

### **3.35. PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROSSEDIMENTOMÉTRICO E DE VAZÕES DOS TRIBUTÁRIOS**

#### **3.35.1. Introdução**

O Programa “Monitoramento das Vazões dos Tributários e Monitoramento Hidrossedimentológico”, parte integrante do PBA da UHE Estreito, objetiva monitorar o aporte de sedimentos ao reservatório, visando estimar a produção de sedimentos da área de contribuição, avaliar os efeitos de medidas de proteção contra erosão na bacia hidrográfica, determinar a distribuição de sedimentos no reservatório, prever a perspectiva de vida, ou período de operação útil do reservatório, e seus efeitos a jusante, e caso necessário, intensificar e ou fomentar novas medidas de proteção contra erosão na bacia hidrográfica. Neste escopo estão incluídas as praias situadas a jusante da UHE de Estreito e que são utilizadas pela população como áreas de lazer.

O Aproveitamento Hidrelétrico Estreito está localizado no rio Tocantins, à jusante da UHE Lajeado e do futuro AHE Tupirantins, a ser alcançado pelo remanso de 260 km de extensão do reservatório de Estreito. Portanto, a área de investigação a ser considerada compreende a bacia hidrográfica incremental de 42.630 km<sup>2</sup>, situada entre o eixo de Estreito e AHE Tupirantins, devendo ser monitorados o rio principal e seus afluentes mais significativos, tais como, os rios Manuel Alves Grande, Manuel Alves Pequeno e Farinha, em termos de volume de descargas líquidas e sólidas afluentes. A estação fluviométrica de Carolina operada pela ANA, que dispõe de séries observadas de níveis d’água e de vazões será desmobilizada com a implantação do reservatório.

Considera-se fundamental o acompanhamento integrado das condições hidrológicas, sedimentológicas, físicas, químicas e biológicas da água, durante todo o processo de implantação do empreendimento, e após a formação do lago, de maneira a se obter uma série histórica consistente, visando a proposição de medidas de controle e mitigação de possíveis impactos sobre o meio ambiente.

#### **3.35.2. Justificativa**

O presente programa incorporado ao Projeto Básico Ambiental de Estreito será objeto de consideração por toda a vida útil do empreendimento, uma vez que o conhecimento das condições hidrológicas e sedimentológicas do reservatório torna-se uma necessidade intrínseca à própria demanda operacional. Por outro lado, a Resolução da ANEEL número 396/98 determina as condições e exigências para efeito de monitoramento das condições físicas do recurso hídrico, objeto de concessão quanto à quantidade de estações, tendo como base a bacia incremental.

#### **3.35.3. Objetivos e Público-Alvo**

##### **Objetivos**

O presente programa tem por objetivo acompanhar as condições de deposição de sedimentos na área da UHE Estreito, cumprindo o atendimento às demandas do meio físico

do empreendimento. Neste particular, serão avaliadas as quantidades de sedimentos transportadas ao corpo do reservatório e seu comportamento sazonal.

No trecho de rio à jusante serão monitoradas as possíveis ocorrências de processos erosivos do leito e margens da calha de escoamento em particular as praias utilizadas como locais de recreação.

Tais procedimentos permitirão avaliar eventuais impactos que poderão ocorrer no sistema hídrico, possibilitando a adoção de ações corretivas.

As campanhas serão implementadas através de coleta de descargas líquidas e sólidas em pontos nos principais tributários afluentes além de dois pontos no curso principal, um a montante e fora da linha de remanso e outro a jusante do Aproveitamento de forma a possibilitar um controle rigoroso dos processos sedimentométricos.

À jusante do reservatório será instalado um ponto de controle de referência a partir do qual serão monitorados os processos erosivos do leito e margens do rio Tocantins, cuja evolução temporal será avaliada através da comparação de sucessivos levantamentos topobatimétricos de seções transversais.

Os elementos disponibilizados pelos levantamentos de campo deverão compor o elenco de informações necessárias à elaboração das análises e mais especificamente subsidiar as seguintes atividades:

- Acompanhar a evolução temporal e espacial do comportamento sedimentométrico de forma a compor uma série de informações temporais, capazes de resultar em análise da qualidade ambiental e prever a tendências destes processos;
- Criação de um banco de dados onde estarão reunidas todas as informações decorrentes das campanhas de campanha de campo, em nível suficiente para prever a necessidade de adoção de medidas mitigadoras;
- Elaborar análises relacionadas à descarga sólida em suspensão e de arraste de fundo;
- Elaborar estudos e prognósticos de modo a definir intervenções necessárias à mitigação dos impactos indesejáveis durante a operação do reservatório;
- Aferir as análises relacionadas ao estudo da vida útil do Empreendimento e
- Avaliar a magnitude de eventuais alterações da morfologia da calha de escoamento, através do monitoramento e acompanhamento do processo erosivo a jusante.

### **Público Alvo**

O programa de monitoramento sedimentométrico deverá beneficiar:

- A população, como um todo dos municípios situados à jusante e banhados pelo rio Tocantins, em particular no que se refere a preservação das praias que são utilizadas como local de lazer da comunidade;
- Ao IBAMA e a ANEEL, ao qual serão encaminhados os resultados do programa, em forma de relatórios semestrais de acompanhamento, proporcionando assim, um enriquecimento das informações e, conseqüentemente, maior conhecimento sobre a realidade regional associado a este tema específico e
- Ao Empreendedor, para o qual serão disponibilizadas informações importantes relativas ao assoreamento e vida útil do reservatório.

#### **3.35.4. Metas**

Implantação de **05 estações** hidrossedimentométricas, dois anos antes do enchimento do reservatório, sendo uma no eixo do rio principal a jusante da barragem de Estreito, uma a montante do remanso do reservatório (curso principal) e outras três respectivamente nos cursos tributários dos rios Manoel Alves Grande, Manoel Alves Pequeno e Farinha, de maior significância quanto a produção de descargas líquidas e sólidas.

Instalação de um ponto de controle a jusante, que será utilizado como referência no monitoramento de eventual ocorrência de processos erosivos.

#### **3.34.5. Descrição do Programa, Procedimentos Metodológicos e Atividades Previstas**

##### **3.34.5.1. Metodologia**

#### **Estabelecimento de Estações Fluviométricas e Medições de Descarga**

Preliminarmente serão definidos os locais de instalação das estações fluviométricas, onde através de uma inspeção de campo serão verificados os condicionantes locais quanto a representatividade e a qualidade das informações monitoradas;

#### **Medição da Descarga Líquida**

1. Instalação de 5 réguas limnimétricas em alumínio, compostas de 15 lances de escalas de 1,00 m, aparafusadas em estacas suporte de madeira de lei, solidamente estaiadas, e niveladas entre si, e amarradas altimetricamente a duas referências de nível;
2. Implantação de 2 (duas) referências de nível em concreto, encimadas com chapa de bronze, de formato tronco piramidal, medindo 0,30 m na base e 0,20 m no topo, com 0,40 m de altura, que deverão ser chumbadas no campo num lastro de concreto formando uma base quadrada de 0,50 X 0,50 m, e com altura de 0,20 m, devendo a RN aflorar 0,20 m sobre a base quadrada;

3. Implantação de marcos PI-PF indicativos do início e fim da seção de medição (PI sempre na margem esquerda do rio);
4. Levantamento planialtimétrico da seção no alinhamento dos marcos PI-PF, estendendo o levantamento até a cota 10,00 m acima do nível do terreno onde estão implantados os marcos PI-PF;
5. Implantação de marcos MLST - MD/ME (marco limite da seção transversal – margem direita/margem esquerda), em concreto, encimados por pino de bronze, medindo 0,10 m de lado por 0,50 m de comprimento, chumbados no campo num lastro de concreto, devendo aflorar no terreno 0,20 m;
6. Determinação dos parâmetros geométricos da seção transversal de medição a cada 0,10 m, a partir do zero da régua até o MLST. Os parâmetros são: cota, largura, profundidade média, raio hidráulico, perímetro;
7. Realização de observações limnimétricas diárias em cada estação segundo a norma da ANEEL (07:00 e 17:00 horas), com a contratação e treinamento de observadores.
8. Considerando-se como data de início das observações, dois anos antes do enchimento do reservatório, realizar a cada dois meses, até 2 (duas) medições de descargas líquidas, com variação de pelo menos 20 cm do nível da água na seção de réguas, obedecendo o seguinte procedimento:
  - a) Nas medições de descargas líquidas, deverá ser empregado molinete hidrométrico de eixo horizontal, acoplado a lastros de 20, 30 ou 50 quilos, de acordo com a velocidade da água, e suspensos por guincho hidrométrico com cabo coaxial conectado à caixa contadora automática;
  - b) As medições de descarga líquida deverão ser realizadas pelo processo detalhado de acordo com a tabela seguinte.

**Tabela para Posicionamento do Molinete**

PROFUNDIDADE – P	POSIÇÃO
De 0,15 m a 0,60 m	0,6P
De 0,60 m a 1,20 m	0,2P – 0,8P
De 1,20 m a 2,00 m	0,2P – 0,6P – 0,8P
De 2,00 m a 4,00 m	0,2P – 0,4P – 0,6P – 0,8P
Acima de 4,00 m	S-0,2P – 0,4P – 0,6P – 0,8P-F

c) Quando houver arrastamento do cabo, deverá ser adotada a correção, conforme a tabela seguinte:

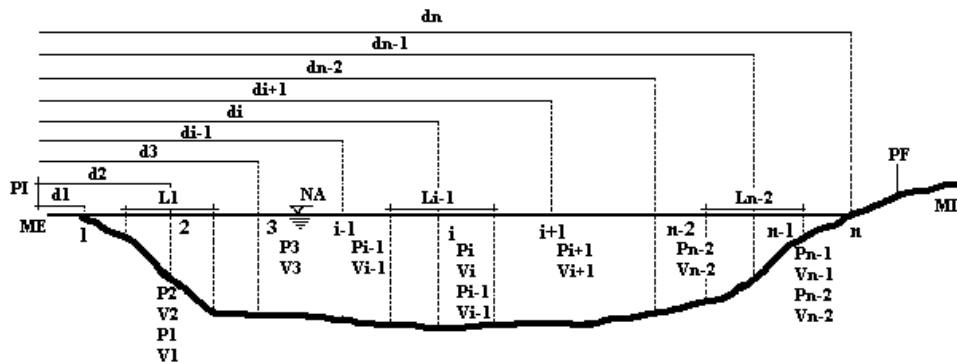
J	(1-K)	W	J	(1-K)	W	J	(1-K)	W
4	0,9994	0,1	22	0,9752	0,2	40	0,9128	0,5
5	0,9989	0,1	23	0,9730	0,2	41	0,9081	0,5
6	0,9984	0,1	24	0,9704	0,2	42	0,9034	0,6
7	0,9976	0,1	25	0,9677	0,2	43	0,8985	0,6
8	0,9968	0,1	26	0,9650	0,2	44	0,8934	0,6
9	0,9959	0,1	27	0,9621	0,2	45	0,8883	0,7
10	0,9950	0,1	28	0,9592	0,2	46	0,8830	0,7
11	0,9939	0,1	29	0,9560	0,3	47	0,8775	0,7
12	0,9928	0,1	30	0,9528	0,3	48	0,8730	0,8
13	0,9915	0,1	31	0,9492	0,3	49	0,8663	0,8
14	0,9902	0,1	32	0,9456	0,3	50	0,8605	0,9
15	0,9887	0,1	33	0,9418	0,3	51	0,8546	0,9
16	0,9872	0,1	34	0,9380	0,4	52	0,8485	1,0
17	0,9854	0,1	35	0,9341	0,4	53	0,8423	1,0
18	0,9836	0,1	36	0,9302	0,4	54	0,8360	1,1
19	0,9816	0,1	37	0,9260	0,4	55	0,8295	1,1
20	0,9796	0,1	38	0,9217	0,4	56	0,8220	1,2
21	0,9774	0,2	39	0,9173	0,5	57	0,8152	1,2

$$P_{(cor)} = P_{(med)} - (1-K) - W$$

- d) O espaçamento entre as verticais de medição deverá ser seguido de acordo com o critério estabelecido pela ANEEL, conforme a tabela seguinte:

LARGURA COM VELOCIDADE (m)		ESPAÇAMENTO ENTRE VERTICAIS (m)	LARGURA COM VELOCIDADE (m)		ESPAÇAMENTO ENTRE VERTICAIS (m)
de	a		de	a	
0	2	0,10	60	80	3,00
2	5	0,15	80	100	3,50
5	10	0,20	100	125	4,50
10	20	0,50	125	150	5,00
20	30	1,00	150	175	6,50
30	40	1,50	175	200	8,00
40	60	2,00	200	250	9,00

- e) As observações de velocidade em cada posição deverão ser feitas num tempo mínimo de 50 segundos, considerando-se “velocidade nula” quando o intervalo entre dois toques do conta-giros exceder a 60 (sessenta) segundos;
- f) O ponto de origem para as verticais deverá ser sempre PI (ponto inicial da seção instalado na margem esquerda);
- g) No cálculo da descarga líquida, deverá ser adotado o método da meia-seção, sendo a descarga calculada para cada seção transversal, na posição X, como a seguir:



onde:

$$P_i = P_{i+1}$$

$$L_i = ((d_{i+2}) - d_i)/2$$

$$A_i = L_i \times P_i$$

$$Q_i = A_i \times V_i$$

$$V_i = V_{i-1}$$

$$q_x = V_x [(d_x - d_{x-1})/2 + (d_{x+1} - d_x)/2] p_x = V_x [d_{x+1} - d_{x-1}]/2 p_x$$

onde:

- qx = descarga através da seção parcial x;
- Vx = velocidade média da vertical x;
- dx = distância do ponto inicial à velocidade x;
- d(x-1) = distância do ponto inicial à vertical precedente;
- d(x+1) = distância do ponto inicial à próxima vertical;
- px = profundidade da água na vertical x.

A soma das descargas para todas as seções parciais é a descarga total.

### Medições de Descarga Sólida:

- a) As medições de descarga sólida deverão ser realizadas exclusivamente pelo método de integração vertical, considerando o de melhor precisão;
- b) Deverão ser empregados amostradores de sedimento em suspensão da série US-DH-59, US-D49 e MAS-8, com bicos calibrados de 1/4", 3/16" e 1/8";
- c) Deverá ser usado bico apropriado de acordo com a velocidade de trânsito, devendo-se seguir a indicação da vazão entre a velocidade de trânsito e a velocidade média da corrente na vertical, que é obtida através da medição de vazão feita antes da amostra, conforme indicação a seguir;

- d) Nas seções de medição onde ocorrer profundidades maiores que 5,0 m, as verticais deverão ser amostradas com o amostrador de saca;
- e) O método de amostragem a ser utilizado deverá ser o método EWI, que requer um volume de amostra proporcional à vazão em cada uma das várias verticais espaçadas igualmente ao longo da seção transversal;
- f) O volume de água coletado deverá ser proporcional à vazão na vertical, não devendo jamais ultrapassar a 400 cm<sup>3</sup> de volume;
- g) O número de verticais de amostragem deverá ser entre 10 e 20, conforme as normas da OMM, para permitir boa precisão média na determinação da concentração;
- h) As amostras individuais deverão ser agrupadas em uma única amostra para obtenção da concentração média de sedimento em suspensão na seção, sendo isto feito em laboratório;
- i) Nas mesmas posições das verticais de amostragem de sedimento (posições de igual incremento de largura), deverão ser efetuadas amostragens do sedimento do leito.
- j) Deverá ser empregado amostrador tipo caçamba de escavação US-BMH-60;
- k) As diversas subamostras devem ter aproximadamente a mesma quantidade de material numa mesma medição, devendo ser combinadas em laboratório para se constituírem em uma amostra composta para permitir uma só análise pelo processo de peneiramento;
- l) No campo, cada subamostra deverá ser colocada em saco plástico para não haver perda dos finos com o escoamento da água;
- m) As amostras coletadas para a obtenção do valor da descarga sólida deverão ser enviadas ao laboratório para análise, sendo que:
  - 1 – As amostras de sedimento do leito (material de fundo) deverão ter análise granulométrica por processo de peneiramento;
  - 2 – As amostras de sedimento em suspensão deverão ter determinação da sua concentração;
- n) A determinação da concentração de sedimento na amostra (ppm) deverá ser feita por filtração em filtros de papel de pesos conhecidos, não sendo permitida a bipartição da amostra.

As medições de descargas líquidas e sólidas serão realizadas de forma simultânea de forma a integrar ambas as informações.



### 3.35.5.2. Levantamentos Preliminares

Estabelecimento de uma rede básica de monitoramento hidrossedimentológico (estações de medições de descarga líquida e sólida), apresentando relatório descritivo e mapa do reservatório/bacia, com a indicação dos locais onde serão instaladas as estações, que deverão estar georreferenciadas em coordenadas UTM.

### 3.35.5.3. Implantação e Operação da Rede

- 1ª Fase - Após a definição e aprovação dos pontos da nova rede de estações, juntamente com a seleção e relocação das existentes, se dará início ao processo de instalação das mesmas. A implantação das estações deverão ser precedidas por uma inspeção de campo, onde serão verificadas "In Loco" as condições adequadas para a sua instalação, devendo reunir as condições técnicas de representatividade e qualidade das medições e acesso a estação.
- 2ª Fase - Operação da rede de estações com o início do processo de coleta de dados a partir de dois anos antes do enchimento do reservatório, devendo ser realizadas até duas medições de descarga sólida mensais, privilegiando, principalmente, o período úmido. Entretanto, medição extra poderá ser feita quando da ocorrência de altas vazões.

É sugerida uma medição por mês durante 6 meses do período úmido, e a cada dois meses no período seco. A fim de garantir a integridade dos dados deverão ser realizadas manutenções periódicas das estações a cada 6 meses.

### 3.35.5.4. Desenvolvimento das Principais Atividades

- Implantação das 5 estações fluviométricas previstas na bacia afluente e a jusante, fora da área de influência do reservatório, nos principais afluentes, de forma a permitir a caracterização do regime hidrológico das vazões afluentes ao aproveitamento, provenientes da bacia de contribuição lateral incremental, com observa;
- Análise das séries históricas de descarga de forma a detectar as alterações do regime hidrológico das vazões no local do aproveitamento. Dessa forma, haverá um monitoramento contínuo das vazões afluentes e efluentes; com observações iniciadas dois anos antes do enchimento;
- Medições e cálculo da descarga líquida e definição da curva-chave de cada estação;
- Medições e cálculos do transporte de sedimentos em suspensão e de arraste e definição da curva-chave de descarga sólida. As coletas de amostras de sedimentos de fundo deverão ter início dois anos antes do enchimento do reservatório e ter uma periodicidade anual;

- Coleta de material sólido de fundo e caracterização granulométricas das amostras que subsidiarão os cálculos de descargas sólidas. Os cálculos das descargas sólidas totais, deverão ser feitos pelo método de Colby Simplificado, podendo ser realizado por outros métodos que aumentem a confiabilidade nos resultados, desde que as hipóteses de cálculos sejam similares às condições locais.
- Controle temporal do processo de erosão a jusante, através da comparação seqüencial dos levantamentos topobatimétricos de seções transversais, tendo por base a seção de medição de referência a ser instalada a jusante do Aproveitamento de Estreito. Os levantamentos deverão ter início antes do enchimento do reservatório e serem realizadas com periodicidade semestral.
- Os resultados alcançados deverão interagir com as atividades dos demais projetos do Projeto Básico Ambiental, visando uma otimização do desenvolvimento integrado das campanhas de campo associadas aos respectivos estudos.

### 3.35.6. Produtos

- Mapa em meio digital com as localizações georreferenciadas da rede de monitoramento das estações hidrossedimentométricas, juntamente com relatório do levantamento preliminar;
- Ao final da implantação das estações, será apresentado um relatório contendo:
  - \* Ficha descritiva das estações fluviométricas (croquis, fotos, descrição do sítio);
  - \* Mapa da área do reservatório/bacia com o posicionamento final das estações existentes e daquelas relocadas.
- Os resultados obtidos das medições de descargas líquidas e sólidas realizadas em todas as estações, em conjunto com os demais dados do monitoramento, formarão relatórios consolidados mensais, contendo os dados brutos, a análise dos resultados, discussão e conclusões.
- Ao final da implantação das estações, deve ser apresentado um relatório contendo:
  - \* Fotografias das áreas de implantação das estações hidrossedimentológicas e as respectivas Fichas Descritivas.
  - \* Mapa da área do reservatório com o posicionamento final das seções levantadas.
  - \* Tabela contendo a relação das RRNN implantadas e suas referências planimétricas e altimétricas;

- \* Tabela contendo a distância entre os marcos PI/PF para cada seção.

Os resultados obtidos das medições realizadas em todas as estações hidrossedimentológicas em conjunto formarão relatórios consolidados semestrais, contendo os dados brutos, a análise dos resultados, discussão e conclusão, e que serão enviados ao IBAMA e a ANEEL.

Após a realização de cada campanha, e para cada estação sedimentométrica implantada, serão processados os dados de campo, sendo fornecidos os seguintes resultados:

- Cálculo de medição de descarga líquida;
- Cálculo de descarga sólida em suspensão em amostragem vertical por integração pelo método EWI;
- Cálculo da descarga sólida do material do leito;
- Cálculo da descarga sólida total pelo método simplificado de Colby, ou por outros métodos que aumentem a confiabilidade dos resultados;
- Após a realização de um número expressivo de medições de descarga sólida, serão determinadas as curvas-chave de sedimentos para cada estação. Mesmo procedimento será praticado para a definição da curva-chave de descarga líquida;
- Todos os resultados serão apresentados em relatórios semestrais.

### **3.35.7. Indicadores Ambientais**

- Avaliação sazonal do aporte de sedimentos e de vazões;
- Avaliação das seções de controle de vazão e de medição de descarga sólida para fins de mensurar a evolução temporal da morfologia fluvial e
- A Taxa de decaimento do transporte de sedimento a jusante, após a formação do reservatório.

### **3.35.8. Inter-Relação com outros Programas Ambientais**

O Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico está inter-relacionado com os seguintes programas do PBA:

- Programa de Monitoramento e Gerenciamento Ambiental;
- Programa de Monitoramento Climatológico;

- Programa de Monitoramento de Pontos Propensos a Instabilização de Encostas e Taludes Marginais;
- Programa de Monitoramento Hidrogeológico;
- Programa de Monitoramento da Qualidade das Águas;
- Programa de Comunicação Social e de Apoio à População Migrante
- Programa de Educação Ambiental à População Rural e Urbana.

### **3.35.9. Atendimento a Requisitos Legais**

Esse programa atende diretamente o disposto na Resolução da ANEEL Nº 396/1998, que disciplina as condições de medição de vazão e sedimentos em reservatórios artificiais referenciados à área incremental da bacia de drenagem.

### **3.35.10. Responsável pela Execução do Programa e Parceiros Institucionais Potenciais**

O empreendedor será o responsável pela implantação e cumprimento do Programa de Monitoramento Hidrossedimentométrico. Para a execução das instalações dos equipamentos, desenvolvimento dos trabalhos e levantamentos de campo, poderão ser contratadas empresas especializadas ou instituições de pesquisa nessa área específica, sob fiscalização e responsabilidade do empreendedor.

### **3.35.11. Recursos Humanos, Materiais e Financeiros**

Para a implementação das atividades previstas neste tema, são necessários os seguintes recursos humanos:

- Um engenheiro hidrólogo responsável pelo planejamento e coordenação das atividades de campo, e que incluem a implantação das estações sedimentométricas, análise dos resultados das campanhas de levantamento de campo e emissão dos respectivos relatórios de acompanhamento.
- Um técnico hidrometrista experiente que coordenará e participará de todas as atividades de campo, e que incluem a implantação das estações de monitoramento sedimentométrico, levantamentos topobatimétricos de seções transversais, desenvolvimento das campanhas de coleta e amostragens de campo.
- Dois ajudantes que auxiliarão nas atividades de campo, sendo um capacitado para pilotar o barco a ser utilizado no desenvolvimento dos levantamentos topobatimétricos de seções transversais e medições das descargas sólidas e líquidas.

- Leituristas das réguas limnimétricas a serem contratados, de preferência, próximo aos locais das estações.

Os equipamentos e materiais necessários para a implementação dos trabalhos compreendem:

- Barco, que poderá ser alugado próximo ao local das amostragens;
- Cabos e equipamentos destinados à fixação e estacionamento do barco ao longo da seção do rio, necessários ao levantamento das descargas líquidas sólidas;
- Réguas limnimétricas;
- Um ecobatímetro;
- Um molinete hidrométrico de eixo horizontal;
- Um equipamento de posicionamento global GPS;
- Equipamentos de topografia, tais como: estação total, miras, trena, etc.

A estimativa preliminar dos custos para execução deste programa é de R\$ 500.000,00,00 (quinhentos mil reais). O cronograma de desembolso financeiro previsto é apresentado no capítulo 4 deste PBA.

### 3.35.12. Responsável pela Elaboração do Programa

CNEC Engenharia

Eng. Civil Humberto Jacobsen Teixeira

CREA 37639/D

IBAMA 314913

### 3.35.13. Bibliografia

- CNEC Engenharia, 2004, Estudos Complementares ao *EIA-RIMA da UHE Estreito*, São Paulo.
- CNEC Engenharia S. A., 2002, Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA da Usina Hidrelétrica de Estreito. São Paulo.
- Hidrossedimentologia prática do engenheiro Newton de Oliveira Carvalho – Eletrobrás e CPRM
- DNAEE. Normas e Recomendações Hidrológicas - Sedimentometria

**3.35.14. Cronograma Físico**

O cronograma físico para execução do programa é apresentado a seguir.