

**MINISTÉRIO DO MEIOAMBIENTE  
IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE**

# **ANÁLISE DOS ESTUDOS AMBIENTAIS DOS EMPREENDIMENTOS DO RIO MADEIRA**

**Carlos E. M. Tucci<sup>1</sup>**

**Fevereiro/2007**

---

<sup>1</sup> Consultor contratado por meio de contrato PNUD para a análise dos EIA- Estudos Ambientais dos empreendimentos hidrelétricos do rio Madeira, dando suporte a avaliação em realização no IBAMA Instituto Brasileiro de Meio Ambiente.

# Sumário

1. ANTECEDENTES.....	3
2. CARACTERÍSTICAS DA BACIA E DOS EMPREENDIMENTOS.....	4
2.1 Bacia hidrográfica.....	4
2.2 Empreendimentos .....	5
2.2.1 Características .....	5
2.2.2 Condicionantes básicos .....	6
2.2.3 Aspectos relacionados com a análise .....	6
3. AVALIAÇÃO .....	7
3.1 Níveis previstos para os cenários.....	7
3.2 Aspectos hidrossedimentológicos dos empreendimentos.....	8
3.2.1 Dados hidrossedimentológicos .....	8
3.2.2 Prognóstico do assoreamento dos reservatórios .....	9
3.2.3 Estimativas dos condicionantes .....	11
3.3 Qualidade da Água.....	12
4. CONCLUSÕES.....	15

## 1. ANTECEDENTES

Os EIA – Estudo Ambiental e o RIMA Relatório de Meio Ambiente dos aproveitamentos hidrelétricos do rio Madeira desenvolvidos para Furnas e Odebrecht Engenharia e Construção pela Leme Engenharia foram encaminhados para solicitação da Licença de Prévia.

Após a análise do EIA enviado (volumes A a D) foram solicitadas complementações ao estudo pelo IBAMA. As empresas acima citadas apresentaram as complementações citadas no volume E (1 a 3). O Ministério Público de Rondônia solicitou aos consultores uma avaliação do EIA/RIMA<sup>2</sup>, que contribuiu com observação a avaliação dos referidos documentos.

Este relatório tem como objetivo a análise do referido EIA/RIMA e suas complementações bem como o relatório citado, com ênfase nos seguintes aspectos:

- Hidrológicos;
- Sedimentológicos;
- Assoreamento;
- Erosão; e
- qualidade da água.

Para analisar os aspectos acima relacionados de um sistema de aproveitamentos hidrelétricos são necessários considerar a bacia hidrográfica, suas fontes de água, sedimentos e qualidade e suas potenciais alterações ao longo do tempo, os condicionantes resultantes do lago formado pelos reservatórios e sua área de influência e a jusante e os efeitos potenciais em função dos reservatórios e sua operação.

Os documentos e tomos analisados do projeto, da mesma forma que os aspectos analisados estão em anexo e correspondem aos fornecidos pelo IBAMA no contexto do termo de referência preparado para esta análise.

A seguir são apresentadas as principais características dos empreendimentos e da bacia do rio Madeira, com a finalidade de sintetizar os elementos de base do meio físico para uma compreensão básica sobre a área, condicionantes estabelecidos pelo projeto e os elementos básicos no qual se concentrou a análise. No terceiro capítulo é apresentada a análise dos documentos quanto aos aspectos citados acima para os dois empreendimentos. No quarto capítulo são apresentados os comentários finais relacionadas com esta análise.

---

<sup>2</sup> Relatório de Análise do conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antonio e Jirau, no rio Madeira, Estado de Rodônia. Ministério Público-Rondônia

## 2. CARACTERÍSTICAS DA BACIA E DOS EMPREENDIMENTOS

### 2.1 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica do rio Madeira é uma sub-bacia do rio Amazonas pela margem direita, englobando na sua parte de montante território do Peru e Bolívia e a jusante do Brasil (figura 2.1). O rio nasce na Cordilheira dos Andes com cota máxima de 6.038 m e representa cerca de 15% da vazão do Amazonas e 23% da sua área. A precipitação média é de 1940 mm variando de valores inferiores a 1000 mm na cabeceira na Bolívia a 3.400 mm nos Andes Peruano. A vazão específica média é da ordem de 23,5 l.s<sup>-1</sup>.km<sup>-2</sup>, com período chuvoso de outubro a abril e de menor precipitação no restante do ano, retratando uma sazonalidade típica da Amazônia, Centro-Oeste e Sudeste Brasileiro.

Os principais formadores são os rios Madre de Dios, Beni e Mamoré e na estação de Porto Velho, limite de jusante dos empreendimentos em análise, a área da bacia é de 984 mil km<sup>2</sup>. Estes rios apresentam as maiores declividades, variando de cerca de 4.000 m em 500 km no rio Mamoré e 3.000 m em 100 km no rio Beni, com grande contribuição de cargas de sedimentos produzida pela ação da precipitação na erosão do solo. As cabeceiras destes dois rios são na Bolívia (figura 2.1). A área desta bacia na Bolívia representa cerca de 724 mil km<sup>2</sup>, cerca de 65,9% do seu território, envolvendo as regiões de Cochabamba e Santa Cruz, principais áreas de desenvolvimento econômico do país. A parcela da bacia do Peru representa a cabeceira do rio Madre de Dios nos Andes (figura 2.1).

Os solos predominantes são o Argissolo e Latossolo, enquanto que na cobertura da bacia a floresta e o cerrado cobrem a maior parte da bacia como pode ser observado pela combinação de tipo de solo e cobertura da figura 2.2.

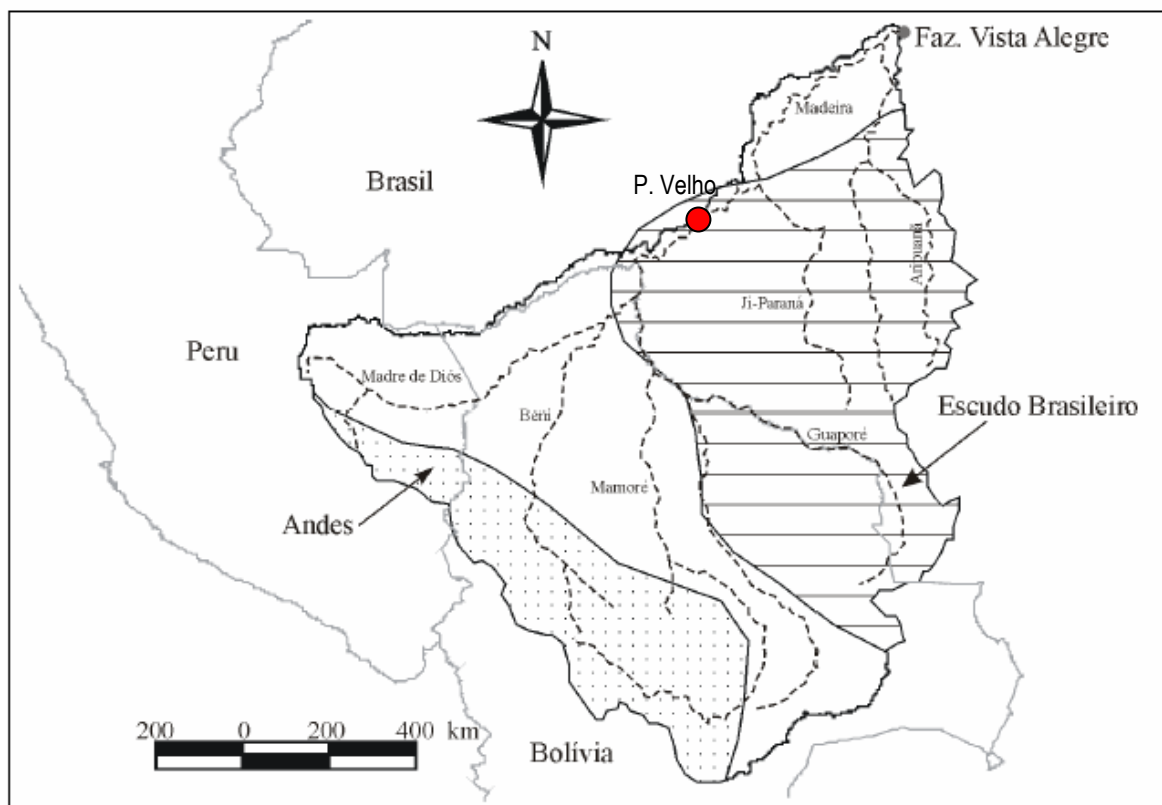


Figura 1 Localização do rio Madeira, divisas dos países e característica fisiográfica (Ribeiro Neto, 2006).

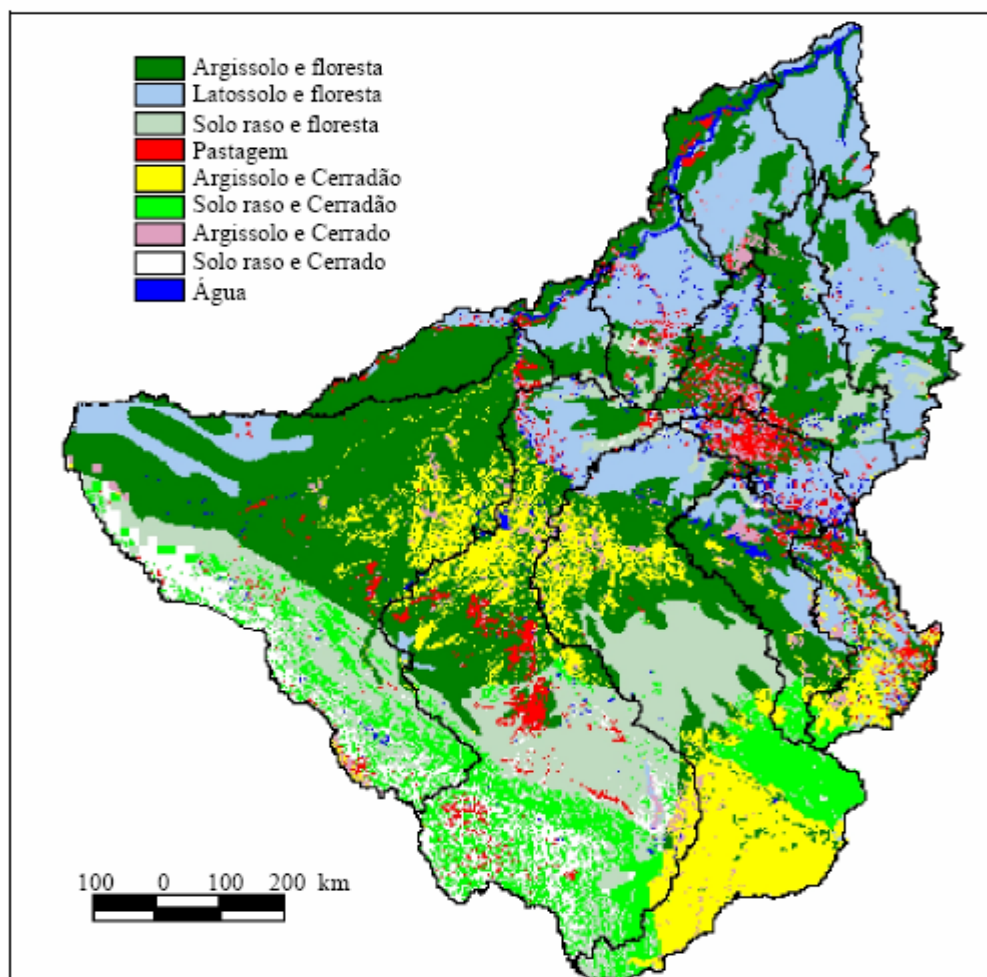


Figura 2.2 Combinação de tipo e uso do solo no rio Madeira (Ribeiro Neto, 2006).

## 2.2 Empreendimentos

### 2.2.1 Características

Os empreendimentos hidrelétricos propostos são denominados de Santo Antonio, localizado 10 km a montante de Porto Velho com capacidade instalada de 3.150 MW, com queda de 16 m e área de inundação de 271 km<sup>2</sup>. O empreendimento de Jirau localiza-se 130 km a montante de Santo Antonio, tem capacidade instalada de 3.300 MW, queda de 16,6 m e área de inundação de 258 km<sup>2</sup>. Os empreendimentos foram planejados com pequena queda e com regularização natural do rio, já que seu volume é insignificante frente a vazão de afluente. Para produção de energia serão utilizadas turbinas tipo “bulbo”, usadas para pequenas quedas, aproveitando apenas o fluxo disponível.

Os empreendimentos se caracterizam por alta energia firme, devido a regularização natural do rio, sem uso de regularização pelo reservatório, bom retorno econômico, pequena área inundada, com pequena relação área inundada por MW gerado pelo empreendimento.

## **2.2.2 Condicionantes básicos**

O projeto dos empreendimentos foi estabelecido considerando como condicionantes básicos o seguinte:

- limitar os níveis máximos dos reservatórios as cheias naturais do rio;
- não inundar territórios bolivianos, mantendo a área influência direta sobre território Brasileiro;
- manter a navegação no rio Madeira a montante dos empreendimentos.

O primeiro condicionante limita o funcionamento do reservatório a volumes pequenos, com baixo tempo de residência. Os níveis são elevados a velocidade reduzida com relação às condições naturais no período de estiagem, mas com limites superior preservando as condições naturais. Esta análise deve considerar os cenários de evolução do leito do reservatório e sua capacidade de escoamento ao longo do tempo.

O remanso provocado pelo reservatório pode influenciar os níveis no território boliviano, em função da vazão. Para evitar este cenário e para atender o segundo condicionante acima o projeto utiliza –se de uma curva – guia para operação na qual o remanso fora do território brasileiro é eliminado de acordo com a vazão proveniente de montante.

A manutenção das condições de navegabilidade à montante de Porto Velho depende da construção das eclusas, que é uma decisão de investimento prevista no projeto. Adicionalmente é necessário examinar se ao longo dos reservatórios e do canal de desvio para a eclusa, em cada empreendimento, terão o calado necessário para a manutenção da navegação atual e prevista o trecho. Estas condições podem se alterar em função dos processos de sedimentação, apesar dos níveis de água na estiagem serem superiores as condições naturais.

## **2.2.3 Aspectos relacionados com a análise**

Dentro do âmbito desta análise a construção dos empreendimentos afetam os seguintes elementos:

- alteração dos níveis e vazões ao longo do rio principal e dos afluentes direto ao lago no trecho dos reservatórios;
- Sedimentação do leito à montante e erosão a jusante dos reservatórios, com redução do volume do reservatório e impacto sobre o funcionamento dos dispositivos hidráulicos e alteração ao longo do tempo do sistema fluvial;
- Modificação da qualidade da água no rio principal e nos afluentes de contribuição direta aos lagos dos reservatórios.

Estes aspectos e sua interação com os condicionantes estabelecidos pelo projeto fazem parte da Análise dos documentos relacionados com o EIA-RIMA e relatórios subseqüentes sobre os projetos dos empreendimentos do rio Madeira.

### **3. AVALIAÇÃO**

A seguir são analisados os aspectos citados no item 2.2.3 entre os cenários atuais e futuros do rio Madeira no trecho de influência dos empreendimentos.

#### **3.1 Níveis previstos para os cenários**

No estudo de cálculo de remanso para estimativa dos níveis foi utilizado o modelo HEC-RAS que representa o escoamento uni-dimensional e pode simular a condição em regime permanente ou não-permanente. O modelo HEC-RAS foi utilizado em regime permanente, considerando determinadas vazões. Os principais comentários sobre os resultados são os seguintes:

- (a) O referido modelo (HEC-RAS) é apropriado para determinação nos níveis de água ao longo do rio Madeira no cenário com e sem o reservatório e produz resultados confiáveis em função dos dados alimentados;
- (b) A discretização do rio Madeira em seções pode produzir erros de estimativa em função do número de seções, como o relatório destacou. Estes erros são de dois tipos: (a) falta de representatividade do rio; (b) erros numéricos. O uso de espaçamento entre seções superiores a 5 km pode provocar erro numérico. Para evitar isto são utilizadas interpolações de seções que não contribuem para evitar o primeiro tipo de erro, mas evitam o segundo. Como o estudo foi realizado dentro do estudo de Viabilidade e o mesmo não faz parte dos documentos fornecidos, não foi possível verificar se isto foi analisado. Geralmente este tipo de erro é compensado no ajuste da rugosidade e de outras perdas de energia do modelo;
- (c) O ajuste das rugosidades e das perdas singulares de contração e expansão foi realizado com base nos níveis observados de duas vazões observadas. Num rio deste porte é natural que a rugosidade varie com a vazão, já que a mesma deve variar com a profundidade (que depende da vazão), principalmente para vazões na vizinhança dos valores de maior permanência, onde ficam os limites da vegetação ciliar. Com a construção do reservatório é também provável que a rugosidade aumente para níveis superiores aos valores onde o nível será mantido mais permanentemente devido ao crescimento da vegetação ciliar logo acima desta cota. No relatório examinado não existem elementos para analisar como a rugosidade foi estimada e seus valores. Em algumas seções observou-se diferenças importantes ( $> 0,30$  m). Não estão no relatório referidos os valores das rugosidades adotados para o prognóstico (cenário com a barragem). Estes valores podem variar em função dos novos condicionamentos de um reservatório e o crescimento da vegetação, como mencionado acima. O erro esperado depende das faixas de extrapolação utilizadas e a tendência de alteração da rugosidade com a profundidade;
- (d) Considerando que os níveis estimados sejam adequadamente estimados pela metodologia utilizada, observa-se que o mesmo não representará o cenário futuro devido a alteração das seções com a sedimentação, elevando mais os níveis nos trechos mais a montante dos reservatórios. Devido a isto, no processo de licenciamento foi solicitada complementação do estudo considerando as seções assoreadas. Este aspecto é discutido em item abaixo, depois da análise do assoreamento dos reservatórios;
- (e) Os estudos desenvolvidos no EIA e depois de complementações mostraram que para evitar que o reservatório de Jirau produzisse efeito fora do território brasileiro seria utilizada uma curva-guia durante a operação e um sistema de previsão em tempo real. A curva – guia modifica o

nível do reservatório em função da vazão afluente, evitando que o remanso ultrapasse o território brasileiro. O comportamento de um rio não é permanente como pressupõe o cálculo do remanso, mas a metodologia é uma aproximação adequada para esta estimativa. A previsão de vazão é utilizada para se antecipar a vazão afluente e modificar o nível com antecedência, atendendo a regra operacional. Neste caso, a previsão de operação pode ser realizada com muita antecedência e com precisão devido a lenta variabilidade temporal dos níveis de um rio deste porte. Esta previsão pode ser realizada com níveis observados e rede telemétrica, mas parte das estações terá que ser instalada em território boliviano;

- (f) A flutuação de níveis a jusante do empreendimento não foram examinadas, apesar dos empreendimentos funcionarem praticamente sem volume, no entanto considerando que Porto Velho se encontra logo a jusante do aproveitamento de Santo Antonio e ocorre navegação a jusante será recomendável, nas fases posteriores do licenciamento, que o efeito de flutuações de níveis que possam ocorrer em função da operação sejam examinadas quanto ao uso da água a jusante. Caso a operação não venha a produzir flutuações este cenário não será importante, mas existe sempre a situação de quando o vertedor passa a ser utilizado;
- (g) Na caracterização do projeto os efeitos de jusante dos empreendimentos não estão bem definidos, na medida que não foram descritos os potenciais efeitos sobre o trecho de jusante e sua proteção. Estes efeitos se refletem sobre: (a) variabilidade de níveis e velocidades (ver anterior); (b) quantidade de sedimentos; (c) erosão e sedimentação, ou seja mudança de leito e efeito sobre o uso do rio a jusante; (d) qualidade da água.

### **3.2 Aspectos hidrossedimentológicos dos empreendimentos**

Como foi destacado no EIA e nos vários estudos, um dos principais aspectos da avaliação dos empreendimentos do rio Madeira é o decorrente da quantidade de sedimentos naturalmente transportado pelo rio Madeira. O projeto dos dois empreendimentos no seu "lay-out" procurou priorizar condicionantes que minimizassem os impactos decorrentes da grande quantidade de sedimentos do rio por meio de reservatórios com volumes pequenos com relação ao volume do hidrograma de entrada, arranjos de escoamento de turbinas e vertedores que limpassem os sedimentos juntos aos paramentos e protegessem as turbinas de grandes volumes de sedimentos. A análise a seguir procura identificar os procedimentos utilizados para avaliar o comportamento do rio Madeira com a introdução dos reservatórios.

Para esta análise é necessário dispor de dados de vazão líquida e sólida dos rios e das características físicas dos sistemas em estudo. No item seguinte são analisados os aspectos identificados sobre os dados, a seguir os métodos utilizados na determinação do assoreamento dos reservatórios e os efeitos resultantes dos reservatórios à montante e a jusante.

#### **3.2.1 Dados hidrossedimentológicos**

Para analisar os condicionantes hidrossedimentológicos o projeto contou com dados hidrológicos (quantidade de água e de sedimentos) no rio principal. A série de observação de níveis que permitiu a geração dos dados hidrológicos em Porto Velho (série mais longa) iniciou em 1967 e o estudo extrapolou o restante da série para o período 1931 a 2001 (o último ano é atualizado



permanentemente) para efeito de estudos do setor elétrico que utiliza este período padrão. Nos relatórios não existe descrição de como a série foi estendida para o período anterior a 1967.

Os dados de sedimentos apresentam medidas desde 1978 em Porto Velho, que são aceitáveis para a realidade brasileira, somado de dados medidos ao longo da elaboração dos estudos (Furnas 2003 e 2004). Estes dados permitiram precisar melhor a quantidade de sedimentos nos locais interesses, já que na Amazônia existem informações gerais que nem sempre permitem caracterizar condicionantes específicos locais.

No EIA e na sua revisão foram apresentados valores medidos da série histórica e pertencentes a ANA (Agência Nacional de Águas) e recentemente medidos pela CPRM para Furnas. Observam-se algumas diferenças, principalmente no desvio padrão dos valores para a mesma faixa de vazão. Para valores até 20 mil m<sup>3</sup>/s os valores de FURNAS produzem menor desvio, enquanto que para valores maiores que o citado, os dados de Furnas apresentam maior desvio, principalmente devido a três valores. Observando as datas destes três valores, correspondem a um mesmo evento e poucos dias antes ou depois tiveram medidas com grande variação com relação a estas. Retirando estes três valores, o conjunto de poderia ter padrões semelhantes, na medida que os dados da ANA foram medidos durante 24 anos (período maior de amostragem e maior quantidade de dados) e os de Furnas durante apenas 2 anos (menor período e também menor quantidade de dados). A justificativa apresentada de que foi utilizada uma mesma metodologia para os dados de Furnas é aceitável já que procura uniformizar a informação, mas não se deve descartar a possibilidade de revisão futura destes estudos frente a novas informações.

Da mesma forma a análise da mudança de tendência de produção de sedimentos apresentada no EIA e na complementação (volume E, figura 3.20) pode ser uma questão de amostragem. O resultado apresentado na figura 3.21 é resultado do uso das equações da figura 3.20 e apenas destacam a diferença obtida destas equações. Este comentário tem a finalidade apenas de alertar que talvez não seja real o aumento de sedimentos após 1991. Somente maior quantidade de dados poderá tirar melhor estas dúvidas.

A extrapolação e determinação das séries para os locais dos aproveitamentos com base nos dados disponíveis foram apropriadas para um estudo desta natureza.

### **3.2.2 Prognóstico do assoreamento dos reservatórios**

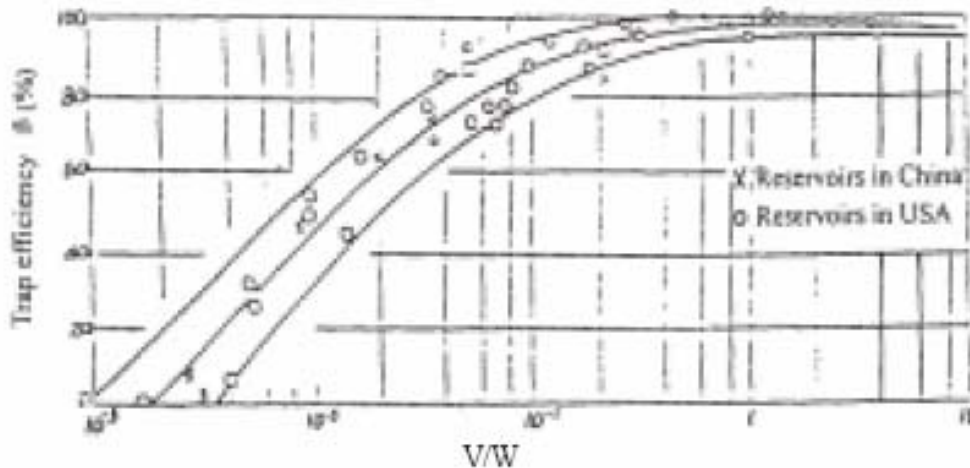
A metodologia utilizada para estimativa do assoreamento dos reservatórios do rio Madeira frente às condições do projeto se baseou em métodos empíricos e no modelo matemático unidimensional,HEC-6.

O método empírico utilizou o seguinte: método de redução de área de Borland e Miller, estimativa da eficiência de retenção de sedimentos nos reservatórios à partir da curva de Brune e o cálculo de peso específico dos depósitos pelo método de Lara e Pemberton (volume E).

O método de Borland e Miller se baseou em dados de 30 reservatórios nos Estados Unidos (Mahmood, 1987) e tem sido o método empírico mais aplicado para distribuição dos sedimentos em reservatórios (Campos, 2001) e Carvalho et al (2000).

A curva de Brune é o método mais utilizado para determinar quantidade de sedimento que fica retida no reservatório (grandes reservatórios) em função da razão entre o volume disponível no relatório e o volume de entrada ao reservatório foi determinada com base em 44 reservatórios americanos em bacias de 4 a 484 mil km<sup>2</sup> e valores de razão entre volume disponível e volume de entrada de 0,0016 a 4,65 (Mahmood, 1987). As funções geradas mostraram resultados adequados quando comparado com dados de reservatórios Chineses e Russos, como mostra a figura 3.1 do

manual da WMO (2003). Na faixa de valores dos reservatórios do rio Madeira o número de pontos é pequeno, mas os que existem se ajustam bem a curva média ou do limite inferior. Segundo o U S. Bureau of Reclamation (1977) apud Mahmood (1987) o método de Brune não deve ser utilizado para períodos inferiores a 10 anos. A curva média apresentada geralmente é considerada uma boa aproximação.



**Figura 3.1 Curva de Brune (WMO,2003)**

A segunda alternativa para analisar os processos sedimentológicos de erosão e sedimentação dos trechos à montante e a jusante dos reservatórios utilizou um modelo matemático de transporte de sedimentos denominado de HEC-6 (US Corps of Engineers, 1995). Este é um modelo unidimensional que representa as equações de escoamento em regime permanente. O modelo utiliza estágios de regimes de permanente para representar um hidrograma, ou seja, para cada vazão determina uma linha de água e considera cada estágio como um perfil permanente por um intervalo de tempo. Este não é um cenário real, já que o escoamento num rio não é permanente, mas são suficientes para análise do transporte de sedimentos. Este tipo de simplificação não é realizado para o escoamento de inundações.

Além da representação do escoamento são desenvolvidas as equações de transporte de massa para sedimentos e suspensão e para sedimentos em arraste. Para cada seção resultará em erosão ou sedimentação da seção. O modelo altera esta configuração da seção para simulações subsequentes. O modelo pode ser utilizado para simular vários anos e a variabilidade do leito.

Este tipo de modelo retrata os processos em uma dimensão, a longitudinal, portanto efetua simplificações quanto às variabilidades verticais e transversais do comportamento dos sedimentos na seção de um rio. Existem modelos bi-dimensionais e tri-dimensionais (Campos, 2001) que podem permitir melhor representação do sistema. No entanto, a prática do uso destes modelos não é ainda totalmente consolidada e muitos aspectos estão em desenvolvimento (WMO,2003).

O modelo HEC-6 foi aplicado com um número de seções limitadas para os trechos, com espaçamentos importantes, já destacados no item 3.1. No tipo de equação representada por este modelo (equação de transporte) a discretização ou o número de seções pode ser importante para o erro numérico, já que espaçamentos grandes (> 5 km) tendem a dissipar os valores.

As tabelas do volume E, 5.16, 5.18 e 5.20 que representam os cenários sem barragem, com Santo Antonio e com as duas barragens, respectivamente para o período de 0, 5, 10, 20 e 50 anos. Observa-se que a cota do talvegue em Porto Velho não se altera para qualquer resultado, da mesma

forma que outras seções a jusante. Isto significa que provavelmente o modelo foi simulado com seções fixas, portanto não retrata as erosões a jusante dos empreendimentos.

Observa-se também que os trechos simulados à montante de Abunã no caso sem barragem mostram grande variação do talvegue. Por exemplo, entre 0 anos e 5 anos a cota do talvegue passou de 38,98 para 48,55 m, o que indica sedimentação do fundo. Da mesma forma para o cenário com as duas barragens também ocorre sedimentação dos mesmos de 38,98 m para 44,89 m, o que seria estranho, já que no cenário sem barragem, a sedimentação na seção referida é maior do que com o cenário com existência do reservatório. No entanto, quando os cenários atingem 50 anos os resultados entre os cenários ficam coerentes entre si, com cota menor do talvegue para o cenário atual 53,11 m, 53,19 m com Sto Antonio e 55,92 m com as duas barragens. Parece que as simulações necessitam de um período longo para convergência numérica e os valores iniciais deveriam ser desconsiderados.

O relatório destaca a limitação dos resultados para os trechos à montante de Abunã e à jusante de Santo Antonio em função da limitação representação física destes trechos e destaca que os resultados mostram incoerência para representar os processos em Abunã. De qualquer forma são trechos importantes, já que o primeiro permite definir a influência dos empreendimentos fora do território brasileiro e o de jusante sobre o trecho que passa junto a Porto Velho.

A estimativa da distribuição dos sedimentos dentro do lago, seja pelo método empírico como pelos modelos apresenta grandes incertezas.

### **3.2.3 Estimativas dos condicionantes**

#### **Remanso e limite de influência fora do território brasileiro**

Considerando que a construção do reservatório deve se restringir ao território brasileiro, obedecendo aos condicionantes previstos pelos projetistas para o projeto e descritos no item 2.2.2 é necessário verificar como a sedimentação pode alterar o escoamento e as seções fora do território brasileiro, além do aumento da área de influencia com a sedimentação.

No item 3.1 acima foi analisado o cálculo de remanso realizado com base nas seções atuais, mostrando que o controle do efeito se dará por meio da operação e o uso de curva guia. O efeito da sedimentação do trecho represado deverá alterar o leito do rio, portanto as áreas determinadas deverão ser superiores as estimadas e a curva-guia não é válida. É possível esperar que a sedimentação deverá maior a montante, ou no trecho em que ocorra o maior gradiente de redução de velocidade. O IBAMA em análise do EIA solicitou complementações do estudo, indicando a necessidade de representar os futuros níveis dos reservatórios tendo em conta o assoreamento do reservatório. No volume E foram apresentados os resultados de simulação de alguns cenários de construção do reservatório utilizando o modelo HEC-6.

O modelo foi utilizado para determinação do remanso com a existência do reservatório para definição das áreas de inundação. O relatório indica que os resultados apresentados pelo modelo são apenas uma tendência e aplicam uma redução de 30% no volume de sedimentos acumulados no reservatório. Este valor foi justificado devido a tendência do modelo de assorear mais do que tem sido observado em Abunã. Estes resultados levam aos seguintes comentários:

- (a) As estimativas do modelo HEC-6 são imprecisas quanto a estimativa dos sedimentos acumulados no reservatório;
- (b) A redução de 30% parece arbitrária, pois foi justificada quanto ao sentido, mas não na magnitude. Parece que foi adotada para buscar uma resposta a pergunta do IBAMA quanto

ao efeito do assoreamento sobre os níveis e áreas de inundação, mas os resultados não possuem consistência;

- (c) O resultados obtidos, segundo o relatório, devem ser interpretados como uma tendência. O que não fica claro qual é esta tendência que o estudo deseja destacar;
- (d) Em resumo, os resultados das áreas alagadas e o efeito sobre os níveis com o reservatório sedimentado é ainda uma incógnita e deve ser mais bem determinado e perseguido pelos estudos futuros.
- (e) Tanto a sedimentação, como as retenções de sedimentos pelo reservatório, pode ser estimada, mas com razoável incerteza. O ajuste adequado se fará necessário com um monitoramento e revisão da curva guia e da sua operação em função da gestão dos sedimentos e alterações das influências para montante e jusante do empreendimento.

### **Limitar as áreas de inundação às cheias naturais**

Os resultados que verificam o condicionante de que os níveis máximos devem ser mantidos a condição natural foi examinada com base na metodologia de cálculo de remanso discutida nos itens acima. Inicialmente foi realizado com o leito atual do rio sem a sedimentação que ocorrerá com a entrada do reservatório. Nestas condições os resultados mostram que este condicionante é atendido.

Como foi mencionado no item anterior, o reservatório deverá ter suas seções alteradas em função da sedimentação dos reservatórios, alterando também os resultados acima. A magnitude desta alteração apresenta ainda incertezas em função dos elementos acima citados. No entanto é de se esperar que as alterações de seções devido ao assoreamento devem influenciar pouco nos níveis máximos de montante dos empreendimentos. Esta influência é maior para níveis e vazões menores.

### **Navegação**

De forma geral, com os reservatórios os níveis de navegação são alterados, aumentando e por conseguinte permitindo mais calado para navegação, portanto em tese estes condicionantes não seriam prejudiciais, bastaria a construção das eclusas para viabilizar a navegação. Especificamente deve –se observar os condicionantes quanto ao seguinte:

- (a) assoreamento do canal de navegação: modificação do canal de navegação e trechos na região de remanso que podem alterar seu leito para períodos de estiagens críticos, criando com a sedimentação mudança da permanência de calado;
- (b) sedimentação na entrada dos canais de aproximação das eclusas.

### **3.3 Qualidade da Água**

No estudo EIA a qualidade da água dos reservatórios foi realizada com o modelo QUAL-2E que analisa a qualidade da água considerando o regime de escoamento permanente. No caso foram utilizados os valores obtidos pelo modelo HEC-RAS. A qualidade da água é determinada pela solução da equação de Transporte para cada substância de qualidade da água considerando o escoamento

uni-dimensional longitudinal, ou seja a concentração é um valor médio por seção do escoamento, desconsidera a variabilidade transversal e vertical.

Na análise apresentada verificou-se que o reservatório não deve estratificar quanto a temperatura, o que é esperado em função do baixo tempo de residência. Além disso, reservatórios tropicais apresentam pequenos gradientes de temperatura, diferentes dos reservatórios de climas temperados. No entanto, existe estratificação da qualidade da água, ou seja de concentrações. A modificação da estratificação ocorre quando da entrada de hidrograma de cheia e/ou operação dos reservatórios.

O modelo Qual2E representa a concentração numa seção por um valor médio, mas apesar da profundidade do escoamento não ser significativa, deverá ocorrer estratificação da concentração na região próxima da barragem principal, reduzindo para montante. No "lay-out" o vertedor fica em cota inferior (42,0 m em Sto Antonio) e a entrada da água das turbinas em cota superior (63 m em Sto Antonio). Portanto, a água que é transportada para jusante pelas turbinas tende ser de melhor qualidade. No caso quando os vertedores forem abertos deverá ocorrer um transporte instantâneo de carga de fundo (lodo de sedimentos) para jusante. Observa-se no caso de Santo Antonio que a capacidade total das turbinas pode chegar a 24.684 m<sup>3</sup>/s com todas as turbinas funcionando. Vazões menores ou iguais a esta representam 70% do tempo. Portanto, a questão operacional entre abertura dos vertedores e entrada em operação das turbinas será importante para a gestão da qualidade da água e transporte do lodo de sedimentos para jusante. Do ponto de vista apenas energético o ideal é que todo o volume passe permanentemente pelas turbinas (que ocorreria 70% do tempo), no entanto isto poderia acarretar em qualidade da água para jusante e acúmulo de sedimentos quando o vertedor for aberto com baixa frequência. Neste sentido, será necessário que nas fases subseqüentes dos estudos seja utilizado um modelo que trate a qualidade da água no seu perfil, preferencialmente um modelo bi-dimensional de perfil, para permitir um planejamento da gestão ambiental da operação combinada das turbinas e dos vertedores tendo como meta a mitigação do impacto da qualidade da água para jusante das duas barragens. É bem verdade que existe a tendência de mistura a jusante entre o escoamento proveniente do vertedor e o das turbinas, que pode minimizar este impacto. O fato é que este aspecto não foi avaliado.

Na simulação do cenário do reservatório foram determinadas as cargas referente a inundação das matas e introduzidas no rio. A inundação da mata produz a degradação de matéria orgânica de galhos e folhas e lentamente de troncos, resultando numa demanda alta de oxigênio, entrada de nitrogênio e fósforo no sistema, criando condições para eutrofização do sistema hídrico. Este cenário ocorre naturalmente em menor escala durante o início do período chuvoso quando os rios da Amazônia trazem grande quantidade de matéria orgânica, gerando cargas instantâneas nos rios. Nas áreas de pequeno fluxo e alto tempo de residência o oxigênio diminui rapidamente gerando mortandade de peixes.

No relatório do EIA não foram apresentados os prognósticos da qualidade da água das áreas laterais que devem ficar represadas, aumentando o tempo de residência e, portanto com recuperação muito lenta da sua qualidade da água. Foi simulado apenas o rio principal. Isto motivou a complementação apresentada no volume E 2/3, onde estes elementos foram analisados.

Para determinar o funcionamento destas áreas laterais foram determinadas as vazões mensais de contribuição de cada sub-área. Como não existiam dados hidrológicos nas sub-bacias foi utilizada a vazão específica retirada da diferença de vazão entre os postos de Porto Velho e Abuná. Este tipo de estimativa pode gerar inconsistência devido a magnitude dos valores envolvidos, pois as vazões laterais ficam na faixa de erro dos valores do rio principal. Analisando os valores obtidos observou-se que os mesmos possuem coerência regional, já que a vazão específica média é de 29,3 l/(s.km<sup>2</sup>) ou 922 mm, ou seja com precipitação anual média entre 2200 a 2400 mm nesta área intermediária da bacia do rio Madeira, o coeficiente de escoamento fica entre 0,38 e 0,42. Portanto, dentro das

circunstâncias de informações a metodologia utilizada é consistente, no entanto para as etapas posteriores é recomendável que sejam implementados postos hidrológicos com medição de vazão e precipitação para melhor obter os valores destas sub-áreas.

A determinação da relação entre níveis e vazões na conexão entre estas áreas e o rio Madeira foram obtidas com base no remanso do escoamento com a barragem. Para o cenário atual são resultados confiáveis. Os mesmos podem se alterar em função de alteração do leito junto às confluências. Os resultados mostraram que em algumas áreas a qualidade da água não deve ficar ruim, mas em outras poderão gerar problemas devido a permanente ocupação com lâmina de água. Este cenário pode ser mais crítico que o estimado durante o início do período chuvoso, pois o escoamento superficial deve trazer uma carga adicional da bacia para dentro destas áreas, além da própria inundação da mata existente. As condições mais desfavoráveis deverão ocorrer no período de enchimento se o mesmo coincidir com o início do período chuvoso.

Para mitigar estes efeitos pode-se utilizar o monitoramento para acompanhara efetivamente os impactos e o potencial uso de regras operacionais para fazer com que ocorra uma renovação destes volumes em tempo menor, minimizando os impactos mencionados.

## 4. COMENTÁRIOS

A seguir são destacados os aspectos que não foram abordados na análise ou que de alguma forma estão pouco considerados e comentários síntese sobre o abordado neste relatório.

- 4.1 A bacia hidrográfica considerada na análise apenas trata do território nacional e não a bacia hidrográfica como um todo. A área de influência não se caracteriza tão somente sobre o efeito do projeto sobre a bacia, mas e, principalmente da bacia sobre o empreendimento.
- 4.2 Na análise dos processos hidrossedimentológicos no rio Madeira apresentado no EIA não se observou uma avaliação de conjunto da bacia hidrográfica caracterizando a tendência de alteração do uso do solo e variabilidade de climática de longo prazo na bacia e seus efeitos potenciais de alteração no comportamento hidrológico e na produção de sedimentos nos trechos de influência dos aproveitamentos;
- 4.3 Os métodos utilizados de estimativa do assoreamento do reservatório são os tradicionalmente utilizados para reservatórios. Observou-se que o modelo HEC-6 que estimou a distribuição de sedimentos e a alteração das seções ao longo do reservatório, apresentou resultados inconsistentes. Portanto, é recomendável para as etapas subseqüentes do licenciamento o aprimoramento da metodologia de avaliação, seja com o uso das mesmas ferramentas com mais dados e ajuste melhor do modelo a realidade com mais seções e conhecimento distribuído dos trechos, como pelo uso de modelos com duas ou três dimensões que retrate o sistema com mais precisão e permita uma melhor avaliação distribuída dos processos, considerando a importância deste fator no detalhamento do projeto.
- 4.4 A qualidade da água no eixo do reservatório foi simulada por um modelo do tipo unidimensional que despreza a variabilidade transversal e vertical, portanto todas as concentrações prognosticadas são médias da coluna de água. A tendência é de que a concentração de OD é melhor na cota superior e tendendo a zero nas cotas inferiores. Isto tem implicações para jusante dos empreendimentos quando da abertura de comportas dos vertedores que se encontram em cotas baixas, transportando sedimentos e água de menor qualidade. Estes valores podem ser diluídos pela água das turbinas que possui melhor qualidade e menor quantidade de sedimentos. Este aspecto não foi avaliado.
- 4.5 As áreas laterais ao reservatório deverão ter seu tempo de residência aumentado de forma significativa devido ao represamento produzido pelo rio principal, com a elevação dos níveis do rio Madeira. Neste sentido é de se esperar que a qualidade da água naturalmente deve se deteriorar, principalmente durante o início do período chuvoso.
- 4.6 A avaliação dos efeitos erosivos e de qualidade da água a jusante da barragem foram limitados. Mesmo considerando que os efeitos podem ser mínimos em função da grande renovação dos volumes e menor retenção de sedimentos do que o de um reservatório de grande volume, é necessário estimar com base em metodologia adequada estes valores dentro de uma visão preventiva;
- 4.7 Considerando que a magnitude dos empreendimentos hidrelétricos do rio Madeira, que envolvem investimentos superiores a R\$ 20 bilhões e um dos principais fatores de risco ambiental e funcionalidade operacional é a gestão dos sedimentos, onde existem importantes incertezas de estimativas, é recomendável que seja criado um painel de especialistas a nível mundial para que se tenha certeza que o melhor conhecimento existente esta sendo utilizado, além de dar maior independência quanto aos potenciais questionamentos internacionais sobre a

influência do empreendimento no território boliviano e aos impactos ambientais sobre uma importante região como a da bacia do rio Madeira dentro da Amazônia brasileira.



## Referências

- CAMPOS, R., 2001. Three – Dimensional reservoir Sedimentation Model. Thesis Department of Civil Engineering Faculty of Engineering University of Newcastle.
- CARVALHO, N; FILIZOLA JR., N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J. W. 2000. Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios. ANEEL PNUD OMM 140p.
- MAHMOOD, K., 1987 Reservoir Sedimentation: Impact, extend and Mitigation. World Bank Technical paper n. 71.
- RIBEIRO NETO, A., 2006 Simulação Hidrológica da Amazônia. Tese de Doutorado COPPE/ UFRJ 178p.
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 1995. HEC-6 Reservoir Sediment Control Applications. Janeiro de 1995.
- WMO, 2003. Manual on Sediment Management and Measurement Operational Hydrology report n. 47. WMO World Meteorological Organization.

## **Anexo:**

### **Documentos examinados**

Os documentos abaixo foram examinados considerando os itens de análise previstos pelo termo de referência. Os documentos são os seguintes:

1. EIA Estudo de Impacto Ambiental Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antonio e Jirau - rio Madeira-RO. **Tomo A volume 1/1** Metodologia, Instrumentos Legais e Caracterizações dos empreendimentos – Maio 2005. Furnas, Odebrecht, Leme.
2. EIA Estudo de Impacto Ambiental Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antonio e Jirau - rio Madeira-RO. **Tomo B volume 1/8** Área de Abrangência Regional e Área de Influência direta – Maio 2005. Furnas, Odebrecht, Leme
3. EIA Estudo de Impacto Ambiental Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antonio e Jirau - rio Madeira-RO. **Tomo B volume 2/8** Diagnóstico Ambiental da área de Influência direta: Meio Físico – Maio 2005. Furnas, Odebrecht, Leme.
4. EIA Estudo de Impacto Ambiental Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antonio e Jirau – rio Madeira-RO. **Tomo B volume 3/8** Diagnóstico Ambiental da área de influência direta: Meio Biótico Procedimentos Metodológicos, Uso do Solo e Cobertura Vegetal. Maio 2005. Furnas, Odebrecht, Leme.
5. EIA Estudo de Impacto Ambiental Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antonio e Jirau – rio Madeira-RO. **Tomo B volume 6/8** Diagnóstico Ambiental da área de influência direta: Meio Biótico Limnologia, Hidrogeoquímica, Estudos Sedimentológicos, Modelagem Matemática da Qualidade da Água e Unidades de Conservação. Maio 2005. Furnas, Odebrecht, Leme.
6. EIA Estudo de Impacto Ambiental Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antonio e Jirau – rio Madeira-RO. **Tomo B volume 7/8** Diagnóstico Ambiental da área de influência direta: Meio Biótico Anexos dos Estudos Sedimentológicos e Modelagem Matemática da Qualidade da Água e Unidades de Conservação. Maio 2005. Furnas, Odebrecht, Leme.
7. EIA Estudo de Impacto Ambiental Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antonio e Jirau – rio Madeira-RO. **Tomo C volume 1/1** Análise Integrada, Avaliação de Impactos, Prognósticos e Programas Ambientais – Maio 2005. Furnas, Odebrecht, Leme.
8. EIA Estudo de Impacto Ambiental Aproveitamentos Hidrelétricos Santo Antonio e Jirau – rio Madeira-RO. **Tomo E volume 1,2 e 3** Complementações e adequações as solicitações do IBAMA – Agosto 2006. Furnas, Odebrecht, Leme.
9. Relatório de Análise do Conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antonio e Jirau no rio Madeira, Estado de Rondônia. Parte A Rev 1. Relatório de Análise do EIA-RIMA dezembro de 2006. Ministério Público do Estado de Rondônia COBRAPE.
10. Relatório de Análise do Conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antonio e Jirau no rio Madeira, Estão de Rondônia. Parte B Rev 1. Pareceres técnicos dos especialistas setoriais Aspectos Físicos e Bióticos dezembro de 2006. Ministério Público do Estado de Rondônia COBRAPE. José Galizia Tundisi e Takako Matsumura-Tundisi.

11. El Megaproyecto Hidreléctrico y de navegación del río Madeira por Jorge Molina Campos.
12. Avaliação técnica do “Relatório de Análise do conteúdo dos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) dos Aproveitamentos Hidrelétricos de Santo Antonio e Jirau no rio Madeira, Estão de Rondônia” Dezembro 2006. Furnas, Odebrecht, Leme.
13. Estudos verdadeiramente confiáveis: 30 distorções produzidas pelas ONGs para atacar o EIA-RIMA do projeto Madeira, novembro de 2006. Furnas, Odebrecht, Leme.
14. Atendimentos aos ofícios encaminhados pela ANA sobre os aproveitamentos hidrelétricos do rio Madeira julho 2006 - . Furnas, Odebrecht, Leme.