,54	80,65	483,41	1.531,85
10	6,68	1,088	652,21	43,54	767,10	1.248,16
15	3,16	1,106	708,51	22,36	916,42	1.098,84
20	1,32	1,119	773,11	10,23	988,66	1.026,60
25	0,51	1,129	845,75	4,29	1.020,19	995,07
30	0,18	1,138	926,73	1,62	1.032,74	982,52
35	0,05	1,145	1.016,62	0,55	1.037,22	978,04
40	0,01	1,151	1.116,19	0,16	1.038,64	976,61
45	0,00	1,157	1.226,30	0,04	1.039,04	976,22
50	0,00	1,162	1.347,97	0,01	1.039,13	976,13

Tabela 4.24 (continuação)
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 %	□ap t/m ³	Sedimentos			Volume Disponível no Reservatório hm ³
			Afluentes hm ³ (ao ano)	Retidos hm ³ (ao ano)	Acumulados hm ³	
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

Conforme explicado anteriormente, nessas simulações de assoreamento os volumes de sedimentos retidos não podem ser associados a cotas do topo dos depósitos de sedimentos, já que eles não ocorrem segundo camadas horizontais. No caso do reservatório em análise, espera-se que o assoreamento se dê em formato entre cunha e depósito em camadas uniformes, decrescendo de espessura de montante para jusante (item 4.4).

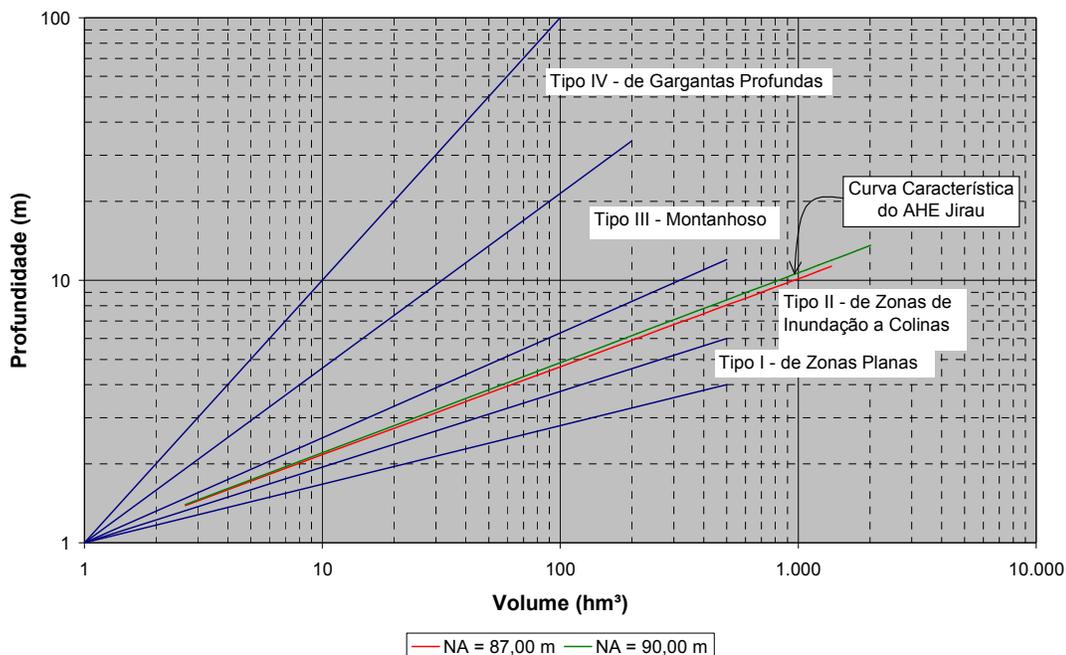
De forma a se levar em conta essa desuniforme distribuição dos depósitos de sedimento aplicou-se o “método empírico de redução de área”, definindo-se o tipo de reservatório que será formado pelo AHE Jirau pela curva volume x profundidade do reservatório.

Para o cálculo do volume de sedimentos assoreados ao pé do barramento com aplicação do “método empírico de redução de área”, tem-se a necessidade de definir o tipo de reservatório que será formado pelo AHE Jirau através de curva volume x profundidade do reservatório.

A classificação do reservatório do AHE Jirau com base na curva cota x volume apresentada no item 4.2.1 determinaria o reservatório como do tipo III (montanhoso). Entretanto, a cota 65,0 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 Jirau e Abunã indicam cotas de fundo significativamente inferiores (ver item 6).

Considerando, para efeito de classificação do tipo de reservatório, a cota mínima de fundo do rio na EI 60,00 e que o acréscimo de volume entre elevação 65,00 e 60,00 é irrelevante, o reservatório pode ser classificado com do tipo II (de zonas de inundação a colinas), conforme apresentado na Figura 4.25.

Figura 4.25
Reservatório do AHE Jirau
Curva Volume x Profundidade - Tipo de Reservatório



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.

Para tal, foram plotadas as curvas de profundidade relativa x profundidade h_p para cada cenário estudado (n, R), além da curva representativa do reservatório Tipo II, que são apresentadas nas Figuras 4.26 e 4.27 respectivamente para $R = 0\%$ e 2% .

Figura 4.26
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Curva de Cálculo da Altura de Sedimento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 90,00 m - R = 0%

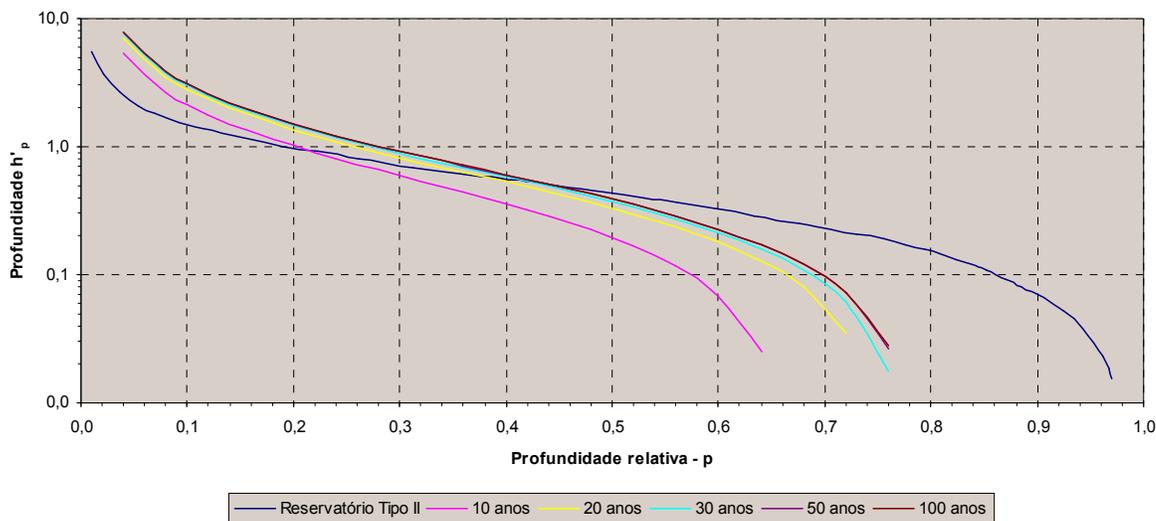
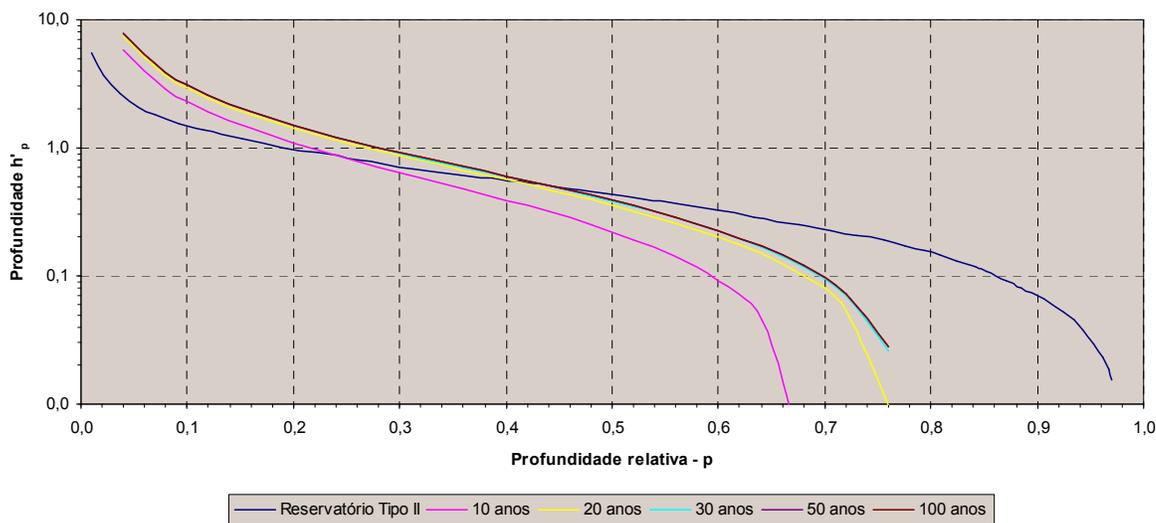


Figura 4.27
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Curva de Cálculo da Altura de Sedimento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 90,00 m - R = 2%



A cota que o assoreamento atinge no pé do barramento em cada horizonte de operação é obtida pelo produto da profundidade relativa dada pela interseção entre curva profundidade relativa x profundidade h'_p e a curva relativa ao reservatório pela altura máxima (profundidade do nível d'água normal).

As Tabelas 4.28 e 4.29 apresentam o volume 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 4.28
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 90,00 m - $R = 0\%$

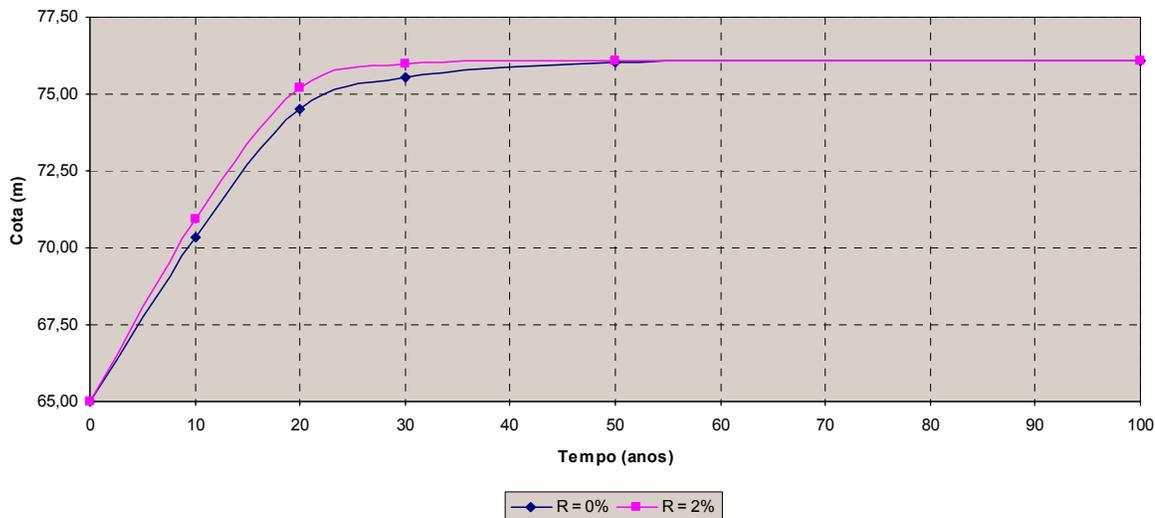
Tempo de Assoreamento (Anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	65,00
10	722,22	70,34
20	943,79	74,49
30	1.010,18	75,56
50	1.036,35	76,02
100	1.039,14	76,09

Tabela 4.29
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 90,00 m - $R = 2\%$

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

As curvas de avanço do assoreamento no pé da barragem ao longo do tempo são apresentadas na Figura 4.30.

Figura 4.30
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, detalhada no item 4.2.3, 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 4.31 e 4.32 apresentam o resultado gráfico obtido para as novas curvas cota x área e cota x volume do reservatório do AHE Jirau.

Figura 4.31
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau / Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume NA do Reservatório = 90,00 m - R = 0%

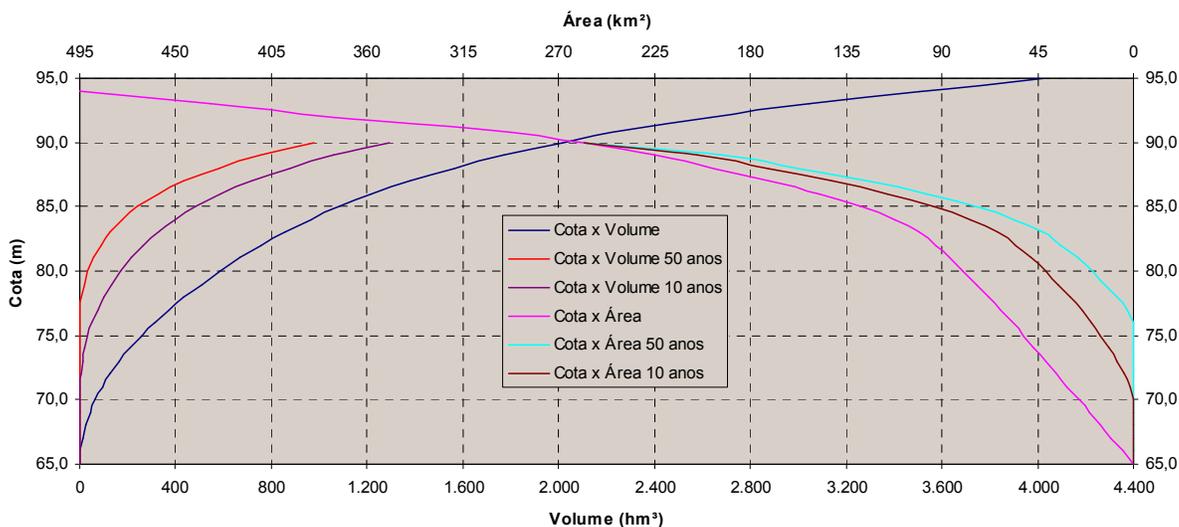
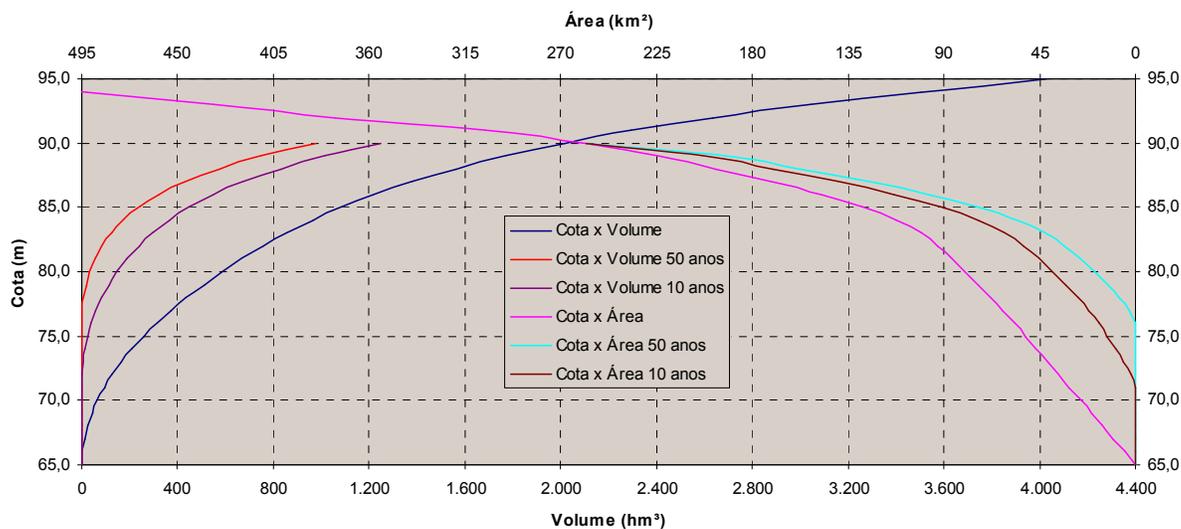


Figura 4.32
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume
NA do Reservatório = 90,00 m - R = 2%



4.3.4. Aplicação do Modelo para NA do Reservatório na EL. 87,00 m

A aplicação do modelo para o reservatório com NA na EL. 87,00 m (nível médio operativo) seguiu a mesma seqüência descrita no item anterior. Com o valor da descarga sólida total média diária afluyente ao reservatório do AHE Jirau (1.594.529 t/dia), calculou-se o volume total de sedimentos assoreados no reservatório, considerando as hipóteses sem e com aumento anual no aporte de sedimentos na bacia (R = 0% e 2%). Os resultados são apresentados nas Tabelas 4.33 e 4.34.

Tabela 4.33
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 %	□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	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 4.34
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

Fazendo as mesmas considerações anteriores para a classificação do tipo de reservatório, ou seja: cota mínima de fundo do rio na EI 60,00 e que o acréscimo de volume entre elevação 65,00 e 60,00 é irrelevante, o reservatório no NA 87,00 m pode ser classificado também como do tipo II (de zonas de inundação de a colinas), conforme apresentado na Figura 4.25.

As curvas de profundidade relativa x profundidade h_p para cada cenário estudado (n anos de operação e taxa anual de crescimento de sedimentos $R = 0\%$ e $R = 2\%$), além da curva representativa do reservatório Tipo II, são apresentadas nas Figuras 4.35 e 4.36 respectivamente para $R = 0\%$ e 2% .

Figura 4.35
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Curva de Cálculo da Altura de Sedimento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 0%

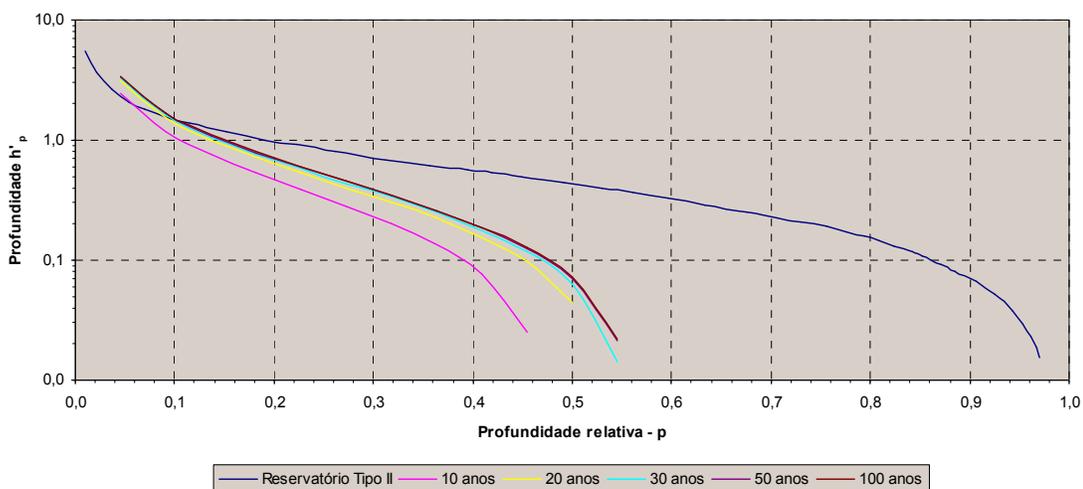
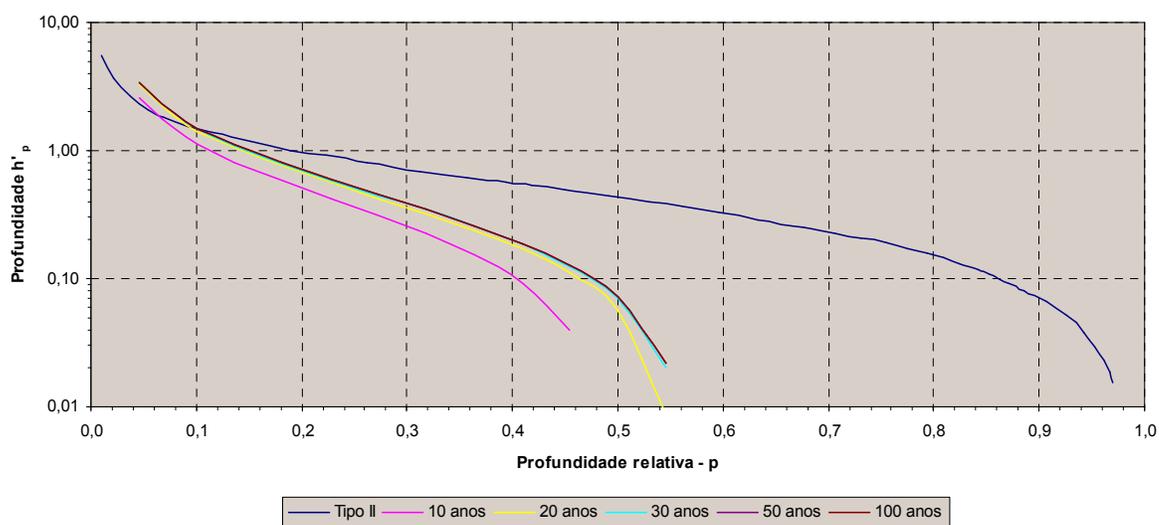


Figura 4.36
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Curva de Cálculo da Altura de Sedimento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 2%



As Tabelas 4.37 e 4.38 apresentam o volume de sedimentos depositados no reservatório e a cota de altura de sedimentos no pé da barragem, para cada horizonte de operação, respectivamente para $R = 0\%$ e $R = 2\%$.

Tabela 4.37
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 0%

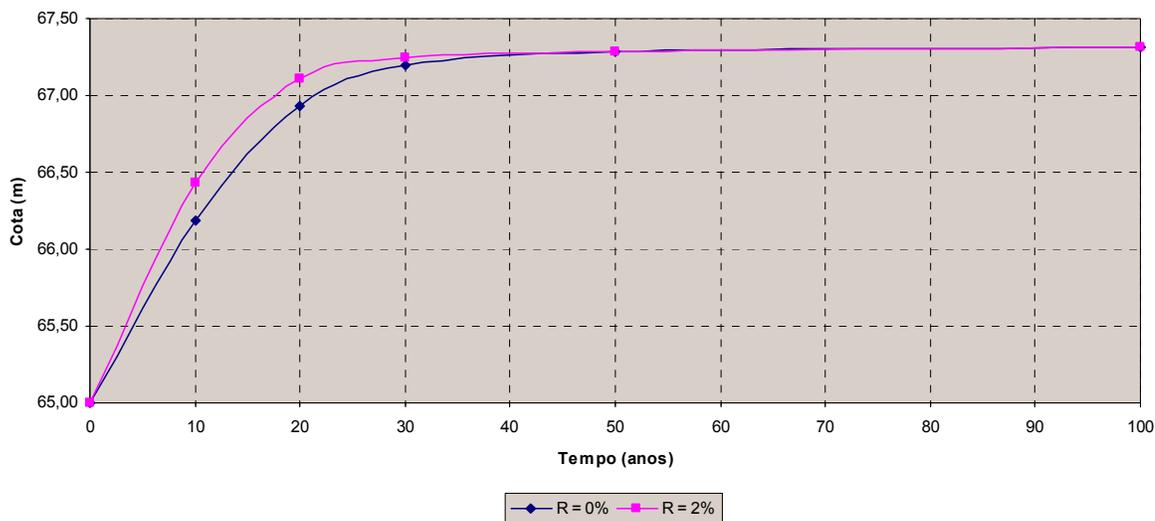
Tempo de Assoreamento (Anos)	Volume de Sedimentos Depositados no Reservatório (hm³)	Cota da Altura de Sedimentos no Pé da Barragem (m)
0	0,00	65,00
10	287,73	66,19
20	368,77	66,94
30	392,46	67,20
50	401,80	67,29
100	402,80	67,31

Tabela 4.38
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Altura de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 2%

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

As curvas de avanço do assoreamento no pé da barragem ao longo do tempo são apresentadas na Figura 4.39.

Figura 4.39
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Curva do Avanço de Assoreamento no Pé da Barragem
NA do Reservatório = 87,00 m



Finalmente, 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, que são apresentadas nas Figuras 4.40 e 4.41.

Figura 4.40
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 0%

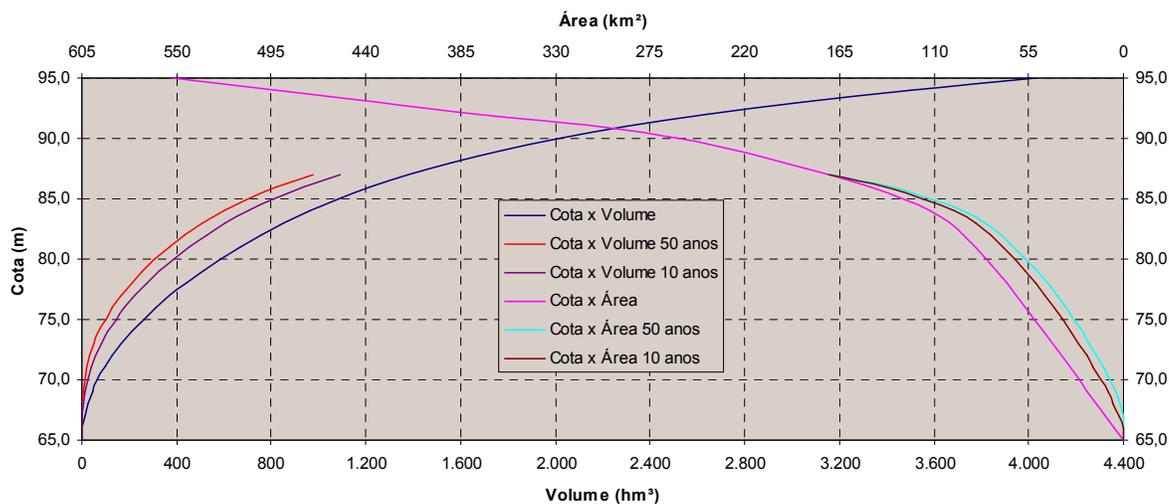
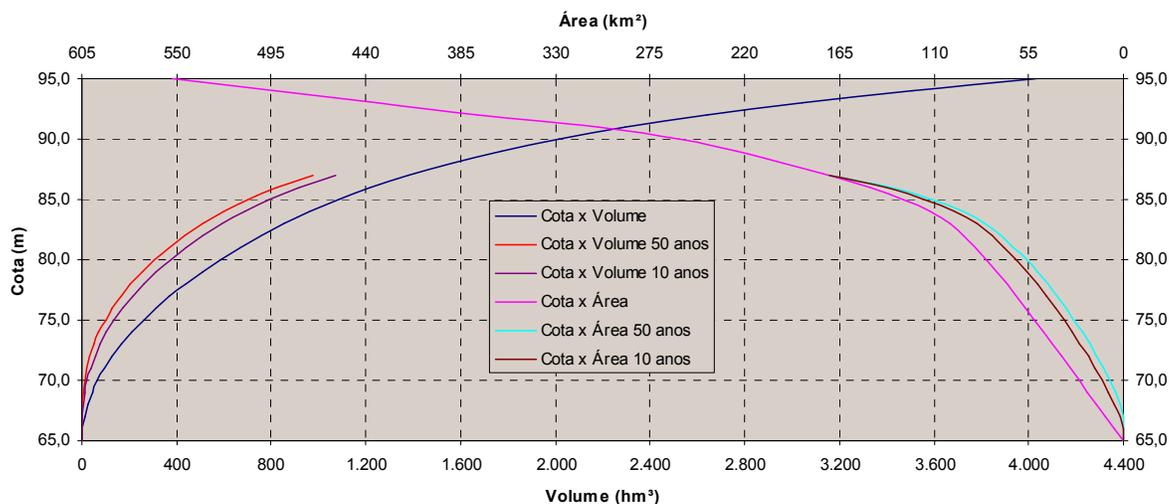


Figura 4.41
Estudos de Vida Útil do AHE Jirau
Novas Curvas Cota x Área e Cota x Volume
NA do Reservatório = 87,00 m - R = 2%



4.3.5. 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 4.42 que apresenta um resumo das principais resultados obtidos nas simulações.

Tabela 4.42
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 afluente	hm ³ /s	557.775,76	557.775,76	557.775,76	557.775,76
Relação Capacidade/Volume anual afluente	-	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

Tabela 4.42 (continuação)
Resumo dos Principais Resultados dos Estudos de Assoreamento

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. 87,00 m 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 hm³ para cerca de 1.010 hm³.

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

No instante inicial, cerca de 80,8% do aporte de sedimentos passarão pelos órgãos de descargas. Na hipótese de manutenção da carga atual de sedimentos (R = 0%), em cerca de 28 anos, 99% do sedimento 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 1.010 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 a 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.

4.4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS RESULTADOS

4.4.1. Hipóteses de Cálculos Alternativos

Os dados da estação de Porto Velho referentes à segunda campanha de FURNAS incluem informações sobre a descarga sólida total, calculada pelo método modificado de Einstein, o que permitiu uma estimativa da relação entre a descarga sólida total e a descarga sólida em suspensão. Assim, para as 34 medições correspondentes, após a devida análise de consistência, obteve-se a média dessa relação (1,057). Foi adotado, então, o valor de 1,06 como valor médio para a relação entre a descarga sólida total e a descarga sólida em suspensão.

Essa porcentagem está de acordo com os estudos realizados por Robert Meade e pelo HIBAM, cujos resultados indicam que a descarga do leito do Madeira em Porto Velho corresponde a 5% da descarga sólida total.

Os estudos de assoreamento dos reservatórios foram realizados considerando o valor da descarga sólida total anual estimada com base na série de descargas médias mensais do período de 1931 a 2001, que corresponde ao critério usualmente empregado em estudos semelhantes, e na relação entre a descarga sólida total e a sólida em suspensão igual a 1,06.

Alternativamente, foram determinadas descargas sólidas médias adotando-se diferentes critérios, conforme descrito na Tabela 4.43, que também relaciona as variações da descarga sólida total média anual em relação ao Estudo de Viabilidade (Hipótese 1) para os diferentes critérios de cálculo.

Em relação à hipótese adotada nos Estudos de Viabilidade (Hipótese 1) a adoção da hipótese Hipótese 6, teoricamente mais precisa, determina um acréscimo da carga de sedimentos em cerca de 20,4 %.

Tabela 4.43
Rio Madeira em Porto Velho
Valores de descarga líquida média anual e de descarga sólida total média anual,
calculados por diferentes hipóteses

Hipóteses de Cálculo Descarga Sólida Total Média Anual	Descrição	Descarga Líquida Média Anual m ³ /s	Descarga Sólida Total Média Anual t/dia	Varição da Descarga Sólida Total Média Anual em relação ao Estudo de Viabilidade (Hipótese 1)
1	Série de descarga média mensal, período 1931 a 2001 e relação Qst/Qss=1,06	17.983	1.621.024	-
2	Série de descarga média mensal, período 1931 a 2001 e relação Qst/Qss=1,10	17.983	1.682.195	3,77%
3	Série de descarga média mensal, período 1967 a 2001 e relação Qst/Qss=1,06	18.888	1.834.156	13,15%
4	Série de descarga média mensal, período 1967 a 2001 e relação Qst/Qss=1,10	18.888	1.903.369	17,42%
5	Série de descarga média diária, período 1967 a 2001 e relação Qst/Qss=1,06	18.806	1.880.104	15,98%
6	Série de descarga média diária, período 1967 a 2001 e relação Qst/Qss=1,10	18.806	1.951.052	20,36%

Foram avaliados os assoreamentos dos reservatórios do AHE Jirau e do AHE Santo Antônio com base nesses critérios, utilizando-se a mesma metodologia utilizada no âmbito dos Estudos de Viabilidade. Os principais resultados obtidos são resumidos nas Tabelas 4.44 a 4.46 para a AHE Jirau e nas Tabelas 4.47 a 4.49 para AHE Santo Antônio. As análises comparativas entre esses resultados e aqueles apresentados nos Estudos de Viabilidade permitem concluir que:

- A eficiência de retenção dos reservatórios para a Hipótese 6 é menor do que a condição utilizada nos Estudos de Viabilidade Hipótese 1 em razão da diminuição da relação capacidade do reservatório / volume afluente anual, provocada pelo aumento da descarga líquida considerada. Para o AHE Jirau com reservatório na El. 90,00 a eficiência de retenção inicial, reduz-se de 19,15% (Hipótese 1) para 17,96% (Hipótese 6), enquanto que para o AHE Santo Antônio a redução é de 19,50% (Hipótese 1) para 18,30% (Hipótese 6).
- O aumento da descarga sólida total média anual (Hipótese 6) não determinou o aumento da cota de assoreamento junto a barragem, uma vez que a situação de eficiência de retenção nula (vazão sólida afluente igual a defluente) é alcançada mais rapidamente. Para o AHE Jirau com reservatório na El. 90,00 a cota de assoreamento junto a barragem, em 100 anos de operação reduz-se de 76,09 m (Hipótese 1) para 75,29 m (Hipótese 6), enquanto que para o AHE Santo Antônio a redução é de 61,35 m (Hipótese 1) para 61,63 m (Hipótese 6).

Esses resultados permitem, portanto, concluir que não há necessidade de revisões no dimensionamento das proteções recomendadas no projeto (cota de fundo do canal de adução no AHE Jirau e da cota do septo de proteção a montante do canal de adução do AHE Santo Antônio) ou alterações nas conclusões sobre o assoreamento a vida útil dos reservatórios devidas à alterações da relação Q_{ST}/Q_{SS} ou utilização da série de descarga média diária ao invés da mensal.

Tabela 4.44
Estudos Complementares de Vida Útil do AHE Jirau
Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune
NA do Reservatório = 90,00 m - R = 0%
Série de descarga média diária, período 1967 a 2001 e relação $Q_{st}/Q_{ss}=1,10$
Descarga Líquida Média Anual = 18.497 m³/s
Descarga Sólida Total Média Anual = 1.918.921 t/dia

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	17,96	1,025	683,26	0,00	0,00	2.015,26
5	11,53	1,076	651,03	75,04	493,68	1.521,57
10	5,84	1,103	634,86	37,09	743,71	1.271,55
15	3,00	1,120	625,11	18,78	869,13	1.146,13
20	1,50	1,133	618,14	9,27	931,78	1.083,48
25	0,75	1,143	612,73	4,62	962,89	1.052,37
30	0,38	1,151	608,31	2,32	978,47	1.036,79
35	0,19	1,158	604,58	1,17	986,33	1.028,93
40	0,10	1,165	601,37	0,60	990,31	1.024,95
45	0,05	1,170	598,54	0,30	992,34	1.022,92
50	0,03	1,175	596,02	0,16	993,37	1.021,89
55	0,01	1,180	593,75	0,08	993,91	1.021,35
60	0,01	1,184	591,68	0,04	994,18	1.021,08
65	0,00	1,188	589,78	0,02	994,32	1.020,94
70	0,00	1,191	588,03	0,01	994,39	1.020,87
75	0,00	1,194	586,41	0,01	994,43	1.020,83
80	0,00	1,197	584,90	0,00	994,45	1.020,81
85	0,00	1,200	583,48	0,00	994,46	1.020,80
90	0,00	1,203	582,14	0,00	994,47	1.020,79
95	0,00	1,206	580,89	0,00	994,47	1.020,79
100	0,00	1,208	579,70	0,00	994,47	1.020,79

Tabela 4.45
Estudos Complementares de Vida Útil do AHE Jirau
Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune
NA do Reservatório = 90,00 m - R = 2%
Série de descarga média diária, período 1967 a 2001 e relação Qst/Qss=1,10
Descarga Líquida Média Anual = 18.497 m³/s
Descarga Sólida Total Média Anual = 1.918.921 t/dia

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	17,96	1,025	683,26	0,00	0,00	2.015,26
5	11,18	1,076	718,79	80,36	516,60	1.498,66
10	5,08	1,103	773,89	39,30	784,64	1.230,62
15	2,11	1,120	841,31	17,71	911,19	1.104,07
20	0,77	1,133	918,52	7,10	964,50	1.050,76
25	0,26	1,143	1.005,24	2,57	984,78	1.030,48
30	0,07	1,151	1.101,87	0,83	991,70	1.023,56
35	0,02	1,158	1.209,10	0,23	993,78	1.021,48
40	0,00	1,165	1.327,84	0,06	994,33	1.020,93
45	0,00	1,170	1.459,16	0,01	994,45	1.020,81
50	0,00	1,175	1.604,24	0,00	994,47	1.020,79
55	0,00	1,180	1.764,46	0,00	994,47	1.020,79
60	0,00	1,184	1.941,32	0,00	994,47	1.020,79
65	0,00	1,188	2.136,51	0,00	994,47	1.020,79
70	0,00	1,191	2.351,88	0,00	994,47	1.020,79
75	0,00	1,194	2.589,49	0,00	994,47	1.020,79
80	0,00	1,197	2.851,63	0,00	994,47	1.020,79
85	0,00	1,200	3.140,79	0,00	994,47	1.020,79
90	0,00	1,203	3.459,76	0,00	994,47	1.020,79
95	0,00	1,206	3.811,61	0,00	994,47	1.020,79
100	0,00	1,208	4.199,70	0,00	994,47	1.020,79

Tabela 4.46
Estudos Complementares de Vida Útil do AHE Jirau
Resumo dos Principais Resultados dos Estudos de Assoreamento
Série de descarga média diária, período 1967 a 2001 e relação $Q_{st}/Q_{ss}=1,10$
Descarga Líquida Média Anual = 18.497 m³/s
Descarga Sólida Total Média Anual = 1.918.921 t/dia

Nível D'água do Reservatório	m	90,00	90,00
Taxa anual de aumento do sedimento -R	%	0	2
Capacidade - Volume do Reservatório	hm ³	2.015,26	2.015,26
Volume anual afluyente	hm ³ /s	583.307,01	583.307,01
Relação Capacidade/Volume anual afluyente	-	3,45 x 10 ⁻³	3,45 x 10 ⁻³
Eficiência de Retenção Er em t = 0	%	17,96	17,96

Tempo para Er = 1%	anos	23	19
Volume de Sedimentos no Reservatório	hm ³	952,964	957,40
Volume Disponível no Reservatório	hm ³	1.062,30	1.057,86
Perda de Volume do Reservatório	%	52,7	52,5

Tempo para Er = 0%	anos	63	40
Volume de Sedimentos no Reservatório	hm ³	994,27	994,33
Volume Disponível no Reservatório	hm ³	1.020,99	1.020,93
Perda de Volume do Reservatório	%	50,7	50,7

Cota da Altura do Sedimento ao Pé da Barragem (50 anos)	m	75,26	75,29
Cota da Altura do Sedimento ao Pé da Barragem (100 anos)	m	75,29	75,29

Tabela 4.47
Estudos Complementares de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune - R = 0%

Série de descarga média diária, período 1967 a 2001 e relação $Q_{st}/Q_{ss}=1,10$
 Descarga Líquida Média Anual = 18.806 m³/s
 Descarga Sólida Total Média Anual = 1.951.052 t/dia

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	18,30	1,025	694,61	0,00	0,00	2.075,13
5	11,87	1,076	661,85	78,54	513,01	1.562,12
10	6,02	1,103	645,40	38,82	774,68	1.300,45
15	3,09	1,120	635,49	19,67	905,96	1.169,17
20	1,55	1,133	628,41	9,72	971,65	1.103,48
25	0,78	1,143	622,91	4,85	1.004,27	1.070,86
30	0,39	1,151	618,42	2,44	1.020,61	1.054,52
35	0,20	1,158	614,63	1,23	1.028,84	1.046,29
40	0,10	1,165	611,36	0,63	1.033,02	1.042,11
45	0,05	1,170	608,49	0,32	1.035,14	1.039,99
50	0,03	1,175	605,92	0,16	1.036,23	1.038,90
55	0,01	1,180	603,61	0,08	1.036,79	1.038,34
60	0,01	1,184	601,51	0,04	1.037,07	1.038,06
65	0,00	1,188	599,58	0,02	1.037,22	1.037,91
70	0,00	1,191	597,81	0,01	1.037,30	1.037,83
75	0,00	1,194	596,16	0,01	1.037,34	1.037,79
80	0,00	1,197	594,62	0,00	1.037,36	1.037,77
85	0,00	1,200	593,17	0,00	1.037,37	1.037,76
90	0,00	1,203	591,82	0,00	1.037,38	1.037,76
95	0,00	1,206	590,54	0,00	1.037,38	1.037,75
100	0,00	1,208	589,33	0,00	1.037,38	1.037,75

Tabela 4.48
Estudos Complementares de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Volume Assoreado no Reservatório - Curva Média de Brune - R = 2%

Série de descarga média diária, período 1967 a 2001 e relação Qst/Qss=1,10
Descarga Líquida Média Anual = 18.806 m³/s
Descarga Sólida Total Média Anual = 1.951.052 t/dia

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	18,30	1,025	694,61	0,00	0,00	2.075,13
5	11,51	1,076	730,74	84,12	536,89	1.538,24
10	5,23	1,103	786,74	41,14	817,47	1.257,66
15	2,17	1,120	855,29	18,58	950,03	1.125,10
20	0,80	1,133	933,78	7,44	1.005,95	1.069,18
25	0,26	1,143	1.021,94	2,69	1.027,22	1.047,91
30	0,08	1,151	1.120,18	0,87	1.034,47	1.040,66
35	0,02	1,158	1.229,19	0,24	1.036,66	1.038,47
40	0,00	1,165	1.349,91	0,06	1.037,23	1.037,90
45	0,00	1,170	1.483,40	0,01	1.037,35	1.037,78
50	0,00	1,175	1.630,90	0,00	1.037,38	1.037,75
55	0,00	1,180	1.793,78	0,00	1.037,38	1.037,75
60	0,00	1,184	1.973,58	0,00	1.037,38	1.037,75
65	0,00	1,188	2.172,01	0,00	1.037,38	1.037,75
70	0,00	1,191	2.390,96	0,00	1.037,38	1.037,75
75	0,00	1,194	2.632,52	0,00	1.037,38	1.037,75
80	0,00	1,197	2.899,01	0,00	1.037,38	1.037,75
85	0,00	1,200	3.192,98	0,00	1.037,38	1.037,75
90	0,00	1,203	3.517,25	0,00	1.037,38	1.037,75
95	0,00	1,206	3.874,94	0,00	1.037,38	1.037,75
100	0,00	1,208	4.269,48	0,00	1.037,38	1.037,75

Tabela 4.49
Estudos Complementares de Vida Útil do AHE Santo Antônio
Resumo dos Principais Resultados dos Estudos de Assoreamento

Série de descarga média diária, período 1967 a 2001 e relação Qst/Qss=1,10
Descarga Líquida Média Anual = 18.806 m³/s
Descarga Sólida Total Média Anual = 1.951.052 t/dia

Taxa anual de aumento do sedimento -R	%	0	2
Capacidade - Volume do Reservatório	hm ³	2.075,13	
Vazão anual afluyente	hm ³ /s	592.999,52	
Relação Capacidade/Volume anual afluyente	-	3,50 x 10 ⁻³	
Eficiência de Retenção Er em t = 0	%	18,30	

Tempo para Er = 1%	anos	23	19
Volume de Sedimentos no Reservatório	hm ³	993,85	998,50
Volume Disponível no Reservatório	hm ³	1.081,28	1.076,63
Perda de Volume do Reservatório	%	52,1	51,9

Tempo para Er = 0%	anos	63	40
Volume de Sedimentos no Reservatório	hm ³	1.037,17	1.037,23
Volume Disponível no Reservatório	hm ³	1.037,96	1.037,90
Perda de Volume do Reservatório	%	50,0	50,0

Cota da Altura do Sedimento ao Pé da Barragem (50 anos)	m	61,33	61,35
Cota da Altura do Sedimento ao Pé da Barragem (100 anos)	m	61,35	61,35

4.4.2. Aspectos Metodológicos Conservadores

Nos estudos de Avaliação do Assoreamento dos reservatórios foi utilizado o “Método Empírico de Redução de Áreas”, de Borland e Miller, apresentado em Carvalho 1994. Em razão da dificuldade de quantificação do processo de assoreamento, função das características do fenômeno, e ainda da precisão do método empregado, foram sistematicamente adotadas posições conservadoras na aplicação da metodologia de modo a permitir obter elementos para uma avaliação segura quanto à vida útil dos empreendimentos. Esta postura conservadora é destacada a seguir:

— Quanto a Eficiência de Retenção do Reservatório

Os resultados das análises granulométricas dos sedimentos transportados referentes às porcentagens de argila, silte e areia, para o material em suspensão, do leito e total, foram apresentados nas Tabelas 3.13 e 3.14 e mostram que o sedimento transportado pelo rio Madeira em Porto Velho possui 25 % de argila, 60,6 % de silte e apenas 14,4 % de areia, sendo 12,7 % com diâmetro inferior a 0,25 mm. Portanto, as curvas granulométricas das

amostras coletadas mostram que o sedimento transportado pelo rio Madeira em Porto Velho pode ser classificado como fino.

Para considerar a composição granulométrica em relação ao material total sendo transportado foi calculada uma média ponderada das porcentagens de argila, silte e areia a partir das médias das porcentagens de sólidos em suspensão e do leito, considerando que a descarga de sólidos total é 1,06 maior do que a descarga de sólidos em suspensão, conforme apresentado na Tabela 3.15 (item 3.2.4).

A eficiência de retenção do reservatório ao sedimento afluente (% de sedimentos retidos) foi estimada com base na curva média de Brune, estabelecida empiricamente a partir de levantamentos sedimentométricos de vários reservatórios nos EUA. Como pode ser observado na Figura 4.9, além da curva média são definidas as curvas envolventes superiores e inferiores, que representam reservatórios com sedimentos com granulometria grossa e fina respectivamente.

A utilização da curva média de Brune para estudo do assoreamento dos reservatórios tem sido tradicionalmente empregada no Brasil. No caso específico dos reservatórios da AHE Jirau e Santo Antônio é uma adoção conservadora em razão da granulometria muito fina do sedimento do rio Madeira, conforme detalhado anteriormente.

A Tabela 4.50 apresentada a seguir reúne a Eficiência de Retenção dos reservatórios estimados com base nas curvas de Brune média, intermediária (entre a média e a inferior) e inferior, onde pode ser observada a significativa redução da eficiência de retenção dos reservatórios quando se adota uma curva mais adequada a realidade da granulometria do sedimento do rio Madeira.

Tabela 4.50
Análise de sensibilidade do parâmetro Eficiência de Retenção dos Reservatórios

AHE	Relação Capacidade / Volume Afluente Anual	Eficiência de Retenção		
		Curva Média	Curva Intermediária (média- inferior)	Curva Inferior
Santo Antônio (NA =70,00)	$3,6 \times 10^{-3}$	19,15	10,29	0
Jirau (NA = 87,00)	$2,5 \times 10^{-3}$	8,48	0,04	0
Jirau (NA = 90,00)	$3,6 \times 10^{-3}$	19,15	10,29	0

Admitindo a curva intermediária como representativa dos reservatórios do rio Madeira ter-se-ia uma redução da eficiência de retenção da ordem de 50%.

5. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS SEDIMENTOS NO RIO MADEIRA

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os estudos hidrosedimentométricos para caracterização da distribuição espacial dos sedimentos no rio Madeira foram elaborados visando estabelecer tendências de deposição ao longo do estirão fluvial na condição sem barragens e com a implantação dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio.

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 80 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 que 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 de forma escalonada, 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 está concluída. Na seqüência apresenta-se na íntegra 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 concluída até o momento. 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 5.2.

Os dados básicos empregados na modelagem são apresentados no item 5.3, enquanto que os procedimentos para ajuste do modelo são descritos no item 5.4.

O item 5.5 descreve os casos a serem modelados e os resultados são apresentados no item 5.6.

Finalmente, o item 5.7 discute os resultados obtidos e apresenta uma análise de sensibilidade do modelo, elemento útil para a melhor interpretação desses resultados. São apresentadas, ao final, algumas sugestões e recomendações com relação às duas etapas seguintes dos estudos.

5.2 DESCRIÇÃO DO MODELO HEC-6

5.2.1. 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 topobatimétricas e pelas distâncias entre as mesmas. O modelo assume que o escoamento se dá pela calha central e pelas planícies de inundação, devendo ser fornecidos seus limites;
- Características do leito móvel de cada uma das seções. Estes dados indicam as áreas de uma seção onde pode haver deposição ou escavação. Como o modelo simula erosão e

deposição de material, deve-se também definir, em cada seção, a profundidade máxima que a erosão pode alcançar, que é nula no caso de leitos rochosos;

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

5.2.2. 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 5.1 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,

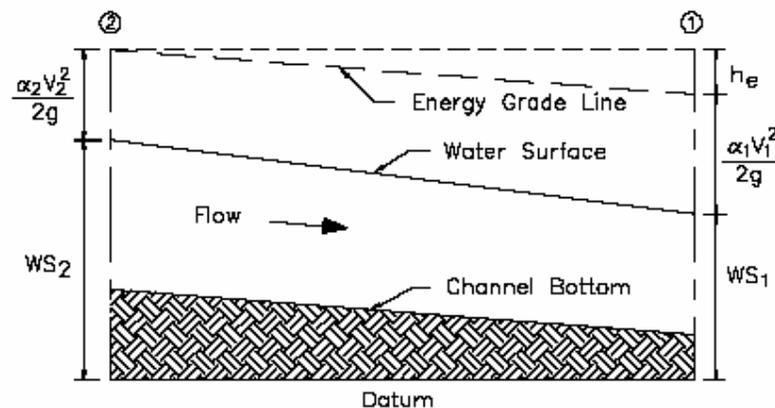
g = aceleração da gravidade,

h_e = perda de energia

V₁, V₂ = velocidades médias em cada seção

WS1, WS2 = níveis d'água em cada seção
 α_1, α_2 = coeficientes de distribuição de velocidade

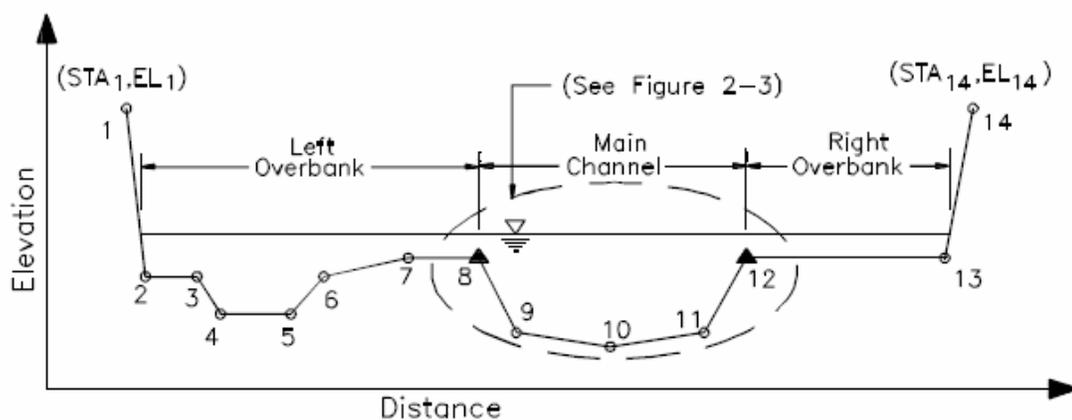
Figura 5.1
Termos da Equação de Energia



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 5.2, a seguir.

Figura 5.2
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).

5.2.3. 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 5.3) 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

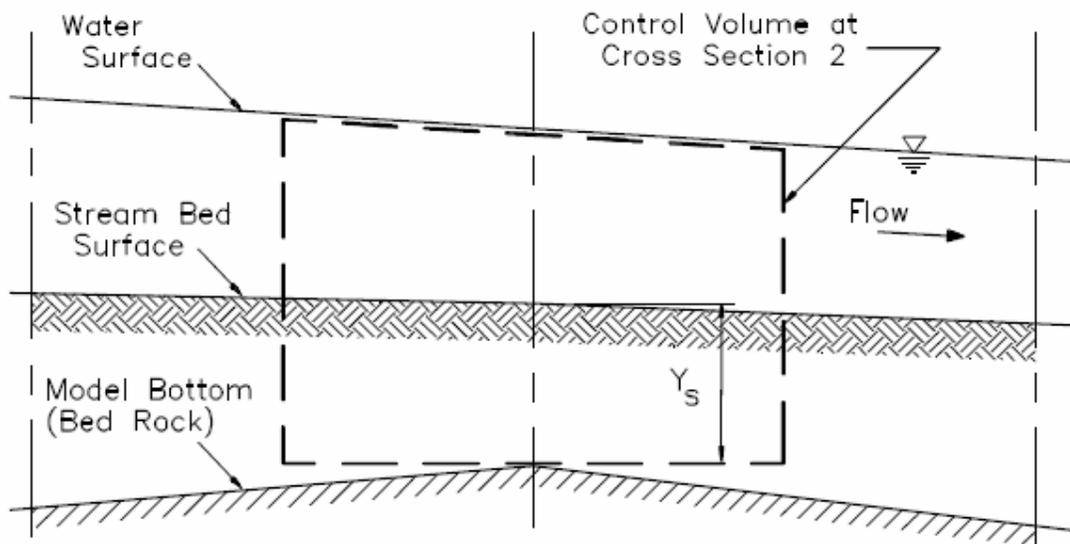
V_{sed} = volume de sedimento no volume de controle

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 5.3
Volume de Controle para o Material do Leito

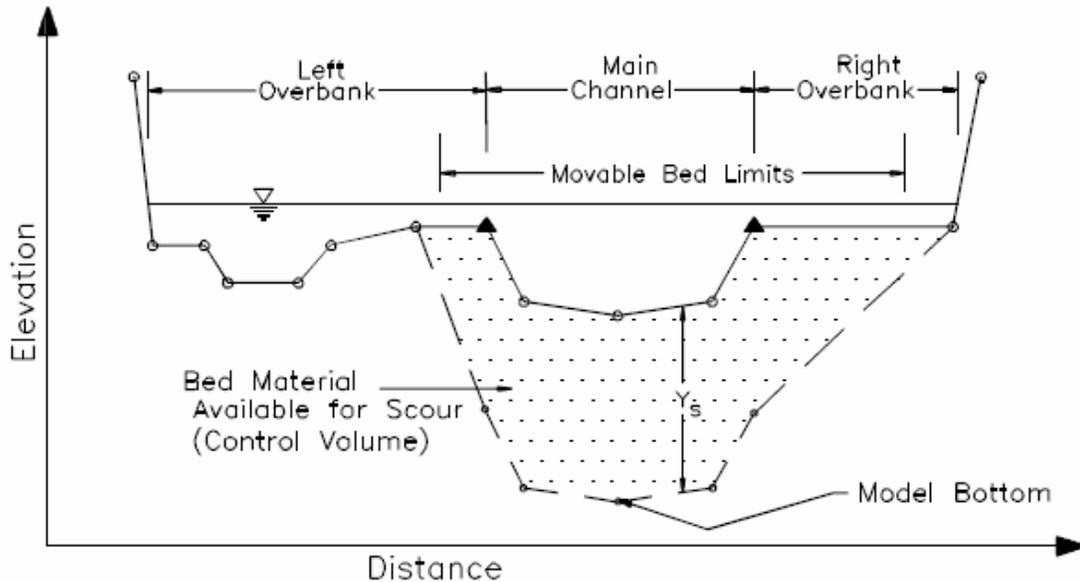


Os parâmetros hidráulicos, granulometria de material de fundo e capacidade de transporte calculada são admitidos uniformes ao longo do volume de controle. O HEC-6 admite que ao longo do tempo a profundidade de sedimento Y_s do volume de controle pode se alterar,

devido ao balanço entre o sedimento que entra e que sai do volume, mas não admite variação lateral.

A Figura 5.4, a seguir, mostra como é visto, pelo HEC-6, o material sedimentar no leito do rio.

Figura 5.4
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 5.5 e 5.6, a seguir, ilustra

os ajustes realizados pelo modelo em casos de deposição (assoreamento) e erosão, respectivamente.

Figura 5.5
Modificação da Seção Transversal Devido à Deposição de Sedimento

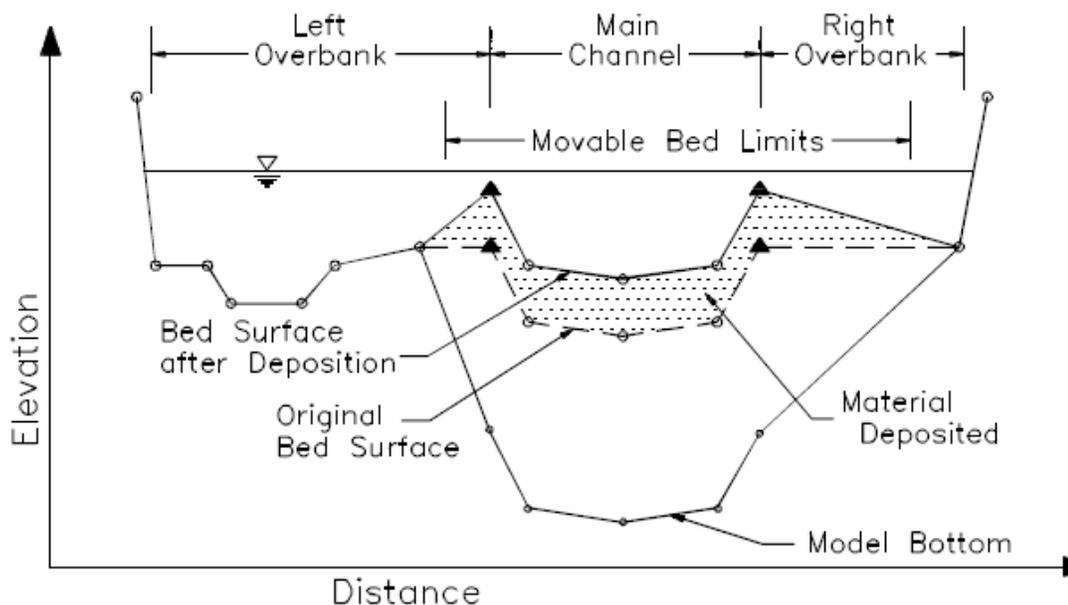
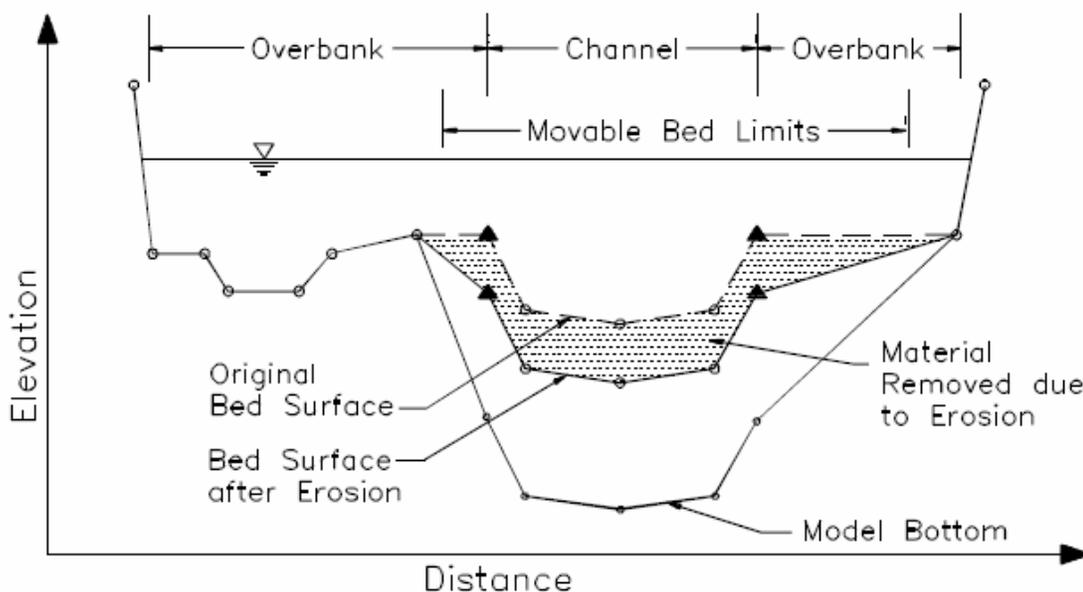


Figura 5.6
Modificação da Seção Transversal Devido à Erosão



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).

5.2.4. 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 processo de transporte sólido.

5.3 DADOS DISPONÍVEIS PARA SIMULAÇÃO

5.3.1. Seções Transversais

Além das seções topobatimétricas empregadas no estudo de remanso dos reservatórios, 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 5.7, 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 5.7.

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

Tabela 5.7
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	
267	9373	34.5	S-34,5	

Tabela 5.7 (Continuação)
Relação das Seções Transversais Disponíveis Para Modelagem

Seção	Distância (m)	Seção de referência		Observações
		HEC - RAS	Desenho	
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 5.7, 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.

5.3.2. 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.

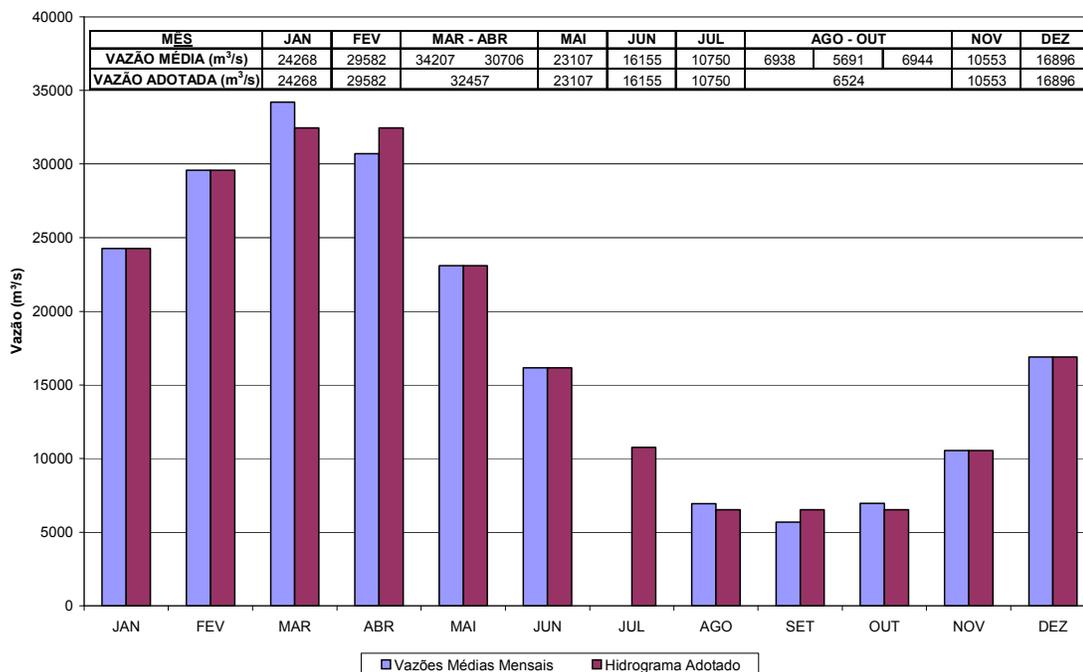
Nos trechos não estudados nos estudos de remanso, a montante de Abunã e a jusante de Santo Antônio, foram empregados coeficientes de perdas similares aos dos trechos vizinhos.

5.3.3. 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 58 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 5.8
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.

5.3.4. 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 5.9 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 5.9
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 5.10. Neste quadro as parcelas de material transportado estão distribuídas em percentuais, de acordo com as faixas granulométricas adotadas no modelo, também indicadas.

Tabela 5.10
Granulometria do Material Transportado Fornecida ao HEC-6

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

5.3.5. 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 5.11, 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 5.11
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

Tabela 5.11 (continuação)
Granulometrias Médias do Material Transportado

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 5.11 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 5.12.

Tabela 5.12
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%

5.4 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 5.13 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 5.7.

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 5.13
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)



5.5 DESCRIÇÃO DOS CASOS SIMULADOS

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

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

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

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

- **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 5.14, a seguir, apresenta uma relação completa dos casos simulados.

Tabela 5.14
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.

5.6 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 5.15, a seguir, relaciona os casos simulados, indicando o número das Tabelas e Figuras associados a cada caso.

Tabela 5.15
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	-	-	5.16	5.17
	Caso 1S	-	70,00	5.18	5.19
	Caso 1J-90	90,00	-	5.20	5.4
	Caso 2-90	90,00	70,00	5.22	5.23
	Caso 1J-87	87,00	-	5.24	5.25
	Caso 2-87	87,00	70,00	5.26	5.27
Condição Crítica (produção de sedimento crescendo a 2% ao ano)	Caso 0-C	-	-	5.28	5.29
	Caso 1S-C	-	70,00	5.30	5.31
	Caso 1J-90-C	90,00	-	5.32	5.33
	Caso 2-90-C	90,00	70,00	5.34	5.35
	Caso 1J-87-C	87,00	-	5.36	5.37
	Caso 2-87-C	87,00	70,00	5.38	5.39

5.6.1. Simulações Considerando um Condição Estabilizada de Produção de Sedimento no Rio Madeira

Tabela 5.16
Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 0 - Condições Naturais (sem barragens)

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	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 5.17
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 5.18
Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 1S – Após a Construção do AHE Santo Antônio

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	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 5.19
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 5.20
Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 1J-90 – Após a Construção do AHE Jirau – El. 90,00 m

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	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 5.21
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 5.22
Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 2-90 – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos –
AHE Jirau na El. 90,00 m

PERÍODO SEÇÃO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	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 5.23
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 5.24
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								
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 5.25
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 5.26
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 SEÇÃO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	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 5.27
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)



5.6.2. Simulações Considerando um Crescimento de 2% ao Ano na Produção de Sedimento no Rio Madeira

Tabela 5.28
Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 0-C - Condições Naturais (sem barragens)

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	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 5.29
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 5.30
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								
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 5.31
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 5.32
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								
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 5.33
Condição Crítica – Simulação Durante 50 Anos – Caso 1J-90 – Após Construção de Jirau – Nível d’Água na El. 90,00 m
Perfil de Linha d’Água Correspondente à Vazão Média do Mês de Dezembro (17.000 m³/s)



Tabela 5.34
Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 2-90-C – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos –
AHE Jirau na El. 90,00 m

PERÍODO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	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 5.35
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 5.36
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 SEÇÃO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	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 5.37
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 5.38
Condição Crítica – Evolução do Trecho em Estudo Durante 50 anos
Caso 2-87-C – Após a Construção dos Dois Aproveitamentos –
AHE Jirau na El. 87,00 m

PERÍODO SEÇÃO	0 ANOS		5 ANOS		10 ANOS		20 ANOS		50 ANOS	
	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 5.39
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)



5.7 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.

5.7.1. 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.

Este mapeamento é apresentado nos conjuntos de desenhos indicados na Tabela 5.40 a seguir.

Tabela 5.40
Identificação dos Desenhos “Localização dos Trechos com Tendência de Assoreamento”

Casos Simulados	Desenhos
0	PJ-0576-G3-GR-DE-0005 a 0007
1S	PJ-0576-G3-GR-DE-0006 a 0011
1J-87	PJ-0576-G3-GR-DE-0010 a 0014
1J-90	PJ-0576-G3-GR-DE-0015 a 0017
2-87	PJ-0576-G3-GR-DE-0018 a 0021
2-90	PJ-0576-G3-GR-DE-0022 a 0025

5.7.2. 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 5.17 e 5.29, 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.

O Desenho PJ-0576-G3-GR-DE-0006 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.

O Desenho PJ-0576-G3-GR-DE-0005 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.

5.7.3. Balanço Sedimentológico

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

É importante frisar que a fração areia representa cerca de 12% (em peso) do sedimento transportado pelo rio Madeira, considerando a média calculada a partir das medições de descarga sólida disponíveis, conforme mostrado na Tabela 5.10.

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 5.41 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 a soma dos percentuais em cada trecho. Isto porque o percentual de cada trecho refere-se ao volume afluente no próprio trecho.

Tabela 5.41
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 5.42 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 5.42
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.

5.7.4. 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 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.

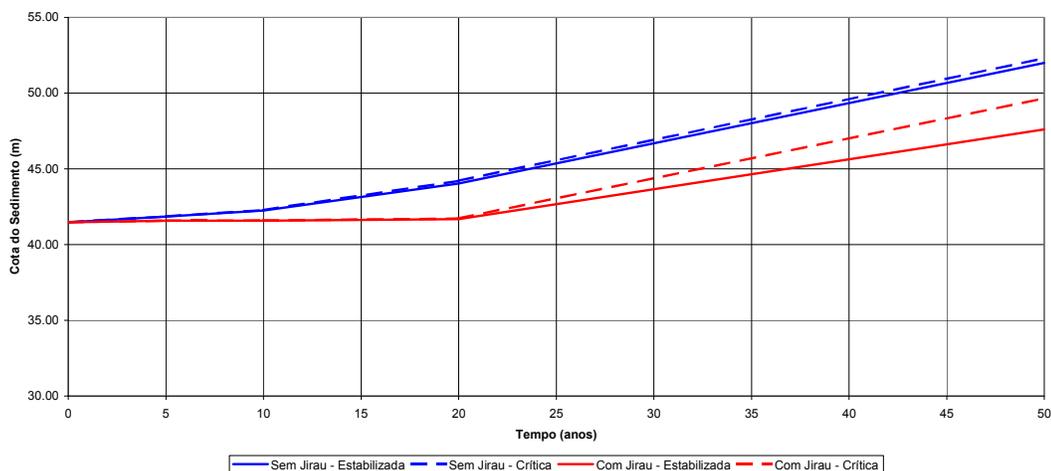
A Tabela 5.43, a seguir, mostra a evolução das cotas do leito do rio neste trecho próximo à barragem de Santo Antônio, com e sem a presença do reservatório de Jirau a montante, para as condições estabilizada e crítica de produção de sedimento na bacia.

Tabela 5.43
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 5.44, a seguir, ilustra os resultados da evolução da cota de sedimento depositado no trecho inferior do reservatório de Santo Antônio.

Figura 5.44
Evolução da Cota dos Sedimentos Junto à Barragem de Santo Antônio



5.7.5. 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 5.10, 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.

5.7.6. 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.

5.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo inicial estabelecido para esta modelagem - estabelecer tendências de deposição ao longo do estirão fluvial na condição sem barragens e com a implantação dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Jirau e Santo Antônio - foi plenamente atingido.

Entretanto, alguns aspectos devem ser ressaltados.

5.8.1. Simplificações Práticas x Precisão

Algumas simplificações práticas 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 a realização futura de cálculos mais precisos.

- A quantidade de seções transversais empregadas na modelagem, apesar de ser superior à 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 disponível.
- 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 práticas bem como as imprecisões inerentes ao processo de medições de descargas sólidas determinam uma ***utilização apenas qualitativa dos resultados da modelagem, valorizando mais as tendências observadas e menos as avaliações quantitativas geradas pelo modelo.***

5.8.2. Verificação Prática dos Resultados

Os resultados da modelagem com o HEC-6 confirmam uma tendência natural ao assoreamento do rio Madeira no estirão a montante de Jirau, já constatada no decorrer de outros estudos, fato que é testemunhado por diversas ilhas existentes no trecho, muitas delas apresentando evolução de forma e posição ao longo do período mais recente, para o qual se dispõe de imagens de satélite.

Entretanto, a evolução do leito parece ter sido exagerada pelo modelo, pelo menos por uma razão: o posto fluviométrico de Abunã vem sendo operado ao longo dos últimos 30 anos, tendo sido lá realizadas cerca de 70 medições de descarga líquida, e sua curva-chave tem sido a mesma ao longo de todo esse tempo. Este fato indica que, pelo menos nos últimos 30 anos, o processo de assoreamento do estirão do rio Madeira entre Jirau e Abunã ainda não foi capaz de afetar de forma significativa a curva-chave em Abunã, **ao contrário do que indicam os resultados da modelagem com o HEC-6.**

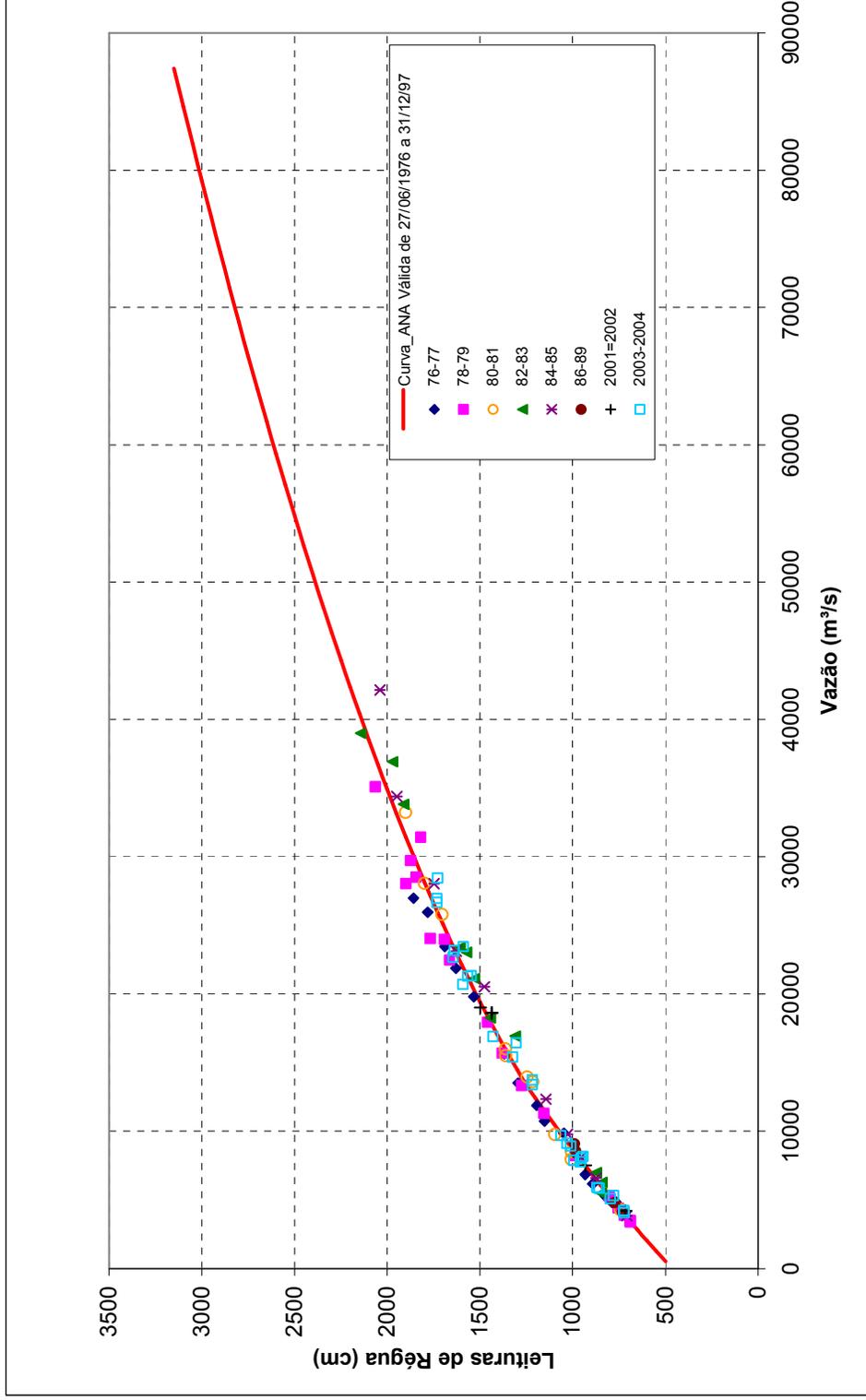
A Figura 5.45 apresenta a curva chave ajustada para a estação de Abunã-Vila, com os pontos LR x Q classificados em períodos de 5 anos onde pode ser comprovada a estabilidade da curva e a inexistência de uma evolução temporal.

Ademais, a análise de imagens obtidas por satélite em diferentes épocas caracterizam apenas pequenas alterações das conformações das ilhas e depósitos sedimentares regionais, contrastando com os elevados volumes de depósito sugeridos pelo modelo.

Portanto, os resultados das simulações realizadas nessa fase ainda deverão ser comprovados ou refutados na prática, através do aprofundamento dos estudos, com a incorporação de novos levantamentos e o conseqüente aprimoramento da modelagem, conforme proposto no item 9, ao final deste documento.

Para o momento, *seria mais prudente interpretar os resultados da modelagem realizada de forma apenas qualitativa, apenas como uma indicação da tendência maior ou menor ao assoreamento ao longo do estirão estudado.*

Figura 5.45 - Curva-Chave do Rio madeira em Abunã Vila



5.8.3. Quanto as diferenças entre os resultados dos estudos de vida útil e da modelagem fluvial

O prognóstico de assoreamento dos reservatórios foi feito através de duas metodologias distintas: a metodologia clássica de estudos de vida útil (método semi-empírico de redução de áreas), 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.

Os resultados da primeira, além de demonstrarem a vida útil dos empreendimentos, foram utilizados para dimensionamentos das proteções necessárias, enquanto os resultados da segunda foram utilizados para estabelecer tendências e prognósticos dos assoreamentos e erosões ao longo do reservatório.

A ocorrência de diferenças entre os resultados era uma possibilidade esperada desde o início dos estudos, primeiramente em razão das diferenças metodológicas, mas acima de tudo porque os dois modelos calculam diferentes grandezas do assoreamento.

O modelo de redução de área de Borland e Miller estima a quantidade total de sedimentos retidos no reservatório, ao longo de um período de operação arbitrário, tomando por base observações realizadas em ampla gama de reservatórios em todo o mundo. O modelo admite que uma fração do sedimento afluente é retida a cada ano. Esta fração é determinada em função do volume do reservatório, do deflúvio médio da bacia hidrográfica e, de forma indireta (representada pela escolha da curva de Brune a ser empregada), em função da granulometria média do sedimento. A geometria do reservatório interfere apenas na forma na qual o sedimento irá se depositar, mas não afeta a quantidade de sedimento retido ou a sua granulometria. O fato dos reservatórios do rio Madeira serem alongados e apresentarem escoamento de características fluviais não interfere, portanto, com a sua capacidade de retenção de sedimentos, de acordo com o modelo de Borland e Miller.

O modelo HEC-6 calcula o balanço sedimentológico ao longo de todo o estirão em estudo, a partir de fórmulas teóricas de transporte sólido, atualizando a geometria das seções ao longo do tempo. A distribuição dos depósitos é analisada, no HEC-6, de forma mais detalhada que no método de Borland e Miller. Por ser um modelo unidimensional, o HEC-6 ignora o que se passa nas áreas de reentrância dos reservatórios, onde as velocidades são baixas e ocorre, certamente, deposição de sedimentos finos em suspensão. Mesmo assim, no caso do rio Madeira, onde as velocidades médias ao longo do reservatório são grandes (os reservatórios tem um comportamento marcadamente fluvial) a aplicação do modelo indicou que apenas a fração areia seria retida durante a operação. Em outras palavras, o modelo HEC-6, neste caso, não estimou adequadamente a capacidade de retenção de sedimentos finos carregados em suspensão.

Com base nessas observações, pode-se afirmar que os resultados fornecidos pelas duas modelagens referem-se a grandezas diferentes, não devendo ser comparados diretamente sem uma crítica. Os resultados dos dois modelos podem ser modificados em função de parâmetros

de entrada. Por exemplo, pode-se mudar a escolha da curva de Brune, no caso de Borland e Miller, para aumentar ou diminuir a capacidade de retenção, ou pode-se mudar a fórmula de cálculo da descarga sólida, no caso do HEC-6.

Não faz o menor sentido, entretanto, usar os resultados de um modelo para calibrar os resultados do outro, já que não se pode prever com exatidão o comportamento sedimentológico em questão. Importante é o entendimento das razões dessas diferenças.

5.8.4. Outras Conclusões

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

- O material depositado poderia alcançar o circuito hidráulico de geração, acarretando dificuldades operativas e comprometendo a durabilidade dos equipamentos hidromecânicos. 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), que evitarão a captação de sedimentos graúdos, mesmo na improvável ocorrência dos depósitos de sedimentos, previstos conservadoramente (itens 4.2, 4.3 e 5.7.4).
- 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 5.6.

No caso da implantação da AHE Santo Antônio anteceder a do AHE Jirau, o assoreamento poderia 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, se o AHE Jirau anteceder o 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 proporcional a produção de sedimentos e inversamente proporcional ao nível d'água do reservatório. Este aumento dos níveis d'água pode sustentar comportamentos adicionais de remanso não perceptíveis nos estudos de remanso realizados nas condições atuais.

Os estudos demonstraram também que apenas a fração arenosa, que representa cerca de 12 % de todo o sedimento transportado pelo rio Madeira, será retida pelos empreendimentos. As demais frações, silte e argila, responsáveis pelo transporte de nutrientes, não serão retidas continuando a influenciar as várzeas a jusante dos aproveitamentos.

— Taxa de Aumento Anual da Produção de Sedimentos

Os estudos sobre a evolução temporal do aumento da produção de sedimentos na bacia do rio Madeira conduziram a um valor médio de 1,83 % para a taxa de aumento anual tendo sido adotado um valor igual a 2% para os estudos de assoreamento do reservatório. A utilização desta taxa nas estimativas do assoreamento dos reservatórios em 50 anos, ao invés da primeira promove um aumento da carga de sedimento em cerca de 5%, o que se constitui em mais um fator de segurança.

Cabe assinalar, ainda que um aspecto favorável ao escoamento do sedimento é a topografia dos lagos com média profundidade, pouca sinuosidade, quase em garganta. Nesse caso o sedimento tem fluxo livre, escoando com a vazão em direção às barragens. O assoreamento não deverá formar um delta e sim um depósito em formato entre cunha e depósito em camadas uniformes ao longo dos lagos.

4.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a curva média de Brune, a eficiência de retenção (E_r) dos reservatórios em estudo, em seu início de operação, é de cerca de 19%. Isso significa que mais de 80% do sedimento afluyente é descarregado para jusante inicialmente. Essa retenção decresce com o tempo, chegando a menos que 5% em 15 anos e a menos de 1% em torno dos 30 anos de operação. Ou seja, ao final desse prazo, cerca de 99% do material sólido que afluir aos dois reservatórios tenderá a ser transportado para jusante dos mesmos, estabelecendo-se praticamente uma nova situação de equilíbrio sedimentológico ao longo do trecho do sistema envolvido – reservatórios e calha do rio. Normalmente esse estágio caracteriza-se por um perfil médio de fundo relativamente estável, cujas oscilações serão função basicamente das variações de produção de sedimentos nas bacias contribuintes aos reservatórios. Como ambos serão operados a fio d'água, sua influência na dinâmica do processo deverá ser mais sensível apenas nos primeiros anos.

Tendo em vista esses aspectos, ao se conceber os arranjos dos aproveitamentos procurou-se incorporar algumas características aos mesmos visando proteger os equipamentos do circuito de geração (quanto a desgastes prematuros por abrasão) e mitigar os efeitos de assoreamento nos reservatórios e de problemas erosivos a jusante. Assim, por exemplo, em ambos os aproveitamentos buscou-se prover a entrada dos canais de adução das estruturas de tomada d'água de uma soleira mais alta, que pudesse dificultar o acesso dos sedimentos (sobretudo de sua parcela mais pesada) às respectivas turbinas. Ao mesmo tempo, essa solução tende a induzir a deposição temporária dos sólidos a montante dessas entradas, até que, durante as cheias, o fluxo para o vertedouro, que se processará em cotas mais baixas e com maior energia em alguns meses, pudesse conduzi-los para jusante.

As mencionadas soleiras da adução às tomadas, em cada aproveitamento, foram posicionadas em cota superior à estimada nos cálculos como a que seria atingida pelo assoreamento “ao pé da barragem”, em 50 anos. No caso do AHE Jirau, a entrada do canal de adução está prevista na EL. 78,00m, enquanto que aquele nível de assoreamento foi estimado na cota 76,09m. Em Santo Antônio, onde o fundo do canal resultou mais baixo que o nível de assoreamento para 50 anos “ao pé da barragem” (cota 61,63), previu-se a remoção parcial do tramo de montante da ensecadeira de primeira fase, até a EL.63,00, para que, como um septo definitivo, tivesse a mesma função.

Ressalta-se que tanto as cotas de soleira quanto as do canal de aproximação do vertedouro, em cada aproveitamento, são inferiores em vários metros às dos respectivos níveis de assoreamento (teóricos) ao “pé da barragem” aos 50 anos.

Considerando a granulometria fina da carga sólida que ainda assim transitará pelo circuito hidráulico de geração, não se espera que as máquinas sejam afetadas por abrasão, pois tanto as peças móveis quanto as fixas que terão contato direto com o escoamento deverão ser construídas com material especialmente resistente.

O fato do circuito hidráulico das turbinas Bulbo ser praticamente alinhado na direção montante-jusante, portanto sem curvas acentuadas, também contribui para minimizar os desgastes por abrasão, ao contrário do que acontece nos casos das turbinas Kaplan ou Francis.

Quanto aos efeitos a jusante, a localização nos arranjos gerais dos canais de fuga das usinas, com fluxo de menores velocidades, e os de restituição dos vertedouros, mais energéticos, buscou minimizar possíveis impactos diretos sobre as margens. No caso dos vertedouros, seus efluentes estarão deliberadamente direcionados para a região central da calha do rio, a jusante. Mesmo assim se planeja, com base nas indicações a serem fornecidas pelos respectivos estudos em modelo reduzido, previstos para as fases de projeto subseqüentes, a proteção de trechos de margens onde a ação de ondas ou correntes de circulação (caso existam) possam vir a representar risco à integridade das mesmas. Esse cuidado deverá ser maior, evidentemente, no caso de Santo Antônio, devido à proximidade da cidade de Porto Velho.

Quanto à dinâmica de movimentação do leito a jusante dos barramentos, (ver item 7), seu processo, inverso ao dos reservatórios, pois inicialmente as erosões tendem a prevalecer sobre as deposições, também deverá ser moderado e atenuado com o tempo. Este prognóstico está diretamente relacionado com as características dos sedimentos do rio Madeira, já descritas, e ao elevado percentual de seu transporte para jusante, em qualquer época, que é decorrente não só dessas características, mas também da moderada profundidade dos reservatórios, das baixas elevações de seus órgãos extravasores e da operação a fio d'água.

6. ESTUDOS DE REMANSO DEVIDO AOS RESERVATÓRIOS

6.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os estudos de viabilidade dos aproveitamentos apresentaram o perfil de linha d'água do rio Madeira em condições naturais e com os reservatórios de Jirau e de Santo Antônio no início de operação (limpos). Neste trabalho detalha-se apenas a hipótese dos reservatórios se encontrarem assoreados, considerando as condições atuais de uso do solo e do rio Madeira, tendo em vista a possibilidade de ocorrerem sobrelevações de nível d'água e, potencialmente,, impactos adversos adicionais aos previstos para a condição inicial ($t = 0$).

Conforme apresentado no item 5 - Espacialização de sedimentos nos reservatórios - os resultados da modelagem hidrossedimentológica do rio Madeira no trecho entre as confluências com os rios Beni e Jamari devem ser usados de forma qualitativa, já que foram gerados exclusivamente para identificação de tendências, e não devem ser usados de forma quantitativa para fins de dimensionamentos, desapropriações etc. Conforme detalhado (item

5.8.2), a referida modelagem apontou assoreamentos em condições naturais que ora não se verificam, indicando que os resultados obtidos são conservadores e devem ser considerados como tendências onde ainda há significativos graus de incerteza.

Entretanto, atendendo a solicitação da IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - foram realizados os estudos de remanso visando a apresentação dos mapas de inundação para diferentes tempos de recorrência, com e sem o efeito do assoreamento, conforme descrito nos itens seguintes.

6.2. PERFIS DE REMANSO

6.2.1. Seções Assoreadas

A modelagem fluvial permitiu, entre outros produtos, a obtenção de seções transversais do rio Madeira assoreadas ou erodidas, em diversos horizontes de operação, na condição estabilizada e na condição crítica de crescimento da produção de sedimentos, na situação sem e com a implantação dos dois reservatórios, com níveis d'água iguais a 70,00 e 90,00 m, respectivamente para os aproveitamentos de Santo Antônio e Jirau.

Deve ser destacado que a informação básica gerada pelo modelo restringe-se apenas a informação da altura assoreada ou erodida em cada seção, a partir da qual, a cada passo de cálculo, o modelo HEC-6 realiza o balanço sedimentométrico de cada trecho de rio, calculando o volume de sedimento retido ou carreado para jusante. Este volume é distribuído uniformemente em cada seção, sendo que, no caso de parte dela não participar do balanço (informação passada nos arquivos de entrada do modelo), o HEC-6 respeita esta limitação e distribui o sedimento pela largura restante da seção, abaixo da linha d'água. A aplicação sucessiva desse processo ao longo do período de simulação conduz a uma distribuição de sedimentos depositados (ou de camadas erodidas) aproximadamente uniforme ao longo de toda a seção transversal.

Ao final da simulação, o modelo informa, para cada seção, a espessura média da camada depositada (ou removida). As seções transversais podem então ser atualizadas considerando o critério exposto no parágrafo anterior. Desta forma, foram obtidas as seções transversais do rio Madeira, em cada trecho estudado, para as seguintes situações:

- AHE Santo Antônio - simulado em primeira adição, NA = 70,00 m, *condição estabilizada (sem crescimento da produção de sedimento)*;
- AHE Jirau - simulado em primeira adição, NA = 90,00 m, *condição estabilizada (sem crescimento da produção de sedimento)*.

Considerando que o assoreamento do leito do rio determinado pelo modelo é excessivamente conservador, pelas razões expostas no item 5.8.2, optou-se por aplicar uma redução de 30% no volume de sedimento acumulado no reservatório, na condição estabilizada (sem crescimento da produção de sedimento) e com NA dos reservatórios iguais a 70,00 e 90,00m, respectivamente para a AHE Santo Antônio e Jirau, como forma de expurgar dos perfis de

linha d'água resultados exagerados, e imprecisos apresentados pelo modelo HEC-6, e obter-se um prognóstico que exclui condições mais improváveis.

As seções transversais obtidas nas simulações relativas a essa condição são apresentadas nas figuras constantes do Anexo 1, onde são mostradas a seção inicial, obtida dos levantamentos topográficos realizados, e as seções assoreadas. As Tabelas 6.1 e 6.2 apresentam um resumo da altura do assoreamento / erosão em relação à condição atual, por seção, respectivamente para o trecho entre Santo Antônio a Jirau e Jirau a Abunã, onde pode ser observada a evolução temporal e espacial, já comentada e discutida no item 5. A localização das seções transversais é apresentada nas Figuras 6.3 e 6.4.

Tabela 6.1
Cota do Leito do Rio Madeira - Trecho Santo Antonio - Jirau - Condição atual e com reservatório do AHE Santo Antônio (NA=70,00m) em primeira adição - Condição estabilizada (R = 0%) com redução de 30% do assoreamento

Modelo Fluvial	Identificação das Seções		Distância em relação à Usina (km)	Cota do Leito Atual (m)	Cota do Leito com Barragem após 10 anos (m)	Altura de Assoreamento após 10 anos (m)	Cota do Leito com Barragem após 20 anos (m)	Altura de Assoreamento após 20 anos (m)	Cota do Leito com Barragem após 35 anos (m)	Altura de Assoreamento após 35 anos (m)
	Modelo Remanso									
81			0,00	25,00	25,00	0,00	25,00	0,00	25,00	0,00
88		S-6	6,78	40,00	40,46	0,46	41,06	0,60	41,80	1,80
96		S-7	14,50	43,00	43,66	0,66	45,67	2,01	47,15	4,15
98		S-8	17,15	52,00	52,09	0,09	52,88	0,79	53,42	1,42
105		S-9	23,65	51,00	51,07	0,07	51,12	0,05	51,11	0,11
110		S-10	28,63	51,00	51,00	0,00	51,00	0,00	51,00	0,00
120		S-11	38,94	51,00	51,00	0,00	51,00	0,00	51,00	0,00
128		S-12	46,87	52,00	52,00	0,00	52,00	0,00	52,00	0,00
139		S-13	57,91	52,00	52,00	0,00	52,00	0,00	52,00	0,00
145		S-14	63,93	52,00	52,00	0,00	52,00	0,00	52,00	0,00
151		S-15	69,70	52,00	52,00	0,00	52,01	0,01	52,12	0,12
158		S-16	77,01	36,59	36,59	0,00	36,59	0,00	36,60	0,01
166		S-17	84,94	51,87	51,87	0,00	51,87	0,00	51,87	0,00
172		S-18	90,35	45,07	45,07	0,00	45,07	0,00	45,08	0,01
184		S-19	102,46	50,26	50,26	0,00	50,26	0,00	50,52	0,26
190		S-20	108,66	49,63	49,63	0,00	49,85	0,22	50,76	1,13
195		S-21	113,41	38,39	38,45	0,06	40,45	2,00	42,15	3,76
200		S-22	118,50	40,65	40,73	0,08	41,28	0,55	42,19	1,54
207		S-23	125,81	33,59	33,59	0,00	33,59	0,00	33,59	0,00

Tabela 6.2 - Cota do Leito do Rio Madeira - Trecho Jirau - Abunã - Condição atual e com reservatório do AHE Jirau (NA=90,00m) Condição estabilizada (R = 0%) com redução de 30% do assoreamento

Identificação das Seções		Distância em relação à Usina (km)	Cota do leito atual (m)	Cota do leito com reservatório após 10 anos (m)	Altura de assoreamento após 10 anos (m)	Cota do leito com reservatório após 20 anos (m)	Altura de assoreamento após 20 anos (m)	Cota do leito com reservatório após 35 anos (m)	Altura de assoreamento após 35 anos (m)
Modelo Fluvial	Modelo Remanso								
210	S-28	0,00	62,00	62,00	0,00	62,00	0,00	62,00	0,00
228	S-29	18,33	60,00	60,00	0,00	60,00	0,00	60,00	0,00
243	S-30	33,55	60,00	60,00	0,00	60,00	0,00	60,00	0,00
253	S-31	42,97	56,60	56,60	0,00	56,60	0,00	56,60	0,00
255	S-32	45,10	55,08	55,08	0,00	55,08	0,00	55,08	0,00
256	S-33	46,07	58,40	58,40	0,00	58,40	0,00	58,40	0,00
258	S-34	48,07	53,40	53,40	0,00	53,40	0,00	53,40	0,00
267	S-34.5	57,44	64,00	64,00	0,00	64,00	0,00	64,00	0,00
272	S-35	61,98	53,72	53,72	0,00	53,72	0,00	53,72	0,00
279	S-36	69,21	54,83	54,83	0,00	54,83	0,00	54,83	0,00
283	S-37	72,88	51,27	51,27	0,00	51,27	0,00	51,27	0,00
286	S-38	76,17	37,12	37,12	0,00	37,21	0,09	38,16	1,04
292	S-38.5	82,34	60,50	60,98	0,48	62,29	1,79	65,77	5,27
301	S-39	90,77	50,28	51,22	0,94	56,54	6,26	59,82	9,54
306	S-40	95,71	59,05	59,18	0,13	64,24	5,19	62,90	3,85
309	S-40.5	99,04	54,00	55,42	1,42	61,52	7,52	61,96	7,96
315	S-41	105,55	54,67	56,95	2,28	60,79	6,12	60,79	6,12
320	S-41.5	109,72	72,00	74,02	2,02	75,00	3,00	75,61	3,61
327	S-42	117,23	49,12	54,43	5,31	54,44	5,32	54,38	5,26
329	S-42.3	118,98	39,00	49,77	10,77	49,90	10,90	50,09	11,09
338	S-42.6	128,30	62,00	64,92	2,92	64,68	2,68	64,80	2,80

Figura 6.3
(A3)

Figura 6.4
(A3)

6.2.2. Simulações do Perfil da Linha D'Água

Para análise da influência do assoreamento sobre o perfil da linha d'água, foram executadas novas simulações do perfil da linha d'água, através do modelo HEC. RAS, para as vazões de cheia com tempos de recorrência (TR) de 10, 25 e 50 anos, para as situações com barramentos e assoreamento para 10, 20 e 35 anos de operação, considerando as seções assoreadas geradas pelo modelo HEC-6 apresentadas anteriormente.

Ressalta-se que a máxima cheia observada em cerca de 35 anos de operação da estação fluviométrica de Porto Velho (1968 a 2002) é igual a 48.565 m³/s e tem um tempo de recorrência aproximadamente igual a 10 anos com 5% de intervalo de confiança.

Para o reservatório do AHE Jirau foi elaborado também o perfil da linha d'água correspondente à média das máximas anuais (38.100 m³/s), obtida por transferência da vazão em Porto Velho para Jirau através da relação de área de drenagem ($k = 972.910 \text{ km}^2 / 988.897 \text{ km}^2$).

Destaca-se também que estas novas simulações foram executadas considerando os mesmos coeficientes de rugosidade adotados nos estudos de remanso sem assoreamento, realizados durante os estudos de viabilidade, o que representa uma condição conservadora.

Os perfis de linha d'água produzidos foram analisados juntamente com aqueles gerados nos estudos de viabilidade, e que englobam as situações sem e com barragens, na condição atual, isto é, em $t = 0$, sem assoreamento.

Os resultados desses perfis estão reproduzidos nas Tabelas 6.5 a 6.10 e nas Figuras 6.11 a 6.16 discriminadas a seguir.

— Perfil da Linha D'água - Trecho Santo Antônio - Jirau

- Tabela 6.5 - $Q = 49.600 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 10 anos
- Tabela 6.6 - $Q = 54.270 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 25 anos
- Tabela 6.7 - $Q = 57.730 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 50 anos
- Figura 6.12 - $Q = 49.600 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 10 anos
- Figura 6.13 - $Q = 54.270 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 25 anos
- Figura 6.14 - $Q = 57.730 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 50 anos

— Perfil da Linha D'água - Trecho Jirau - Abunã

- Tabela 6.8 - $Q = 38.100 \text{ m}^3/\text{s}$ - Média das cheias máximas anuais
- Tabela 6.9 - $Q = 47.800 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 10 anos
- Tabela 6.10 - $Q = 53.390 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 25 anos
- Tabela 6.11 - $Q = 56.780 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 50 anos
- Figura 6.15 - $Q = 38.100 \text{ m}^3/\text{s}$ - Média das cheias máximas anuais
- Figura 6.16 - $Q = 47.800 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 10 anos
- Figura 6.17 - $Q = 53.390 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 25 anos
- Figura 6.18 - $Q = 56.780 \text{ m}^3/\text{s}$ - TR = 50 anos

Tabela 6.5 - Perfil da Linha D'água - Trecho Santo Antonio - Jirau - Condição atual e com reservatório do AHE Santo Antônio (NA=70,00m) - Condição estabilizada R = 0% - Q = 49.600 m³/s - TR = 10 anos

Identificação das Seções		Distância em relação à Usina (km)	NA situação atual (m)	NA com reservatório sem assoreamento (m)	Acréscimo do NA com reservatório sem assoreamento (m)	NA com reservatório assoreado após 10 anos (m)	Acréscimo do NA após 10 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 20 anos (m)	Acréscimo do NA após 20 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 35 anos (m)	Acréscimo do NA após 35 anos (m)
Modelo Fluvial	Modelo Remanso										
81		0,00	63,06	70,00	6,94	70,00	6,94	70,00	6,94	70,00	6,94
88	S-6	6,78	64,00	70,27	6,27	70,27	6,27	70,27	6,27	70,27	6,27
96	S-7	14,50	64,81	70,53	5,72	70,54	5,73	70,57	5,76	70,61	5,80
98	S-8	17,15	64,65	70,38	5,73	70,39	5,74	70,42	5,77	70,46	5,81
105	S-9	23,65	67,89	71,33	3,44	71,36	3,47	71,46	3,57	71,54	3,65
110	S-10	28,63	68,98	71,68	2,70	71,71	2,73	71,8	2,82	71,87	2,89
120	S-11	38,94	72,50	73,62	1,12	73,64	1,14	73,68	1,18	73,72	1,22
128	S-12	46,87	74,07	74,84	0,77	74,85	0,78	74,89	0,82	74,91	0,84
139	S-13	57,91	75,12	75,67	0,55	75,68	0,56	75,71	0,59	75,73	0,61
145	S-14	63,93	75,70	76,13	0,43	76,13	0,43	76,16	0,46	76,17	0,47
151	S-15	69,70	76,24	76,61	0,37	76,62	0,38	76,64	0,40	76,65	0,41
158	S-16	77,01	76,51	76,84	0,33	76,85	0,34	76,86	0,35	76,88	0,37
166	S-17	84,94	76,97	77,27	0,30	77,27	0,30	77,29	0,32	77,31	0,34
172	S-18	90,35	77,27	77,55	0,28	77,55	0,28	77,57	0,30	77,59	0,32
184	S-19	102,46	78,08	78,30	0,22	78,3	0,22	78,32	0,24	78,34	0,26
190	S-20	108,66	78,41	78,61	0,20	78,61	0,20	78,62	0,21	78,67	0,26
195	S-21	113,41	78,59	78,78	0,19	78,78	0,19	78,82	0,23	78,89	0,30
200	S-22	118,50	78,77	78,95	0,18	78,96	0,19	79,04	0,27	79,16	0,39
207	S-23	125,81	79,34	79,50	0,16	79,51	0,17	79,61	0,27	79,76	0,42

Tabela 6.6 - Perfil da Linha D'água - Trecho Santo Antonio - Jirau - Condição atual e com reservatório do AHE Santo Antônio (NA=70,00m) - Condição estabilizada R = 0% - Q = 54.270 m³/s - TR = 25 anos

Identificação das Seções		Distância em relação à Usina (km)	NA situação atual (m)	NA com reservatório sem assoreamento (m)	Acréscimo do NA com reservatório sem assoreamento (m)	NA com reservatório assoreado após 10 anos (m)	Acréscimo do NA após 10 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 20 anos (m)	Acréscimo do NA após 20 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 35 anos (m)	Acréscimo do NA após 35 anos (m)
Modelo Fluvial	Modelo Remanso										
81		0,00	63,92	70,00	6,08	70,00	6,08	70,00	6,08	70,00	6,08
88	S-6	6,78	64,87	70,32	5,45	70,32	5,45	70,32	5,45	70,33	5,46
96	S-7	14,50	65,68	70,63	4,95	70,64	4,96	70,68	5,00	70,73	5,05
98	S-8	17,15	65,46	70,45	4,99	70,47	5,01	70,50	5,04	70,55	5,09
105	S-9	23,65	68,56	71,55	2,99	71,58	3,02	71,69	3,13	71,79	3,23
110	S-10	28,63	69,59	71,94	2,35	71,97	2,38	72,07	2,48	72,15	2,56
120	S-11	38,94	73,08	74,04	0,96	74,06	0,98	74,11	1,03	74,15	1,07
128	S-12	46,87	74,68	75,34	0,66	75,35	0,67	75,39	0,71	75,42	0,74
139	S-13	57,91	75,73	76,20	0,47	76,20	0,47	76,23	0,50	76,26	0,53
145	S-14	63,93	76,29	76,64	0,35	76,65	0,36	76,67	0,38	76,69	0,40
151	S-15	69,70	76,84	77,15	0,31	77,15	0,31	77,17	0,33	77,19	0,35
158	S-16	77,01	77,10	77,38	0,28	77,38	0,28	77,40	0,30	77,42	0,32
166	S-17	84,94	77,58	77,83	0,25	77,83	0,25	77,85	0,27	77,87	0,29
172	S-18	90,35	77,89	78,12	0,23	78,12	0,23	78,13	0,24	78,15	0,26
184	S-19	102,46	78,72	78,89	0,17	78,90	0,18	78,91	0,19	78,93	0,21
190	S-20	108,66	79,05	79,20	0,15	79,21	0,16	79,22	0,17	79,26	0,21
195	S-21	113,41	79,23	79,37	0,14	79,38	0,15	79,41	0,18	79,48	0,25
200	S-22	118,50	79,41	79,55	0,14	79,56	0,15	79,64	0,23	79,76	0,35
207	S-23	125,81	80,00	80,12	0,12	80,13	0,13	80,23	0,23	80,39	0,39

Tabela 6.7 - Perfil da Linha D'água - Trecho Santo Antonio - Jirau - Condição atual e com reservatório do AHE Santo Antônio (NA=70,00m) - Condição estabilizada R = 0% - Q = 57.730 m³/s - TR = 50 anos

Identificação das Seções		Distância em relação à Usina (km)	NA situação atual (m)	NA com reservatório sem assoreamento (m)	Acréscimo do NA com reservatório sem assoreamento (m)	NA com reservatório assoreado após 10 anos (m)	Acréscimo do NA após 10 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 20 anos (m)	Acréscimo do NA após 20 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 35 anos (m)	Acréscimo do NA após 35 anos (m)
Modelo Fluvial	Modelo Remanso										
81		0,00	64,55	70,00	5,45	70,00	5,45	70,00	5,45	70,00	5,45
88	S-6	6,78	65,50	70,36	4,86	70,36	4,86	70,36	4,86	70,37	4,87
96	S-7	14,50	66,29	70,71	4,42	70,73	4,44	70,77	4,48	70,82	4,53
98	S-8	17,15	66,04	70,51	4,47	70,53	4,49	70,57	4,53	70,62	4,58
105	S-9	23,65	69,04	71,72	2,68	71,75	2,71	71,88	2,84	71,98	2,94
110	S-10	28,63	70,02	72,12	2,10	72,16	2,14	72,26	2,24	72,35	2,33
120	S-11	38,94	73,48	74,35	0,87	74,36	0,88	74,41	0,93	74,46	0,98
128	S-12	46,87	75,11	75,71	0,60	75,72	0,61	75,76	0,65	75,79	0,68
139	S-13	57,91	76,14	76,58	0,44	76,59	0,45	76,62	0,48	76,65	0,51
145	S-14	63,93	76,69	77,02	0,33	77,03	0,34	77,06	0,37	77,08	0,39
151	S-15	69,70	77,26	77,54	0,28	77,55	0,29	77,57	0,31	77,59	0,33
158	S-16	77,01	77,51	77,77	0,26	77,77	0,26	77,79	0,28	77,81	0,30
166	S-17	84,94	78,00	78,23	0,23	78,24	0,24	78,26	0,26	78,28	0,28
172	S-18	90,35	78,31	78,52	0,21	78,53	0,22	78,54	0,23	78,56	0,25
184	S-19	102,46	79,16	79,32	0,16	79,32	0,16	79,34	0,18	79,36	0,20
190	S-20	108,66	79,49	79,63	0,14	79,63	0,14	79,65	0,16	79,69	0,20
195	S-21	113,41	79,66	79,80	0,14	79,80	0,14	79,83	0,17	79,90	0,24
200	S-22	118,50	79,85	79,98	0,13	79,98	0,13	80,07	0,22	80,19	0,34
207	S-23	125,81	80,46	80,57	0,11	80,57	0,11	80,68	0,22	80,84	0,38

**Tabela 6.8 - Perfil da Linha D'água - Trecho Jirau - Abunã - Condição atual e com reservatório do AHE Jirau (NA=90,00m)
Condição estabilizada R = 0% - Q = 38.100 m³/s – Média das Cheias Máximas Anuais**

Identificação das Seções		Distância em relação à Usina (km)	NA situação atual (m)	NA com reservatório sem assoreamento (m)	Acréscimo do NA com reservatório sem assoreamento (m)	NA com reservatório assoreado após 10 anos (m)	Acréscimo do NA após 10 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 20 anos (m)	Acréscimo do NA após 20 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 35 anos (m)	Acréscimo do NA após 35 anos (m)
Modelo Fluvial	Modelo Remanso										
210	S-28	0,00	84,27	90,00	5,73	90,00	5,73	90,00	5,73	90,00	5,73
228	S-29	18,33	87,99	91,13	3,14	91,13	3,14	91,13	3,14	91,13	3,14
243	S-30	33,55	88,85	91,42	2,57	91,42	2,57	91,42	2,57	91,42	2,57
253	S-31	42,97	89,29	91,58	2,29	91,58	2,29	91,58	2,29	91,58	2,29
255	S-32	45,10	89,45	91,67	2,22	91,67	2,22	91,67	2,22	91,67	2,22
256	S-33	46,07	89,50	91,67	2,17	91,67	2,17	91,67	2,17	91,67	2,17
258	S-34	48,07	89,54	91,69	2,15	91,69	2,15	91,69	2,15	91,69	2,15
267	S-34.5	57,44	90,21	91,92	1,71	91,92	1,71	91,92	1,71	91,92	1,71
272	S-35	61,98	90,72	92,17	1,45	92,17	1,45	92,17	1,45	92,17	1,45
279	S-36	69,21	91,17	92,43	1,26	92,43	1,26	92,43	1,26	92,43	1,26
283	S-37	72,88	91,29	92,48	1,19	92,48	1,19	92,48	1,19	92,48	1,19
286	S-38	76,17	91,59	92,69	1,10	92,69	1,10	92,69	1,10	92,69	1,10
292	S-38.5	82,34	91,89	92,89	1,00	92,89	1,00	92,90	1,01	92,93	1,04
301	S-39	90,77	92,30	93,14	0,84	93,16	0,86	93,27	0,97	93,54	1,24
306	S-40	95,71	92,61	93,33	0,72	93,36	0,75	93,65	1,04	94,04	1,43
309	S-40.5	99,04	92,94	93,57	0,63	93,60	0,66	94,09	1,15	94,37	1,43
315	S-41	105,55	93,37	93,86	0,49	93,96	0,59	94,72	1,35	94,99	1,62
320	S-41.5	109,72	93,67	94,07	0,40	94,24	0,57	95,13	1,46	95,47	1,80
327	S-42	117,23	94,40	94,62	0,22	95,05	0,65	96,06	1,66	96,40	2,00
329	S-42.3	118,98	94,56	94,76	0,20	95,19	0,63	96,21	1,65	96,54	1,98
338	S-42.6	128,30	94,93	94,98	0,05	96,00	1,07	96,93	2,00	97,25	2,32

**Tabela 6.9 - Perfil da Linha D'água - Trecho Jirau - Abunã - Condição atual e com reservatório do AHE Jirau (NA=90,00m)
Condição estabilizada R = 0% - Q = 47.800 m³/s - TR = 10 anos**

Identificação das Seções		Distância em relação à Usina (km)	NA situação atual (m)	NA com reservatório sem assoreamento (m)	Acréscimo do NA com reservatório sem assoreamento (m)	NA com reservatório assoreado após 10 anos (m)	Acréscimo do NA após 10 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 20 anos (m)	Acréscimo do NA após 20 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 35 anos (m)	Acréscimo do NA após 35 anos (m)
Modelo Fluvial	Modelo Remanso										
210	S-28	0,00	86,01	90,00	3,99	90,00	3,99	90,00	3,99	90,00	3,99
228	S-29	18,33	90,10	91,67	1,57	91,67	1,57	91,67	1,57	91,67	1,57
243	S-30	33,55	91,03	92,06	1,03	92,06	1,03	92,06	1,03	92,06	1,03
253	S-31	42,97	91,50	92,30	0,80	92,3	0,80	92,3	0,80	92,3	0,80
255	S-32	45,10	91,69	92,42	0,73	92,42	0,73	92,42	0,73	92,42	0,73
256	S-33	46,07	91,74	92,44	0,70	92,44	0,70	92,44	0,70	92,44	0,70
258	S-34	48,07	91,78	92,41	0,63	92,41	0,63	92,41	0,63	92,41	0,63
267	S-34.5	57,44	92,48	92,72	0,24	92,72	0,24	92,72	0,24	92,72	0,24
272	S-35	61,98	93,03	93,05	0,02	93,05	0,02	93,05	0,02	93,05	0,02
279	S-36	69,21	93,56	93,56	0,00	93,56	0,00	93,56	0,00	93,56	0,00
283	S-37	72,88	93,69	93,69	0,00	93,69	0,00	93,69	0,00	93,69	0,00
286	S-38	76,17	94,05	94,05	0,00	94,04	-0,01	94,04	-0,01	94,04	-0,01
292	S-38.5	82,34	94,35	94,35	0,00	94,35	0,00	94,36	0,01	94,42	0,07
301	S-39	90,77	94,72	94,72	0,00	94,75	0,03	94,88	0,16	95,22	0,50
306	S-40	95,71	95,05	95,05	0,00	95,10	0,05	95,52	0,47	96,01	0,96
309	S-40.5	99,04	95,39	95,39	0,00	95,44	0,05	96,10	0,71	96,46	1,07
315	S-41	105,55	95,79	95,79	0,00	95,92	0,13	96,87	1,08	97,21	1,42
320	S-41.5	109,72	96,12	96,12	0,00	96,34	0,22	97,44	1,32	97,76	1,64
327	S-42	117,23	96,84	96,84	0,00	97,36	0,52	98,37	1,53	98,69	1,85
329	S-42.3	118,98	97,03	97,03	0,00	97,57	0,54	98,55	1,52	98,86	1,83
338	S-42.6	128,30	97,45	97,45	0,00	98,5	1,05	99,36	1,91	99,64	2,19

**Tabela 6.10 - Perfil da Linha D'água - Trecho Jirau - Abunã - Condição atual e com reservatório do AHE Jirau (NA=90,00m)
Condição estabilizada R = 0% - Q = 53.390 m³/s - TR = 25 anos**

Identificação das Seções		Distância em relação à Usina (km)	NA situação atual (m)	NA com reservatório sem assoreamento (m)	Acréscimo do NA com reservatório sem assoreamento (m)	NA com reservatório assoreado após 10 anos (m)	Acréscimo do NA após 10 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 20 anos (m)	Acréscimo do NA após 20 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 35 anos (m)	Acréscimo do NA após 35 anos (m)
Modelo Fluvial	Modelo Remanso										
210	S-28	0,00	86,91	90,00	3,09	90	3,09	90	3,09	90	3,09
228	S-29	18,33	91,12	92,01	0,89	92,01	0,89	92,01	0,89	92,01	0,89
243	S-30	33,55	92,08	92,47	0,39	92,47	0,39	92,47	0,39	92,47	0,39
253	S-31	42,97	92,59	92,75	0,16	92,75	0,16	92,75	0,16	92,75	0,16
255	S-32	45,10	92,79	92,89	0,10	92,89	0,10	92,89	0,10	92,89	0,10
256	S-33	46,07	92,85	92,92	0,07	92,92	0,07	92,92	0,07	92,92	0,07
258	S-34	48,07	92,86	92,88	0,02	92,88	0,02	92,88	0,02	92,88	0,02
267	S-34.5	57,44	93,60	93,60	0,00	93,6	0,00	93,6	0,00	93,6	0,00
272	S-35	61,98	94,18	94,18	0,00	94,18	0,00	94,18	0,00	94,18	0,00
279	S-36	69,21	94,77	94,77	0,00	94,77	0,00	94,77	0,00	94,77	0,00
283	S-37	72,88	94,90	94,90	0,00	94,9	0,00	94,9	0,00	94,9	0,00
286	S-38	76,17	95,38	95,38	0,00	95,38	0,00	95,38	0,00	95,38	0,00
292	S-38.5	82,34	95,74	95,74	0,00	95,74	0,00	95,76	0,02	95,84	0,10
301	S-39	90,77	96,05	96,05	0,00	96,08	0,03	96,18	0,13	96,49	0,44
306	S-40	95,71	96,39	96,39	0,00	96,44	0,05	96,82	0,43	97,3	0,91
309	S-40.5	99,04	96,74	96,74	0,00	96,79	0,05	97,41	0,67	97,77	1,03
315	S-41	105,55	97,13	97,13	0,00	97,25	0,12	98,16	1,03	98,49	1,36
320	S-41.5	109,72	97,48	97,48	0,00	97,68	0,20	98,76	1,28	99,07	1,59
327	S-42	117,23	98,20	98,20	0,00	98,68	0,48	99,65	1,45	99,94	1,74
329	S-42.3	118,98	98,41	98,41	0,00	98,9	0,49	99,84	1,43	100,12	1,71
338	S-42.6	128,30	98,86	98,86	0,00	99,84	0,98	100,66	1,80	100,92	2,06

**Tabela 6.11 - Perfil da Linha D'água - Trecho Jirau - Abunã - Condição atual e com reservatório do AHE Jirau (NA=90,00m)
Condição estabilizada R = 0% - Q = 56.780 m³/s - TR = 50 anos**

Identificação das Seções		Distância em relação à Usina (km)	NA situação atual (m)	NA com reservatório sem assoreamento (m)	Acréscimo do NA com reservatório sem assoreamento (m)	NA com reservatório assoreado após 10 anos (m)	Acréscimo do NA após 10 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 20 anos (m)	Acréscimo do NA após 20 anos (m)	NA com reservatório assoreado após 35 anos (m)	Acréscimo do NA após 35 anos (m)
Modelo Fluvial	Modelo Remanso										
210	S-28	0,00	87,43	90,00	2,57	90,00	2,57	90,00	2,57	90,00	2,57
228	S-29	18,33	91,72	92,25	0,53	92,25	0,53	92,25	0,53	92,25	0,53
243	S-30	33,55	92,71	92,75	0,04	92,75	0,04	92,75	0,04	92,75	0,04
253	S-31	42,97	93,24	93,24	0,00	93,24	0,00	93,24	0,00	93,24	0,00
255	S-32	45,10	93,45	93,45	0,00	93,45	0,00	93,45	0,00	93,45	0,00
256	S-33	46,07	93,50	93,50	0,00	93,50	0,00	93,50	0,00	93,50	0,00
258	S-34	48,07	93,51	93,51	0,00	93,51	0,00	93,51	0,00	93,51	0,00
267	S-34.5	57,44	94,28	94,28	0,00	94,28	0,00	94,28	0,00	94,28	0,00
272	S-35	61,98	94,88	94,88	0,00	94,88	0,00	94,88	0,00	94,88	0,00
279	S-36	69,21	95,50	95,50	0,00	95,50	0,00	95,50	0,00	95,50	0,00
283	S-37	72,88	95,62	95,62	0,00	95,62	0,00	95,62	0,00	95,62	0,00
286	S-38	76,17	96,13	96,13	0,00	96,13	-0,01	96,13	0,00	96,13	0,00
292	S-38.5	82,34	96,47	96,47	0,00	96,47	0,00	96,49	0,02	96,57	0,10
301	S-39	90,77	96,77	96,77	0,00	96,79	0,02	96,89	0,12	97,18	0,41
306	S-40	95,71	97,12	97,12	0,00	97,17	0,05	97,54	0,42	98,01	0,89
309	S-40.5	99,04	97,49	97,49	0,00	97,53	0,04	98,14	0,65	98,50	1,01
315	S-41	105,55	97,87	97,87	0,00	97,99	0,12	98,88	1,01	99,21	1,34
320	S-41.5	109,72	98,24	98,24	0,00	98,44	0,20	99,49	1,25	99,80	1,56
327	S-42	117,23	98,95	98,95	0,00	99,41	0,46	100,36	1,41	100,66	1,71
329	S-42.3	118,98	99,17	99,17	0,00	99,63	0,46	100,55	1,38	100,85	1,68
338	S-42.6	128,30	99,62	99,62	0,00	100,58	0,96	101,39	1,77	101,66	2,04

Figura 6.12
AHE Santo Antônio - Perfil da Linha d'Água - Tr = 10 anos
(A3)

Figura 6.13
AHE Santo Antônio - Perfil da Linha d'Água - Tr = 25 anos
(A3)

Figura 6.14
AHE Santo Antônio - Perfil da Linha d'Água - Tr = 50 anos
(A3)

Figura 6.15
AHE Jirau - Perfil da Linha d'Água – Média das Cheias Máximas Anuais
(A3)

Figura 6.16
AHE Jirau - Perfil da Linha d'Água - Tr = 10 anos
(A3)

Figura 6.17
AHE Jirau - Perfil da Linha d'Água - Tr = 25 anos
(A3)

Figura 6.18
AHE Jirau - Perfil da Linha d'Água - Tr = 50 anos
(A3)

6.2.3. Análise dos Resultados

Os resultados da modelagem indicam que, enquanto o assoreamento dos futuros reservatórios estiver ocorrendo,, deverá haver alteração dos efeitos de remanso, com elevação gradual dos níveis d'água para cada vazão específica, à medida que progride o assoreamento previsto, principalmente na região de montante dos reservatórios.

Ao longo do reservatório de Santo Antônio o efeito do assoreamento é bastante reduzido em razão da maior tendência natural de deposição de sedimentos no trecho do rio Madeira entre Jirau e Abunã.

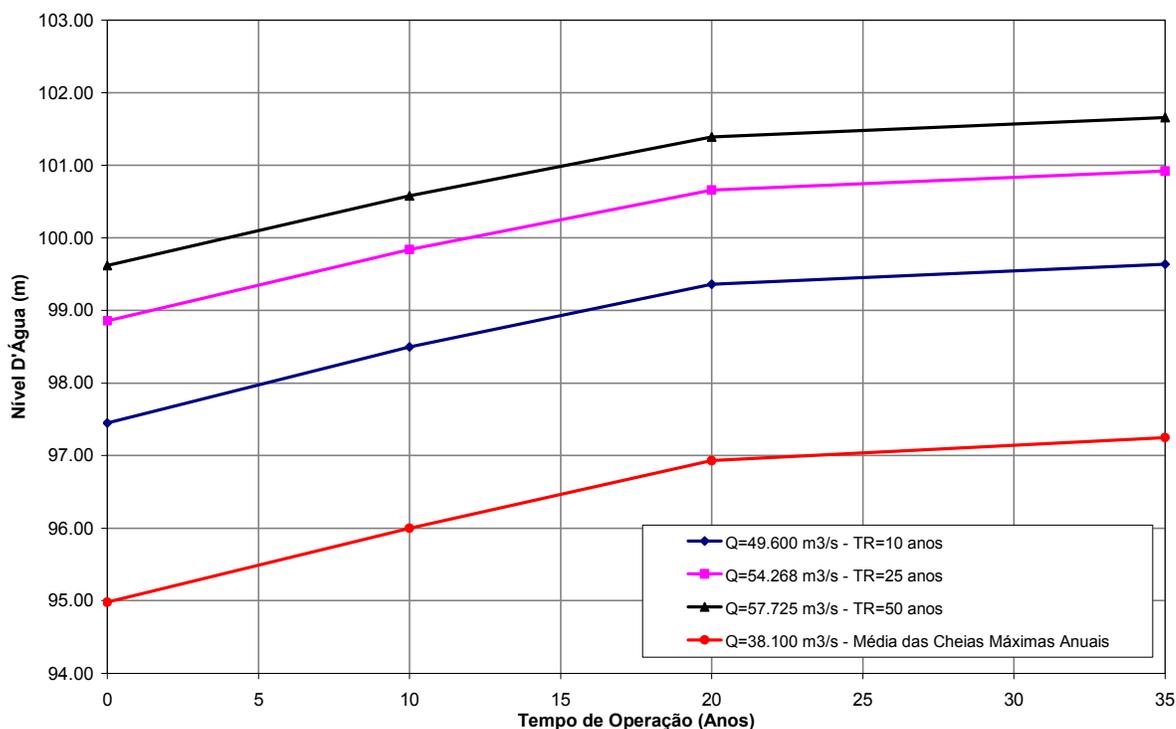
Considerando a implantação do AHE Santo Antônio em primeira adição, a sobrelevação do nível d'água devido ao assoreamento após 35 anos de operação do reservatório na seção S-16, localizada a jusante da confluência do rio Jaci-Paraná, utilizada como referência para análise do efeito do remanso do rio Madeira sobre o curso desse seu afluente, é inferior a 0,37, 0,32 e 0,30 m, em relação à condição natural, respectivamente para cheias de 10, 20 e 50 anos de recorrência.

Igualmente pouca expressiva é a sobrelevação do nível d'água no eixo de Jirau, seção S-23, que é inferior a 0,42, 0,39 e 0,38 m, respectivamente para cheias de 10, 20 e 50 anos de recorrência.

O efeito do assoreamento do reservatório do AHE Jirau é imperceptível até uma seção situada a cerca de 80 km do barramento (Seção S-38.5). A sobrelevação do nível d'água devido ao assoreamento em 35 anos de operação do reservatório na Seção S-33, por exemplo, localizada na Cachoeira Três Irmãos, ou seja, na porção do reservatório imediatamente a jusante da foz do rio Mutum-Paraná é praticamente nula, conforme indicado nas Tabelas 6.8 a 6.10. Conseqüentemente, o assoreamento do reservatório não tem qualquer influência nos níveis d'água do rio Mutum-Paraná.

Da seção S-38.5 para montante, os estudos de modelos indicam a tendência das sobrelevações aumentarem gradualmente, de forma aproximadamente linear, devido à tendência natural de assoreamento citada anteriormente e detalhada no item 5.7. Dessa forma, na seção junto a Abunã-Vila, Seção S-42.6, situada no trecho de montante do reservatório, a sobrelevação do nível d'água devida ao assoreamento do reservatório após 35 anos de operação é da ordem de 2,32, 2,19, 2,06 e 2,04 m, em relação a condição natural, respectivamente para a média das cheias anuais, e cheias de 10, 20 e 50 anos de recorrência. A Figura 6.19 apresenta a evolução do nível d'água após a implantação do reservatório de Jirau em Abunã-Vila.

Figura 6.19
Evolução do nível d'água do rio Madeira em Abunã Vila após a implantação do AHE Jirau



6.2.4. Conseqüências dos efeitos do assoreamento sobre o remanso dos reservatórios

Os desenhos PJ-0576-V-H41-GR-DE-0001 e PJ-0576--V-H41-GR-DE-0001 apresentam a planta dos reservatórios do AHE Santo Antônio e AHE Jirau, na escala de 1:250.000, onde estão indicadas as manchas de inundação para a condição atual, com reservatório sem assoreamento e com reservatório e assoreamento após 35 anos de operação, referente a cheia de 50 anos de recorrência. Estas plantas, georeferenciadas, foram elaboradas a partir do levantamento aerofotogramétrico, escala 1:10.000, com curvas de nível a cada 5m, elaborado em 2002, pela AEROMAPA, que totalizam 76 plantas para o reservatório da AHE Santo Antônio e 70 plantas para o de Jirau.

As manchas de inundação relativas às vazões de cheia com tempos de recorrência de 10 e de 25 anos não apresentaram diferenças sensíveis em relação à referente ao tempo de recorrência de 50 anos, razão pela qual não foram aqui apresentadas. Isso em virtude das diferenças de nível d'água correspondentes às diversas vazões (Figura 6.18), pequenas quando comparadas com a equidistância das curvas de nível da base cartográfica e da sua escala. Além disso, a precisão dos resultados da modelagem do assoreamento não justificaria uma análise tão detalhada que, entretanto, deverá ser procedida numa fase posterior dos estudos, conforme explicado mais adiante.

As plantas relativas à mancha de inundação com tempo de recorrência de 50 anos, que são apresentadas também em forma digital (CD anexo), são suficientes para, nesta fase dos estudos, identificar e prever os impactos dos reservatórios sobre áreas ribeirinhas, núcleos urbanos, estradas etc, no caso de ocorrer o assoreamento prognosticado.

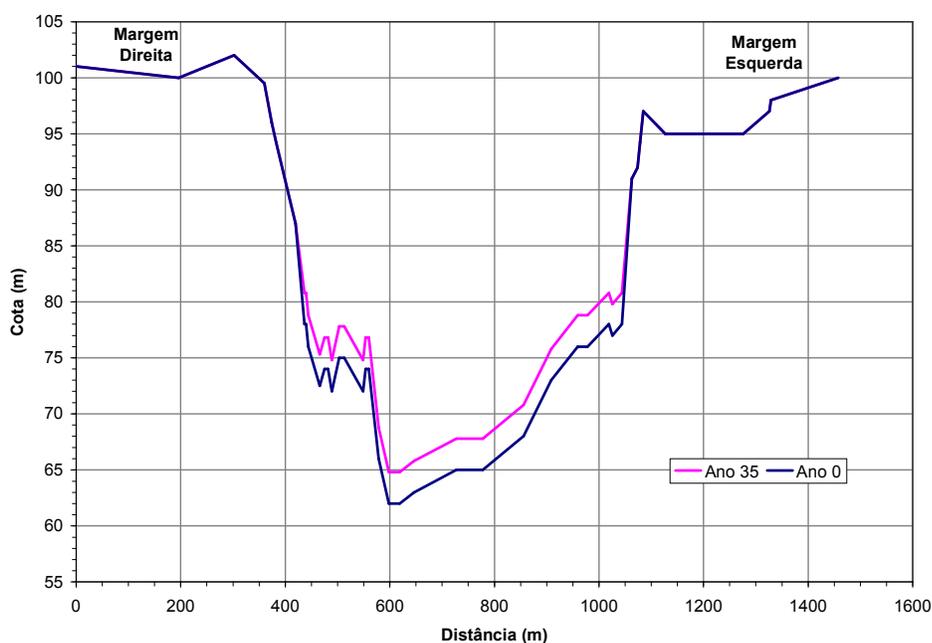
O efeito do assoreamento sobre o remanso do reservatório do AHE Santo Antônio em seu nível d'água máximo normal, é muito pouco significativo. Os impactos do remanso com o reservatório assoreado sobre as regiões ribeirinhas serão praticamente iguais aos do reservatório sem assoreamento, que foram estudados no EIA, em função da pequena sobrelevação do nível d'água esperada. Destaca-se ainda que a avaliação realizada considera a implantação do AHE Santo Antônio em primeira adição. Os efeitos estimados poderão ser retardados com a implantação do AHE Jirau, dependendo da época do seu início de operação.

Quanto aos efeitos do remanso do reservatório do AHE Jirau, em seu nível d'água máximo normal, quando considerado o assoreamento, os estudos indicam uma sobrelevação do nível d'água em relação a condição sem assoreamento.

A magnitude desta sobrelevação é variável e depende do local considerado do rio, do tempo de assoreamento e do valor da cheia considerada.

O rio Madeira em Abunã-Vila (seção S-42-6), têm cotas de extravasamento aproximadamente iguais a 100 m, conforme pode ser observado na seção transversal apresentada na Figura 6.20. Dessa forma, no início da operação de Jirau não ocorreriam inundações para cheias de recorrência de até 50 anos, conforme ilustrado na Figura 6.19.

Figura 6.20
Seção Transversal do rio Madeira em Abunã-Vila



Mesmo com o assoreamento previsto em 35 anos de operação, o nível d'água ficaria ainda contido em sua calha natural para a cheia de até 10 anos de recorrência com 5% de intervalo de confiança, que é aproximadamente igual a máxima cheia já observada em 35 anos de observação na estação de Porto Velho. Não haveria inundações nessa situação. Na hipótese de ocorrência de cheias de 25 anos de recorrência, a cota 100 da margem seria ultrapassada com o assoreamento correspondente a 12 anos de operação, enquanto que para cheias de 50 anos de recorrência este período é de cerca de 4 anos. Registre-se, porém, que não ocorreriam extravasamentos caso se repetissem as cheias observadas dos últimos 35 anos.

Esses prognósticos de sobrelevações de nível d'água, há que se salientar uma vez mais, foram realizados sobre dados e estudos hidrossedimentológicos nos quais intervêm um número considerável de variáveis, considerando-se neles, por isso, vários fatores conservadores. Os regimes pluvial e fluvial, a geologia, a topografia, a cobertura vegetal e as ações antrópicas constituem as principais delas. Dessa forma, os resultados obtidos têm uma incerteza acentuada e devem, assim, ser considerados com a devida precaução em razão da impossibilidade de se eliminar a incerteza sobre a estimativa da magnitude do assoreamento e, conseqüentemente, o efeito sobre o remanso.

A confirmação de tendências e a redução das incertezas sobre os resultados previstos pela modelagem dependem principalmente de medições futuras, principalmente aquelas que só poderão ser realizadas nos primeiros anos de operação do reservatório de Jirau.

Mesmo na hipótese de ocorrência de uma cheia de 25 anos de recorrência, ainda não observada no registro histórico, o extravasamento da cota 100 na região de montante do reservatório de Jirau somente ocorreria após 12 anos de operação, sem considerar a implantação de outras usinas a montante, inclusive em território boliviano. Este é um período suficiente e adequado para permitir que o monitoramento indique as correções necessárias ao modelo bem como identificar as devidas medidas corretivas adequadas, caso a sobrelevação do nível se confirme. Propõe-se, dessa forma, a execução de monitoramentos específicos para permitir quantificar de forma precisa a influência da implantação dos reservatórios sobre os níveis d'água do rio Madeira, com a antecedência necessária para a tomada de decisão quanto à aplicação de medidas corretivas, mitigadoras e/ou compensatórias adequadas.

Além do monitoramento, o detalhamento dos estudos hidrossedimentológicos (modelagem fluvial), de estudos de remanso e outros levantamentos e estudos complementares a serem elaborados na próxima etapa de projeto serão instrumentos fundamentais para definição dessas ações.

Para o caso da confirmação da sobrelevação dos níveis d'água na região de montante do reservatório de Jirau, deverão ser consideradas entre as medidas mitigadoras e/ou compensatórias dos impactos potenciais, a estudar e detalhar na próxima etapa de projeto, o seguinte:

- Relocação da população e da infra-estrutura potencialmente atingida;
- Implantação de sistema de alerta de inundações;
- Construção de diques de proteção;
- Adequação de sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário;

- Implementação de ações de comunicação social que contemplem o esclarecimento da população eventualmente afetada sobre a questão;
- Compensação onde a relocação, mitigação ou controle não forem adequados.

Naturalmente, outras alternativas poderão ser elencadas e investigadas na medida em que os estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos confirmem o risco real de inundação dessa área e que outros estudos ambientais e de engenharia necessários ao desenvolvimento das medidas sejam executados.

Destaca-se contudo que tais possibilidades de tratamento de impactos adicionais deverão ser consideradas somente para os eventos extremos de grandes vazões, superiores à máxima cheia do registro de medições do Rio Madeira em Porto Velho. Para as vazões freqüentes de operação do reservatório, incluídas aquelas dos períodos de estiagem, os efeitos de possíveis sobrelevação do remanso em Jirau poderão ser atenuados ou eliminados com otimização e ajustes na regra de operação do reservatório (Curva Guia).

7. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS A JUSANTE DA USINA HIDRELÉTRICA SANTO ANTÔNIO

De uma forma geral, a implantação de um reservatório tende a introduzir modificações na morfologia fluvial a jusante do barramento por dois motivos: a operação do reservatório pode acarretar erosão de margens, devido à variação mais frequente de níveis d'água, e porque a retenção de sedimentos no lago cria um desequilíbrio sedimentológico a jusante, devido à diminuição do aporte de sólidos.

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

Conforme relatado no item 4.2, estima-se que o reservatório de Santo Antônio reterá cerca de 19% dos sedimentos a ele afluentes no início de sua operação. Isso significa que mais de 80% do sedimento afluente é descarregado para jusante inicialmente. Essa retenção decresce para menos de 5% em 15 anos e de 1,0% em torno do final dos 30 anos seguintes. Portanto, é provável que a quantidade de sedimento a ser descarregado inicialmente para jusante seja entre 81% e 90% do total da carga sólida do rio, o que é suficiente, em princípio para manutenção das características de calha fluvial em questão.

A modelagem realizada na primeira fase dos estudos, de acordo com o apresentado no EIA, incluiu o trecho do rio Madeira entre a barragem de Santo Antônio e a foz do rio Jamari. Entretanto, o número de seções topobatimétricas e observações de nível d'água disponíveis para o estabelecimento do modelo nesse estirão de jusante era inferior ao necessário. Verificou-se ainda que os efeitos das condições de contorno impostas a jusante para operação do modelo, interferiram nos resultados obtidos, a jusante da barragem de Santo Antônio.

Para contornar este inconveniente, é necessário estender mais para jusante o trecho a ser modelado, afastando a influência da condição de contorno da região a ser estudada. Este trabalho complementar, que já foi iniciado por Furnas, inclui uma viagem de inspeção e a realização das seguintes atividades:

- Coleta e análise de dados e estudos existentes tais como níveis d'água, vazões e descargas sólidas do banco de dados da ANA e do HIBAM, relatórios da CPRM e de entidades de navegação etc.;
- obtenção de imagens de satélites de diferentes épocas para identificação de modificações da calha fluvial, ocorrências de depósitos arenosos e outros aspectos geomorfológicos;
- levantamento batimétrico de seções transversais, previstas para períodos de estiagem e de cheias;
- medições de vazão líquida e de descarga sólida;
- coleta e análise granulométrica de amostras de sedimentos das praias existentes,
- coleta e análise de qualidade de amostras de água;
- coleta e análises granulométricas e de qualidade (metais pesados) de amostras de sedimento do leito do rio;
- caracterização da geomorfologia e dos solos que ocorrem ao longo do rio Madeira, numa faixa de 20 km de largura, desde Porto Velho até a confluência com o rio Aripuanã;
- caracterização da mata ciliar.

Certamente que o relatório resultante produzirá conclusões que permitirão tomadas de decisão sobre a mitigação dos impactos que venham a ser eventualmente identificados.

8. MEDIDAS MITIGADORAS DOS PROCESSOS DE ASSOREAMENTO E DE EROSÃO

8.1. CONTROLE DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS NA BACIA HIDROGRÁFICA

A elevada produção de sedimentos da bacia do rio Madeira é um fenômeno natural, decorrente da geologia, da topografia dos Andes e das significativas precipitações regionais. Embora essa produção possa vir a diminuir, em escala geológica, pode hoje estar experimentando um aumento em decorrência da ação antrópica e, possivelmente, da variabilidade climática, motivo pelo qual é razoável se pensar em ações de controle sedimentológico.

Em aproveitamentos hidrelétricos o controle efetivo dos sedimentos implicaria na necessidade de intervenções sobre toda a bacia a eles contribuinte, extrapolando os domínios dos respectivos empreendedores. No caso dos AHEs de Jirau e Santo Antônio, que controlam uma área de cerca de um milhão de km², dos quais cerca de 71% na Bolívia e 11% no Peru, um

programa de controle de sedimentos de bacia hidrográfica torna-se praticamente inviável, mesmo considerando a possibilidade de entendimentos internacionais.

Assumindo ser possível, contudo, a realização desse programa em território brasileiro, ter-se-á uma área de atuação ainda expressiva, com cerca de 180.000 km², ou seja, praticamente a mesma do estado do Paraná ou 8 vezes a de Sergipe. Essa região tem experimentado nos últimos anos grande pressão para a expansão das fronteiras agrícolas e de criação de gado. Apesar das ações dos órgãos governamentais, a área, como em outras regiões do País, está sujeita a desmatamentos, queimadas, perdas de cobertura vegetal para formação de pastagens e áreas agriculturáveis, e outras ações antrópicas que, de forma geral, aumentam a produção da carga de sedimentos.

As medidas preventivas para controle da produção de sedimentos na bacia hidrográfica passam necessariamente por ações governamentais, destacando-se entre outras as seguintes:

- Controle de desmatamentos,
- Reflorestamento de áreas, onde possível,
- Proibição de queimadas,
- Construção de estradas com controle efetivo da drenagem durante e após a construção,
- Controle do manejo da agricultura e das áreas de pastagens, incluindo o incentivo de práticas adequadas de conservação do solo, quais sejam:
 - práticas vegetativas, como o florestamento e o reflorestamento, formação de pastagens adequadas para o gado, usar plantas de cobertura em áreas de declive descobertas, dispor as culturas em faixas, utilizar cordões de vegetação permanente aonde for necessário, bem como outras providências usuais dessas práticas;
 - práticas edáficas, como o controle de fogo pela preparação de aceros e outras providências, a adubação verde, a adubação química e a adubação orgânica, a correção da acidez do solo por calagem para garantir a fertilidade dos solos e o crescimento garantido de vegetação, o que indiretamente protege contra erosão;
 - práticas mecânicas, como a distribuição racional dos caminhos direcionados pela topografia, o plantio em contorno, terraceamentos onde for o caso, bem como o emprego de sulcos e camalhões e de canais escoadouros e outras práticas usuais;
 - o controle de voçorocas e de outras formas de forte erosão.

8.2. CONTROLE DE SEDIMENTOS NA ÁREA DOS RESERVATÓRIOS

Durante a construção das barragens - As escavações a serem realizadas durante a fase de construção das usinas localizam-se nas margens e estarão protegidas por ensecadeiras. Os materiais escavados serão transportados para os locais previstos para bota fora que estão assinalados nos desenhos PJ-0519-V3-GR-DE-0007 e PJ-0532-V3-GR-DE-0006 respectivamente para os AHEs Jirau e Santo Antônio. Sendo assim, o material escavado não fica disponibilizado para ser transportado pelas chuvas até o rio e, por este, ser conduzido e depositado a jusante

Contrariamente ao descrito no EIA Tomo A – VII.63, a escavação da Ilha do Presídio no AHE Santo Antônio seguirá também o procedimento descrito acima, ou seja, será realizada protegida por ensecadeiras ou septos naturais com os materiais escavados transportados para os locais previstos para bota-fora.

A remoção das ensecadeiras e septos de proteção da área para implantação do vertedouro será realizada após a conclusão de todas as obras, no período de recessão do nível d'água, de forma gradual acompanhando a diminuição dos níveis d'água a jusante. A remoção da parte mais baixa das seções das ensecadeiras ou septos será submersa, com escavadeiras e os materiais escavados serão também transportados por caminhões até os locais de bota-fora anteriormente citados.

Em dois momentos da construção ocorrerão movimentos de terra junto ou através do curso do rio Madeira, mas em volumes muito pequenos para acarretarem problemas a jusante. O primeiro, durante a fase inicial de construção, por ocasião do lançamento de cordões de ensecadeiras longitudinais junto ao rio, mas sobre as margens, e o segundo durante a fase de fechamento do leito do rio. Estas etapas serão executadas nos períodos de estiagem, com vazões em trânsito reduzidas, porém ainda suficientemente grandes para impedir que os pequenos volumes de material terroso eventualmente carregados pelo escoamento, durante a operação, resultem em aumento sensível da concentração de sedimentos e da turbidez do rio, com consequências a jusante. Mesmo junto a essas obras provisórias não se prevê que a turbidez das águas do rio suplante a do período de cheias naturais.

Deve ser destacado que em ambas as ocasiões, o construtor terá todo o interesse, por razões econômicas, em minimizar as perdas do material terroso, proveniente de jazidas. No caso das ensecadeiras do leito do rio, transversais ao fluxo, o método construtivo já prevê o lançamento do material rochoso (enrocamento) com certo avanço em relação aos solos da vedação externa, de modo a impedir ou minimizar seu arraste.

Operação das tomadas d'água – Conforme visto no item 4, os canais de aproximação dos Vertedouros têm cotas inferiores às alturas estimadas de assoreamento “ao pé da barragem”, enquanto que os canais de adução das Tomadas d'Água ou têm cota superior, no caso do AHE Jirau, ou dispõem de septo de proteção a montante mais elevado, como no caso do AHE Santo Antônio.

Diante da expectativa inicial de que depósitos sedimentares (frações mais grossas) pudessem ocorrer nas proximidades da barragem de Santo Antônio, em cotas superiores à soleira do canal de adução, aumentando o risco de danos aos equipamentos hidromecânicos da Casa de Força, foi definido que a ensecadeira de segunda fase será removida apenas parcialmente, até a El. 63,00m. Nesta cota, a mesma permanece com um dique ou septo de altura suficiente para impedir a chegada ao canal de adução de sedimentos mais pesados.

Durante a operação da usina o dique assim formado ficará submerso, com o nível d'água a montante ligeiramente superior ao que ocorrerá a jusante, junto à Tomada d'Água, dique), devido à perda de carga do escoamento na passagem sobre o mesmo dique. Os estudos em modelo reduzido, previstos para a fase de Projeto Básico e Executivo, permitirão promover

eventuais otimizações nesse dique, caso algum efeito indesejável sobre o escoamento de aproximação seja detectado.

Durante a formação do reservatório, o volume entre o referido dique e a Tomada d'Água deverá ser inundado de forma controlada, para evitar a ocorrência de escoamento muito energético sobre a crista do mesmo, capaz de mover os blocos de rocha de proteção de sua crista. Durante a elaboração do Projeto Básico e Executivo deverão ser estudadas alternativas para o enchimento controlado do canal de adução, tais como, dentre outras, a abertura de uma brecha provisória próxima à ombreira esquerda, capaz de garantir o enchimento gradual do recinto e a integridade do dique. Após o nível interno ultrapassar ligeiramente a crista do dique, igualando-se ao externo (do reservatório), a brecha deverá ser fechada, recompondo o mesmo.

Operação dos vertedouros - O potencial erosivo a jusante dos vertedouros foi devidamente considerado ao se estabelecer os arranjos gerais dos empreendimentos, quando se optou por posicionar os vertedouros junto às ombreiras, sobre rocha de boa qualidade, e com os canais de restituição direcionados para a região central da calha principal do rio Madeira, de forma a evitar impactos diretos sobre as margens.

No caso específico do aproveitamento de Santo Antonio esse cuidado foi ainda maior, já que o vertedouro ficou localizado na margem direita, imediatamente a montante da cidade de Porto Velho, também nesta margem.

Quanto às vazões sólidas mobilizadas pela operação do Vertedouro é necessário se compreender a dinâmica do escoamento na calha do rio e ao longo dos canais de aproximação do Vertedouro e de adução da Tomada d'Água e sua interrelação com os sedimentos trazidos às proximidades das obras do barramento, nos termos apresentados no item 4.1.

Como mencionado anteriormente, os depósitos de sedimento tendem a ocorrer, num primeiro momento, à entrada dos reservatórios, devido à redução de velocidades do escoamento em relação às naturais. Com a elevação do fundo da calha no trecho e a conseqüente redução na área da seção disponível, as velocidades tornam a aumentar, fazendo com que os depósitos passem a ocorrer mais a jusante, e assim sucessivamente. Em outras palavras, os depósitos sedimentares avançam para jusante, com o passar do tempo, até alcançarem as proximidades das barragens. Nesta região, a frente do depósito é moldada pelo escoamento, ora em direção à Casa de Força, em uma margem, ora em direção ao vertedouro (na margem oposta), durante as cheias.

As cotas de sedimentos depositados próximos à barragem, com o passar do tempo poderiam superar as soleiras dos canais de adução dos dois aproveitamentos, facilitando o acesso do sedimento depositado (frações mais grossas) às unidades geradoras. Com as medidas de proteção relativas à entrada dos canais de adução, já descritas, e o funcionamento anual do vertedouro, que dificulta uma elevação contínua dos possíveis depósitos de sedimentos a montante dessa entrada, somente os sedimentos em suspensão, frações mais finas, deverão ter acesso ao canal de adução, sendo transportados para jusante pelo escoamento no próprio canal e circuito das turbinas.

Os canais de aproximação dos Vertedouros têm cotas variáveis, sendo mais profundos que os canais de adução (e sua proteção no caso de Santo Antônio). Desta forma, o sedimento em suspensão e o que vier depositar no próprio canal de aproximação e proximidades, terão acesso ao canal e Vertedouro, quando este estiver em operação. Para que haja o transporte do sedimento é necessário que haja fluxo, ou seja: energia para transportar o sedimento até este local, o que somente se verifica com as comportas abertas.

Na condição de comportas fechadas (em média 8 a 9 meses por ano), o sedimento disponível no canal de aproximação e nas proximidades da entrada do canal de adução corresponde ao material depositado e não arrastado para jusante no período de cheias anterior e a parcela correspondente ao sedimento em suspensão que se depositou, ao longo do período de vertedouro inoperante. O volume de sedimentos depositável neste período será sempre pequeno, por não haver continuidade no aporte de sedimentos.

Considerando a concentração máxima medida de sedimentos em suspensão no rio Madeira em Porto Velho, de 3.500mg/l, um peso específico aparente de 1,007t/m³ e uma coluna d'água máxima de 28,0m, o depósito de sedimentos formado neste período terá uma espessura da ordem de apenas 10cm. Como não haverá tempo para que o depósito se consolide até o subsequente período de operação do vertedouro, ocorrerá seu transporte para jusante com a abertura de suas comportas.

Os estudos hidráulicos em modelo reduzido, que fazem parte do escopo dos projetos básicos dos AHEs, permitirão verificar e otimizar os comportamentos acima descritos.

Além disso, como os reservatórios serão operados a fio d'água (vazão afluyente igual a vazão defluente), os vertedouros serão operados de forma a liberar para jusante a parcela da vazão total não turbinada. Desta forma, não são esperadas variações significativas de vazões líquidas e sólidas, em relação às condições naturais, por conta da operação do vertedouro.

Desbarrancamento das Margens - As margens do rio Madeira, em alguns trechos entre Abunã e Santo Antônio, são suscetíveis à erosão e ao desbarrancamento já em condições naturais. Como as usinas de Santo Antônio e Jirau serão operadas a fio d'água, não ocorrerão variações abruptas de níveis d'água ao longo do reservatório e, por esta razão, não são esperados aumentos da ocorrência de desbarrancamento das margens. Ao contrário, como o reservatório promoverá a redução da velocidade média de escoamento, a tendência esperada é a redução dessas ocorrências por ação do fluxo.

A geração de ondas pelos ventos, não deverá ser muito significativa, face aos relativamente moderados aumentos da área inundada (logo, dos fetches) e das profundidades do lago. Assim, em termos da geração de sedimentos pelo seu choque com as margens do reservatório, haverá uma tendência dos efeitos provocados pelas ondas, embora pequenos, diminuir um pouco os benefícios da redução das velocidades de escoamento e da não variabilidade dos níveis d'água.

Independente dessas considerações, será estabelecido um programa de monitoramento das margens, no âmbito do PCA, visando identificar as áreas potencialmente instáveis e definir ações para sua proteção.

Ao mesmo tempo, estão previstas a manutenção da floresta ciliar ao longo dos reservatórios e a recomposição desta nas áreas já degradadas, com os objetivos de proteger as margens contra erosão e promover a retenção de sedimentos provenientes de enxurradas de áreas marginais. Essa faixa ripariana deverá ter, no mínimo, a dimensão estabelecida na legislação pertinente.

8.3 CONTROLE DE EROSÃO DE MARGENS NO TRECHO A JUSANTE DA BARRAGEM

Como os aproveitamentos de Santo Antônio e de Jirau serão operados a fio d'água, o regime de vazões a jusante será o natural. Com relação aos sedimentos, sua retenção pelos reservatórios não deverá se processar de modo significativo, em razão da velocidade média de escoamento ainda expressiva para reservatórios, da granulometria fina da carga sólida e das características de suas estruturas de descarga.

Os estudos de assoreamento dos reservatórios, através da curva média de Brune, indicam que haverá uma retenção inicial de aproximadamente 19% do sedimento total, ou seja, a contribuição de sedimentos para jusante será da ordem de 80% da carga sólida normal.

Devido à redução da capacidade de retenção ao longo do tempo, a carga para jusante atinge a uma situação próxima da atual em cerca de 20 anos, fazendo com que as transformações esperadas no rio Madeira a jusante das usinas sejam aquelas próprias de seu regime natural, ou muito próximas destas.

Apesar dessa expectativa, os estudos hidrossedimentológicos a jusante de Porto Velho, estão sendo aprofundados de forma a confirmar os prognósticos atuais e propor, se for o caso, a implementação de programa de controle específico.

9. NOVOS ESTUDOS

São os seguintes os estudos previstos para a fase de Projeto Básico e Projeto Executivo:

- Continuação das práticas hidrossedimentométricas, incluindo a realização de medições de descarga líquida e sólida nas estações de Porto Velho, Abunã e Guajará-Mirim; e em alguns afluentes mais importantes, como é o caso do rio Abunã e dos rios Mutum-Paraná e Jaci-Paraná;
- Atualização dos estudos de avaliação de assoreamento dos reservatórios com a inclusão dos resultados das campanhas hidrossedimentométricas realizadas após a fase de viabilidade;
- Aprimoramento da modelagem sedimentológica no trecho entre a foz do rio Beni e a foz do rio Jamari, com a inclusão de novos levantamentos hidrométricos a serem realizados incluindo:
 - Detalhamento do leito rígido (pedrais);
 - Levantamento de seções topobatimétricas complementares ao longo do estirão;
 - Levantamento de perfis longitudinais do leito e da linha d'água do rio Madeira, ao longo de todo o estirão em estudo.

- Coleta do material de fundo ao longo do estirão e confecção de curvas granulométricas.
- Otimização dos estudos de remanso considerando cenários de deposição de sedimentos nos reservatórios, ao longo de sua vida útil;
- Realização de estudos sedimentológicos do estirão fluvial a jusante do AHE Santo Antônio, até Humaitá, visando avaliar as variações morfológicas dos depósitos aluvionares em praias e ilhas, devido às mudanças no regime de escoamento e transporte de sedimentos decorrente da implantação das AHE de Santo Antônio e Jirau. Inclui a execução de campanhas de coleta de dados, e informações, detalhadas no item 7, e preparação de relatório conclusivo sobre os respectivos eventuais impactos e medidas mitigadoras;
- Elaboração de estudos em modelo físico de conjunto visando avaliar quantitativamente e qualitativamente a dinâmica do escoamento e o transporte de sedimentos através das estruturas de tomada d'água e vertedouro, e canais de aproximação e descarga;

10. EQUIPE TÉCNICA

Os engenheiros civis relacionados na Tabela 10.1 participaram na elaboração dos estudos aqui apresentados e/ou deste relatório.

Tabela 10.1
Técnicos que Participaram dos Serviços

Nome	Registro Profissional	Registro no IBAMA
João Carlos Salgado	CREA 911.001.051-D RJ	676.596
Newton de Oliveira Carvalho	CREA 12.295-D RJ	248.344
Jonatas Costa Moreira	CREA 34.040-D RJ	292.296
Pedro Trindade	CREA 37.065-D RJ	1.527.119
Maria Clara Rodrigues Xavier	CREA 54.871-D RJ	206.971
Olívia Souza de Matos	CREA 187.228-D RJ	1.527.306
Sergio Warszawsky	CREA 2.006.100.605 RJ	972.328

ANEXO 1
ATAS DE REUNIÕES DE ESCLARECIMENTO COM A EQUIPE DO IBAMA



Referência	Data de Emissão	Folha
GA.I.005.2006	15.03.2006	1/4

Finalidade da Reunião:

Elucidar as solicitações de complementações e adequações do EIA/RIMA dos Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau, contidas no Ofício n. 135/2006 - DILIQ/IBAMA, de 24/02/2006.

Local de Realização:	Data	Hora
IBAMA/Sede	09/03/2006	09h00

Emitida por:
GA.I

Nome dos Participantes

Pelo IBAMA:

- Moara Menta Giasson *Moara Menta Giasson*
- Gina Luisa Deberdt *Gina Luisa Deberdt*
- Ivan Teixeira *Ivan Teixeira*
- Ricardo Brasil Choueri *Ricardo Brasil Choueri*
- Rodrigo Vasconcelos Koblitz *Rodrigo Vasconcelos Koblitz*
- Vera Lúcia Abreu *Vera Lúcia Abreu*
- Marcelo Belisário Campos *Marcelo Belisário Campos*
- Silvia Rodrigues Franco *Silvia Rodrigues Franco*
- Alexandre Pollastrini *Alexandre Pollastrini*
- Lillian Maria Lima *Lillian Maria Lima*
- Paula Márcia de Melo (parte)

Por FURNAS:

- Norma Pinto Villela - GA.I *Norma Pinto Villela*
- Kátia Gisele Matosinho - GA.I *Kátia Gisele Matosinho*
- Acyr Teixeira Gonçalves - DEA.E *Acyr Teixeira Gonçalves*
- Helena São Thiago - DEA.E *Helena São Thiago*
- Cássio Botelho Soares - DEA.E *Cássio Botelho Soares*
- Neiva Pereira de Ruiz - DEC.E *Neiva Pereira de Ruiz*

Pela Construtora Norberto Odebrecht (CNO):

- Sérgio França Leão *Sérgio França Leão*

Pela Leme Engenharia:

- Victória Tuyama Sollero *Victória Tuyama Sollero*

Pela PCE Engenharia:

- João Carlos Salgado *João Carlos Salgado*

Distribuição:

ALE.P/GA.I./DEA.E/DEC.E/SG.C/IBAMA/Leme/PCE/CNO

Assuntos Tratados

1. FURNAS agradeceu o empenho e agilidade da equipe do IBAMA na análise dos estudos do Complexo do Madeira, e informou que, das complementações e adequações ao EIA/RIMA solicitadas, cerca de um terço são objeto de dúvidas por parte da empresa.



Referência GA.I.005.2006	Data de Emissão 15.03.2006	Folha 2/4
-----------------------------	-------------------------------	--------------

2. Meio Físico:

2.1. Com relação à primeira solicitação de complementações, referente ao meio físico, a PCE Engenharia apresentou suas dúvidas e, em função dos esclarecimentos prestados pelo IBAMA, esclareceu que, para o modelo proposto para os Aproveitamentos Hidrelétricos (AHEs) Jirau e Santo Antônio, são indiferentes o número de turbinas em operação, a regra operacional em picos de demanda e outros tópicos solicitados, pois os reservatórios funcionarão a fio d'água, não havendo, portanto, regularização da vazão do rio. A vazão que aflui é igual à que é liberada.

2.2. Terceiro item das adequações referentes ao meio físico: também após esclarecidas as dúvidas apresentadas pela PCE, esta comentou que todas as decisões de projeto foram feitas de forma conservadora, no que diz respeito à vida útil dos reservatórios e aos impactos relacionados à dinâmica de sedimentos. E acrescentou que a decisão pelo uso da Curva de Brune foi extremamente conservadora, o que confere segurança com relação ao prognóstico do comportamento dos sedimentos.

2.3. Quanto à altura de sedimentos no pé da barragem (quarto item das adequações referentes ao meio físico), a PCE esclareceu que na proximidade do vertedouro não haverá aporte de sedimentos durante a estiagem. O fluxo será direcionado, em sua totalidade, para a tomada d'água.

2.4. O IBAMA sugeriu que, após a apresentação das informações solicitadas, seja realizada, caso necessário, reunião específica sobre o tema.

3. Meio Socioeconômico:

3.1. Primeiro item das complementações referentes ao meio sócio-econômico: FURNAS manifestou dúvida quanto ao nível de profundidade com que deverá ser abordado o detalhamento da dinâmica da utilização das várzeas.

3.1.1. O IBAMA esclareceu que as informações sobre esse assunto estão dispersas no EIA, cabendo elaborar texto específico sobre as várzeas.

3.1.2. FURNAS ressaltou que as medidas mitigadoras e/ou compensatórias à eventual "extinção da exploração econômica de vazante" podem ser delineadas na presente etapa, mas, como essas medidas demandam articulação com as comunidades afetadas, seu detalhamento maior se dará na fase de projeto básico.

3.2. Com relação ao primeiro item das adequações referentes ao meio sócio-econômico, o IBAMA esclareceu que os aspectos relacionados no item devem ser destacados nos programas ambientais e, caso não tenham sido considerados, que sejam então inseridos, de modo a humanizar o estudo.

4. Ecossistema Aquático:

4.1. Primeiro item das complementações, referente ao ecossistema aquático: FURNAS indagou porque o IBAMA solicitou um estudo específico sobre tecamebas.



Referência	Data de Emissão	Folha
GA.1.005.2006	15.03.2006	3/4

4.1.1. O IBAMA esclareceu que as tecamebas (importantes indicadores) participam da ciclagem de nutrientes e fluxo de energia, contribuindo para o conhecimento da dinâmica do ecossistema aquático em questão.

4.1.2. FURNAS ponderou que outros organismos, como as diatomáceas, também permitem inferências sobre as alterações físicas causadas pela transição de um ambiente aquático de lótico para lêntico.

4.1.3. O IBAMA esclareceu que o que se está buscando conhecer é a importância dos protozoários no ambiente do rio Madeira.

4.1.4. Ficou acordado que, quando da campanha para coleta de bentos, será feita campanha específica para coletar protozoa, a partir da qual o IBAMA irá avaliar a necessidade ou não de complementação dos estudos de protozoários em etapa futura do licenciamento.

4.2. Quanto à segunda solicitação de adequação dos estudos, relativa à elaboração de novo modelo prognóstico da qualidade da água, FURNAS informou que o mesmo já está em andamento, baseado em método preconizado pela US-EPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos). Esse modelo é bastante efetivo, opera com grande número de variáveis, mas demanda um tempo de simulação.

4.2.1. FURNAS propôs que o IBAMA acompanhe o desenvolvimento da aplicação do modelo, inclusive porque a aplicação é modular, de forma que, ao final de cada módulo, os resultados parciais serão enviados ao IBAMA, não havendo, conseqüentemente, paralisação do licenciamento ambiental. O primeiro módulo é o de hidrodinâmica, cujo produto deverá estar concluído dentro de um mês e meio. O IBAMA concordou com o encaminhamento proposto.

5. Ictiofauna:

5.1. Primeiro item das complementações referentes à ictiofauna: FURNAS informou que os consultores desaconselham a amostragem no meio da calha do rio, já que, na Amazônia, são obtidas amostras mais diversificadas próximo ao ponto de contato dos afluentes com o rio principal. Além disso, dada a velocidade e vazão das águas, na atual época de cheias, essa coleta apresentaria grandes obstáculos e riscos. Em função do argumento quanto à segurança das pessoas que fariam a coleta, o IBAMA concordou com a retirada dessa complementação, havendo consenso de que será feita coleta nos trechos mais a montante da desembocadura dos afluentes.

5.2. Segundo item das complementações - coletas de arrasto de fundo: FURNAS informou que, no rio Madeira, essas coletas devem ser feitas fora da época das cheias, pois nesta época tal atividade se torna extremamente perigosa quanto à segurança dos trabalhadores.

IT 2
[Handwritten signatures and initials]



Referência	Data de Emissão	Folha
GA.I.005.2006	15.03.2006	4/4

5.2.1. FURNAS ponderou que a avaliação de impactos considerou as espécies de peixes que circulam no meio da calha do rio, próximo ao fundo, e salientou que um dos programas apresentados no EIA prevê a continuidade do levantamento da ictiofauna.

5.2.2. FURNAS também ponderou que a utilização dessa técnica foi feita por iniciativa da Empresa, como um "plus" do diagnóstico, e que seus resultados não interferem na avaliação dos impactos sobre a ictiofauna.

5.2.3. O IBAMA argumentou que devido à alta seletividade de cada aparelho de pesca faz-se necessário estabilizar a curva do coletor com esse petrecho especificamente, sendo esta solicitação uma complementação aos estudos, a qual traz resultados que devem ser incorporados à avaliação de impactos.

5.2.4. Dessa forma, ficou acordado que FURNAS procederá à coleta de arrasto solicitada, nos locais onde for possível, considerando a segurança dos profissionais que farão essa coleta, diante da situação de cheia em que o rio Madeira se encontra. Numa primeira análise ficou acertado que FURNAS fará a coleta em pelo menos quatro tributários, priorizando Jaci-paraná, Mutum-paraná, Belmont e Abunã. Os dados serão consolidados em documento no qual constará justificativa da impossibilidade de se coletar em outros pontos.

5.2.5. Em relação à curva do coletor, foi consenso de que a Empresa irá amostrar seguidamente os locais amostrados, até que a curva se estabilize.

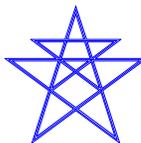
5.3. Terceiro item das complementações - modelos experimentais para predição da deposição de ovos e larvas: FURNAS informou que inexistem modelos para esse prognóstico, e se comprometeu a implementar um projeto de pesquisa e desenvolvimento relativo a esse modelo, utilizando o caso do rio Madeira como piloto, não inserindo-o no licenciamento ambiental do empreendimento. Ressaltou que se trata de um projeto de longo prazo, dadas as variáveis e fatores envolvidos. Houve concordância do IBAMA quanto às argumentações e à proposta de FURNAS.

5.4. Primeiro item das adequações referentes à ictiofauna - apresentação de dados brutos de qualidade da água e de ictiofauna em planilha eletrônica: FURNAS salientou que esses dados foram produzidos por diversas instituições contratadas para a elaboração dos estudos ambientais dos AHEs Jirau e Santo Antônio, as quais são proprietárias dos dados brutos produzidos, o que está garantido em cláusulas contratuais específicas. Por isso, FURNAS irá requerer autorização dos contratados para repasse desses dados ao IBAMA e, caso autorizado, as cláusulas de sigilo e confidencialidade deverão ser acatadas pelo IBAMA, para que FURNAS possa lhe repassar os dados.

14. Sem mais a tratar, foi encerrada a reunião.

GA.I/KGM
15/03/2006

[Handwritten signatures and initials]

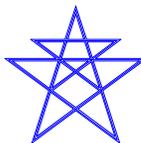


Referência GA.E.002.2006	Data de Emissão 27.07.2006	Folha 1/4
------------------------------------	--------------------------------------	---------------------

Finalidade da Reunião: Apresentar as conclusões do IBAMA referentes à análise das complementações e adequações do EIA/RIMA de Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antônio e Jirau, apresentadas por FURNAS/CNO em 28/04/2006		
Local de Realização: IBAMA/Sede	Data 07/07/2006	Hora 10h00
Emitida por: GA.E		
Nome dos Participantes		
Pelo IBAMA: - Luiz Felipe Kunz Júnior - Valter Muchagata - Paula Márcia Salvador de Melo - Moara Menta Giasson - Alexandre Pollastrini - Gina Luísa Deberdt - Ivan Teixeira - Lilian Menezes Lima - Marcelo Belisário Campos - Ricardo Brasil Choueri - Rodrigo Vasconcelos Koblitz - Silvia Rodrigues Franco - Vera Lúcia Silva Abreu		
Por FURNAS: - Norma Pinto Villela - Márcio Arantes Porto - Acyr Jorge Gonçalves - Kátia Gisele Matosinho - Helena São Thiago - Cássio Botelho Soares		
Pela Leme Engenharia: - Victória Tuyama Solero		
Pela PCE Engenharia: - João Carlos Salgado - Jonatas Moreira		
Distribuição: ALE.P/SG.C/GA.E/DEA.E/DEC.E/IBAMA/LEME/PCE/CNO		

Assuntos Tratados

1. O IBAMA esclareceu que suscitou a presente reunião visando apresentar seus comentários e elucidar dúvidas com relação às complementações e adequações ao EIA/RIMA, requeridas no Ofício nº 135/2006-DILIQ/IBAMA, de 24/02/2006, e apresentadas pelo Consórcio FURNAS/CNO em 28/04/2006.



Referência GA.E.002.2006	Data de Emissão 27.07.2006	Folha 2/4
------------------------------------	--------------------------------------	---------------------

1.1. O IBAMA informou que essas complementações não atenderam, em parte, ao solicitado no referido ofício, e que os pontos considerados não atendidos estavam elencados em informação técnica que seria entregue a FURNAS ao final da reunião.

2. Comentários e dúvidas relativas ao meio físico:

2.1. Estudos de remanso:

2.1.1. O IBAMA ratificou a necessidade de apresentação de espacialização das envoltórias dos reservatórios, com indicação das estradas, cidades e outros pontos de interesse.

2.1.2. A PCE Engenharia, contratada do Consórcio FURNAS/CNO, ressaltou que o estudo de remanso é extenso e que foi apresentado na íntegra nos estudos de viabilidade do Complexo Madeira, tendo o IBAMA solicitado que as informações também fossem repassadas na íntegra para esse Instituto.

2.2. Estudos sobre as diferentes cotas da altura de sedimentos no pé da barragem e evolução dos sedimentos junto às barragens:

2.2.1. O IBAMA esclareceu que a necessidade de complementação desses estudos originou-se da comparação entre os resultados obtidos quanto à evolução de sedimentos junto às barragens pelo modelo de redução de área e pelo programa computacional HEC-6 reproduzidos no EIA, os quais teriam gerado informações contraditórias.

2.2.2. Dessa forma, o IBAMA solicitou que se consolide o estudo de sedimentos num único documento, considerando as outras solicitações que constam da Informação Técnica Nº 08/2006, que seria entregue após a reunião.

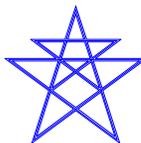
2.2.3. A PCE ressaltou que os estudos de sedimentos realizados para os AHEs em questão, incorporados ao estudo de impacto ambiental, são os primeiros, no País, a fazer espacialização de erosão e assoreamento.

2.3. Ficou acordada a realização de reunião técnica em 11/07/2006, às 10h00, na sede do IBAMA, na qual deverão ser dirimidas todas as dúvidas sobre as questões relativas ao meio físico.

3. Comentários sobre o meio biótico:

3.1. Comunidades aquáticas:

3.1.1. Solicitação de adequação constante no Ofício nº 135/2006 no bloco "Ecossistema Aquático": "Apresentar os resultados e as análises de similaridade, diversidade e riqueza para cada comunidade



aquática, considerando os períodos amostrais separadamente. Repetir a análise para os quatro tipos de regime de vazão: cheia, vazante, seca e enchente":

3.1.1.1. O IBAMA informou que o item foi atendido quanto às comunidades planctônicas, mas não quanto à ictiofauna.

Referência	Data de Emissão	Folha
GA.E.002.2006	27.07.2006	3/4

3.1.1.2. FURNAS ponderou que no Ofício nº 135/2006 estava claramente especificado, no corpo das solicitações de complementações e adequações, os casos em que se tratava de ictiofauna, tema esse que constou de um bloco específico do referido ofício, distinto do bloco "Comunidades Aquáticas", no qual a solicitação em referência se insere, razão pela qual esta não foi apresentada.

3.1.1.3. O IBAMA informou que essa divisão não é tão definitiva exemplificando que, em dois outros itens do tópico de Ecossistemas Aquáticos foi discutida análise da ictiofauna. Por fim, solicitou que a análise de similaridade seja apresentada separada por período de regime de vazão, de forma a melhor subsidiar a análise.

3.1.2. Solicitação de adequação constante no Ofício nº 135/2006: "Estabelecer interações, caso existam, entre as comunidades planctônicas (fito e zôo), bentônica e íctia":

3.1.2.1. O IBAMA ponderou que considera importante apresentar as interações entre bentos e ictiofauna, devido às alterações previstas nos reservatórios e à importância da guilda detritívora e iliófaga no rio Madeira.

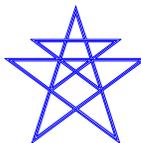
3.1.2.2. FURNAS comentou que tal caracterização constituiria uma análise teórica, um cenário preditivo sugerido a partir da transformação do ambiente. Ter-se-á que considerar a plasticidade alimentar das espécies, e há muito poucos dados sobre dieta de espécies, sobretudo na Amazônia. Trata-se, portanto, de um cenário a ser traçado a partir de marcos conceituais.

3.1.2.3. O IBAMA manifestou saber dessas restrições, mas solicitou que FURNAS atenda ao solicitado a partir de marcos conceituais e informações já disponibilizadas pelo EIA.

3.1.3. Solicitação de adequação constante no Ofício nº 135/2006: "Avaliar os riscos de disponibilização, bioacumulação e biomagnificação do mercúrio nos ecossistemas aquáticos diretamente afetados pelo empreendimento, considerando as diferentes etapas de construção do reservatório".

3.1.3.1. O IBAMA considerou a análise apresentada por FURNAS/CNO insuficiente, devendo ser mais aprofundada, confrontando os dados apresentados no EIA, e com predição de alteração da qualidade da água. O IBAMA também solicitou comparações com outras hidrelétricas que tiveram problemas com mercúrio (Tucuruí, por exemplo) e que fossem abordados os estudos sobre mercúrio em Mutum-Paraná.

3.1.3.2. FURNAS ponderou que, além de não ter sido solicitada a comparação com outros reservatórios, será difícil encontrar, no rio Madeira, situações duradouras de ambiente anóxico, como



ocorre em outros reservatórios. A situação de anoxia deverá ocorrer em pequenas regiões, nos tributários, com baixos tempos de permanência.

3.1.3.3. O consultor em hidrodinâmica e qualidade da água do Consórcio FURNAS/CNO esclareceu que há diferenças entre os bolsões situados próximo à barragem e os que dela se distanciam. A renovação da água nos braços de rio se dará somente pela própria água dos mesmos, ou por meio de medidas mitigadoras, interventivas, que estão apontadas no relatório apresentado ao IBAMA.

Referência	Data de Emissão	Folha
GA.E.002.2006	27.07.2006	4/4

3.1.3.4. O IBAMA ratificou que faltou confrontar os dados de mercúrio com o prognóstico de dinâmica da água, mais especificamente quanto à formação de bolsões, para subsidiar a elaboração de prognóstico da remobilização do mercúrio.

3.2. Solicitação de adequação constante no Ofício nº 135/2006: "Apresentar as tabelas, em planilha eletrônica, dos dados brutos com o número de indivíduos por espécie, separados em períodos de coleta, ponto de amostragem e tipo de coletor. No mesmo formato, deverão ser apresentados os dados sobre qualidade das águas por ponto de amostragem. (...)"

3.2.1. Considerando que FURNAS apresentou cópia das correspondências encaminhadas às instituições de pesquisa responsáveis pelo diagnóstico da ictiofauna sem as respectivas respostas das instituições, o IBAMA solicitou, caso estas não disponibilizem os dados brutos solicitados, que sejam feitas as análises entre as localidades e período de coleta e entre as localidades, apetrecho de pesca e período de coleta.

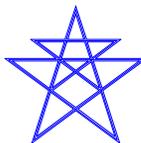
3.2.2. FURNAS entregou, na ocasião, cópia das correspondências DEA.E.E.050 e 052.2006, devidamente assinadas, haja vista que no TOMO E do EIA apresentado em 28/04/2006 não constava a aludida assinatura.

4. Comentários sobre o meio socioeconômico

4.1. Dinâmica da utilização das várzeas de vazante: o IBAMA informou que foram listadas as comunidades que exploram as várzeas e o que produzem, não tendo sido apresentado detalhamento da utilização das várzeas. No entanto, o programa sobre a perda dessas áreas foi considerado atendido. Ficou acordada a realização de reunião técnica específica sobre esse assunto, entre FURNAS/CNO e o IBAMA, no dia 12/07/2006, às 10h00, na sede do IBAMA.

4.2. O texto referente ao impacto da perda de áreas de lazer e turismo foi considerado não atendido, considerando que as áreas de lazer não foram mapeadas e que não foi apresentado programa específico sobre o assunto.

4.3. Tombamento da Estrada de Ferro Madeira-Mamoré (EFMM) em nível estadual:



4.3.1. O IBAMA comentou que a EFMM é tombada pela Constituição do Estado de Rondônia, cabendo um parecer estadual sobre a interferência dos empreendimentos em estudo na área tombada pelo estado.

5. Ficou acordado que a revisão das complementações do EIA/RIMA dos AHEs Santo Antônio e Jirau será consolidada no TOMO E do EIA, Revisão 1.

6. O IBAMA se prontificou em analisar o novo TOMO E do EIA num prazo entre 15 e 20 dias após o seu recebimento, com emissão do parecer final sobre o aceite dos estudos ambientais.

7. Sem mais a tratar, encerrou-se a reunião.

GA.E/KGM