

UHE SANTO ANTÔNIO



MODELAGEM MATEMÁTICA DO COMPORTAMENTO SEDIMENTOLÓGICO DO RIO MADEIRA E DO FUTURO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTONIO

RELATÓRIO DE ANDAMENTO – RA 08

PJ0696-Z-H41-GR-RL-106-0A

SETEMBRO/2009

UHE SANTO ANTÔNIO

MODELAGEM MATEMÁTICA DO COMPORTAMENTO SEDIMENTOLÓGICO DO RIO MADEIRA E DO FUTURO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTONIO

RELATÓRIO DE ANDAMENTO – RA 08

PJ0696-Z-H41-GR-RL-106-0A

SETEMBRO/2009

| | | | | | |
|------|------------|-----------------|---------|-------|--------|
| | | | | | |
| 0 | 02/10/2009 | EMISSÃO INICIAL | MAS/FBM | EFM | JCS |
| REV. | DATA | DESCRIÇÃO | ELAB. | VISTO | APROV. |

| <i>Item</i> | <i>Assunto</i> | ÍNDICE | <i>Página</i> |
|-------------|---|---------------|---------------|
| 1. | INTRODUÇÃO | | 03 |
| 2. | ANDAMENTO DOS SERVIÇOS | | 06 |
| 2.1. | MODELO UNIDIMENSIONAL NO TRECHO DO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO | | 07 |
| 2.1.1. | <u>Modelo de Montante</u> | | 07 |
| 2.1.2. | <u>Modelo do Reservatório de Santo Antonio</u> | | 08 |
| 2.2. | MODELO UNIDIMENSIONAL NO TRECHO DE JUSANTE | | 11 |
| 2.3. | MODELO BIDIMENSIONAL NO TRECHO JUNTO À BARRAGEM | | 11 |
| 2.3.1. | <u>Seleção e Aquisição dos Modelos</u> | | 11 |
| 2.3.2. | <u>Geração Inicial da Malha do Modelo de Jusante</u> | | 12 |
| 2.3.3. | <u>Definição dos Cenários a modelar</u> | | 14 |
| 2.3.4. | <u>Incorporação da Batimetria aos Modelos de Montante e Jusante</u> | | 14 |

1. INTRODUÇÃO

**Modelagem Matemática do Comportamento Sedimentológico
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio**

Conforme citado no Programa de Levantamentos e Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio, parte integrante do Projeto Básico Ambiental, a ampliação da base de dados hidrossedimentológicos obtida com a continuidade das campanhas hidrométricas realizadas após o EVTE e o EIA, determina uma revisão ampla dos Estudos Hidrossedimentológicos então realizados. Esta revisão se aplica fundamentalmente sobre a determinação e estabelecimento da curva de descarga líquida e curva de descarga sólida, além da distribuição granulométrica dos sedimentos nas principais estações fluviométricas do trecho em estudo.

Dessa forma, a nova análise deverá conter, entre outros:

- Modelagem matemática uni-dimensional do transporte de sedimentos do rio Madeira em condições atuais e com reservatório através da aplicação do modelo HEC-6, incluindo o trecho a jusante do aproveitamento, avaliando a evolução temporal das condições de assoreamento do reservatório e de erosão a jusante;
- Modelagem matemática bi-dimensional do transporte de sedimento do rio Madeira que deverá se restringir às regiões próximas ao barramento da UHE Santo Antônio (5 km a montante e 9 km a jusante), onde as maiores profundidades e o alargamento proporcionado pela barragem, a montante, e os efeitos das estruturas de descargas, a jusante, têm influências significativas sobre o comportamento sedimentológico.

Esses estudos, propostos no relatório Modelagem Matemática do Comportamento Sedimentológico do Rio Madeira e dos Futuros Reservatórios, de janeiro de 2008, têm por objetivos:

- Aprofundar o conhecimento sobre o comportamento sedimentológico do rio Madeira nas condições atuais, anteriores à construção do aproveitamento de Santo Antônio, considerando todas as informações disponíveis até o presente;
- Prognosticar a evolução do comportamento do rio Madeira ao longo de todo o estirão afetado pela implantação do reservatório, ampliando a base de dados disponível e empregando as melhores técnicas de modelagem existentes e compatíveis com essa base;
- Detalhar o prognóstico do comportamento hidrossedimentológico das porções do reservatório próximas à barragem da UHE Santo Antônio, com auxílio de modelos bidimensionais;
- Deixar implantada ferramenta de análise sedimentológica (modelo unidimensional) que permita o acompanhamento dos processos prognosticados, após a entrada em operação do aproveitamento.

Em julho de 2008, foi emitido o Relatório de Andamento – RA 1 - PJ0696-B-R00-ZZ-RL-001-0, com a descrição dos serviços de modelagem matemática do comportamento sedimentológico do rio Madeira e do futuro reservatório da UHE Santo Antônio realizados até então. Considerando que o Contrato de Prestação de Serviços para a realização desses trabalhos foi celebrado entre Santo Antônio Energia S.A. – SAESA e PCE – Projetos e Consultorias de Engenharia Ltda, em 15 de janeiro de 2009 e teve o início

***Modelagem Matemática do Comportamento Sedimentológico
do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio***

efetivo dos trabalhos em 15 de fevereiro, o relatório RA 02, de março de 2009, apresentou o andamento dos serviços realizados no período de julho de 2008 a 15 de março de 2009. A partir de então, os demais Relatórios de Andamento vem sendo emitidos mensalmente, sempre contendo as atividades desenvolvidas entre os dias 16 do mês anterior e 15 do mês subsequente.

Este relatório, o RA 08, apresenta os serviços realizados no período de 16 de agosto a 15 de setembro de 2009.

2. ANDAMENTO DOS SERVIÇOS

O trabalho realizado no período de 16 de agosto a 15 de setembro de 2009 contemplou diversas atividades previstas no cronograma, e o estado atual de cada uma é descrito a seguir.

2.1 MODELO UNIDIMENSIONAL NO TRECHO DO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO

A implantação final do modelo foi concluída em duas das três frentes de trabalho: para o trecho a jusante da barragem e para o trecho do reservatório. A implantação para o trecho a montante da barragem do AHE Jirau foi interrompida ao final da calibragem inicial, pois encontram-se em andamento tratativas para obtenção de dados topobatimétricos recentes produzidos no âmbito do Projeto Executivo do AHE Jirau.

As atividades de modelagem unidimensional fugiram um pouco do estabelecido no cronograma devido à necessidade de se apresentar resultados definitivos de remanso para o reservatório. Esta atividade ocupou grande parte da força de trabalho do período 16 de agosto a 15 de setembro.

Devido à importância das definições dos níveis d'água do futuro reservatório e às implicações desses níveis na interface com o projeto da UHE Jirau, diversos aprimoramentos foram introduzidos no modelo de remanso que havia sido calibrado nas etapas anteriores do Projeto.

O resultado desse trabalho foi uma minuta de relatório de remanso do reservatório, ora em fase de conclusão. A incorporação dos aprimoramentos do modelo hidráulico ao modelo sedimentológico ainda não foi concluída, sendo tarefa para o próximo mês. Assim, o modelo sedimentológico do reservatório de Santo Antonio, que já estava calibrado por ocasião do relatório de atividades anterior, irá passar por adequações ao longo do próximo mês.

2.1.1. Modelo de Montante

A implementação definitiva do modelo para o trecho a montante de Jirau foi concluída com a implantação das seções topobatimétricas disponíveis entre a Ilha do Padre e a Cachoeira de Jirau, cobrindo assim o novo trecho que surgiu com o deslocamento da barragem de Jirau. Foi concluída também uma calibração preliminar do modelo hidráulico desse trecho, mas os parâmetros de rugosidade ficaram diferentes dos valores esperados em função da granulometria do material de fundo. Antes de passar à implantação do modelo de transporte de sedimento, está sendo feita uma revisão das seções topobatimétricas disponíveis e dos perfis simulados, visando melhor definir os controles localizados e, assim, obter coeficientes de rugosidade mais realistas.

Existe agora a possibilidade de se contar com seções topobatimétricas levantadas para pelo consórcio construtor da UHE Jirau. Caso essa situação se concretize, o modelo de montante poderá ser muito aprimorado em relação ao atualmente disponível. Diante dessa possibilidade, e considerando o grande afluxo de dados recebidos nesse último mês, com a conclusão dos levantamentos batimétricos, as atividades ligadas ao modelo de montante sofreram uma pausa, até que se tenha uma decisão sobre as novas seções a montante de Jirau.

A situação do modelo de montante não se modificou no período 16 de agosto a 15 de setembro de 2009.

2.1.2. Modelo do Reservatório de Santo Antonio

A calibração do modelo nesse trecho foi concluída. Depois dos resultados apresentados no mês de julho, foram ainda incorporadas quatro novas seções topobatimétricas levantadas pela equipe de apoio de campo no interior do reservatório do AHE Santo Antonio, visando aprimorar alguns trechos da modelagem.

No período de que trata o presente relatório de andamento foram realizadas diversas modificações no modelo de remanso do reservatório de Santo Antonio, que se encontra agora em sua versão 05. Os motivos dessas modificações foram, principalmente:

- Inclusão dos dados de medição de descarga líquida na estação Ilha do Padre Jusante, que permite otimizar a calibração do trecho final do reservatório.
- Necessidade de aprimoramento na curva-chave fornecida pelo modelo para a seção da foz do rio Jaciparaná.

Ao mesmo tempo, foi necessário homogeneizar as referências altimétricas das seções topobatimétricas levantadas pela Micro-Ars com as referências das réguas instaladas na fase de Viabilidade. A versão 5 do modelo é consistente com as referências altimétricas empregadas por FURNAS quando da instalação das réguas limnimétricas do trecho em estudo.

As Figuras apresentadas a seguir ilustram a qualidade da calibração atual (versão 05) do modelo hidráulico nesse trecho, considerando a reprodução de quatro curvas-chave estabelecidas a partir de observações locais de níveis d'água contrapostas às vazões registradas em Porto Velho.

**Figura 2.1.
Curva-Chave na Seção Teotônio Montante**

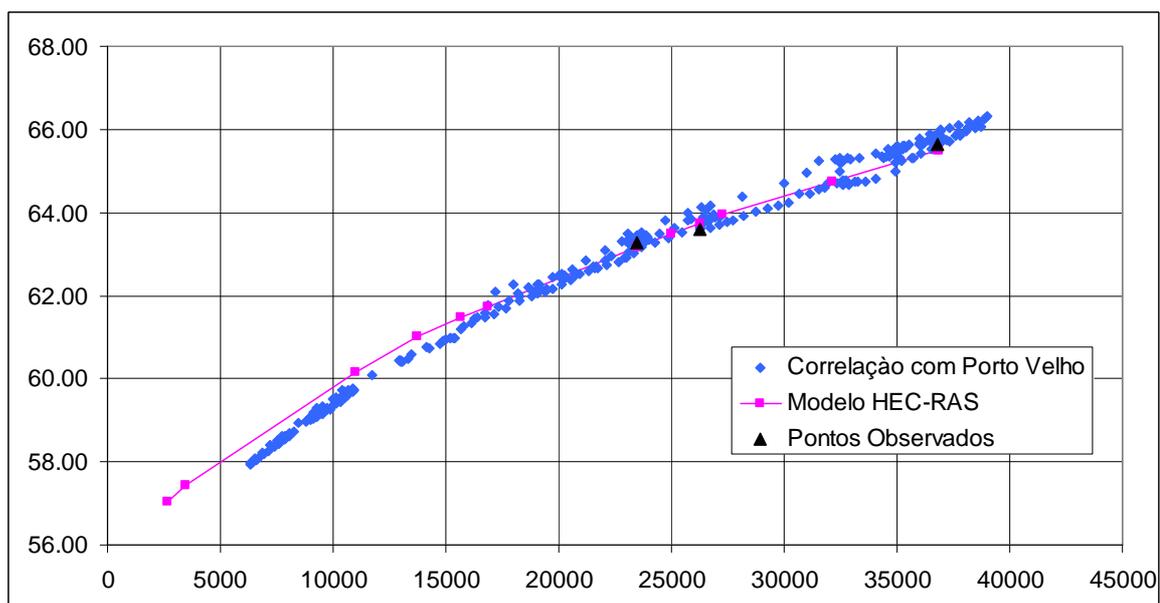


Figura 2.2.
Curva-Chave na Seção Pedral Jusante

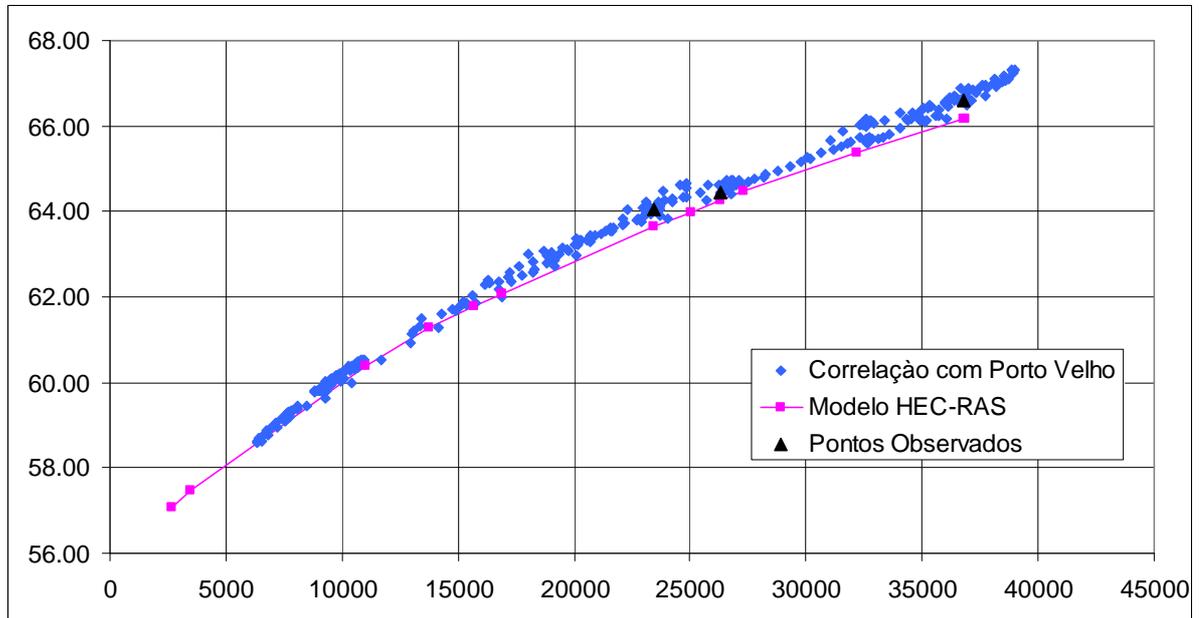


Figura 2.3.
Curva-Chave na Seção Morrinho Montante

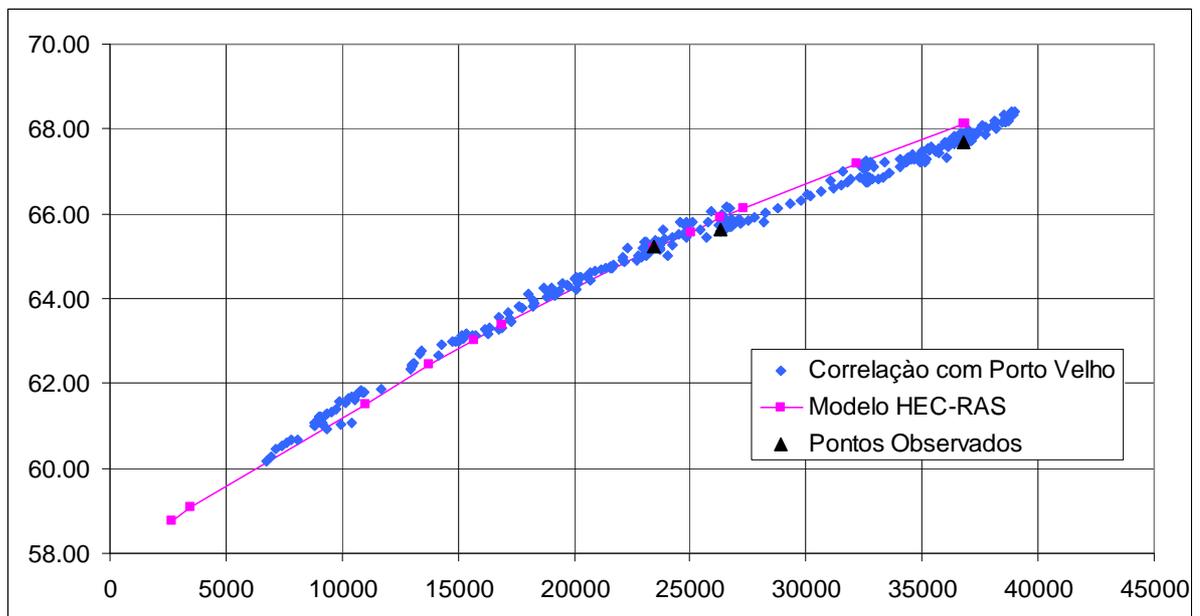


Figura 2.4.
Curva-Chave na Seção Foz do Jaci

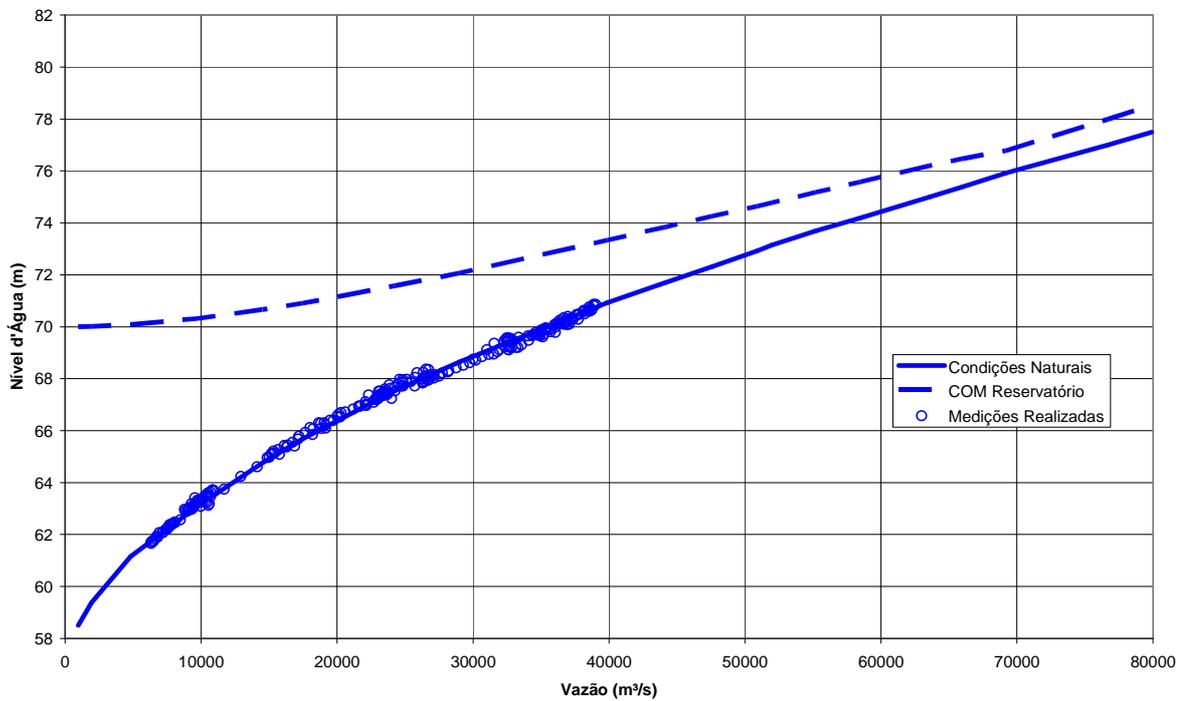
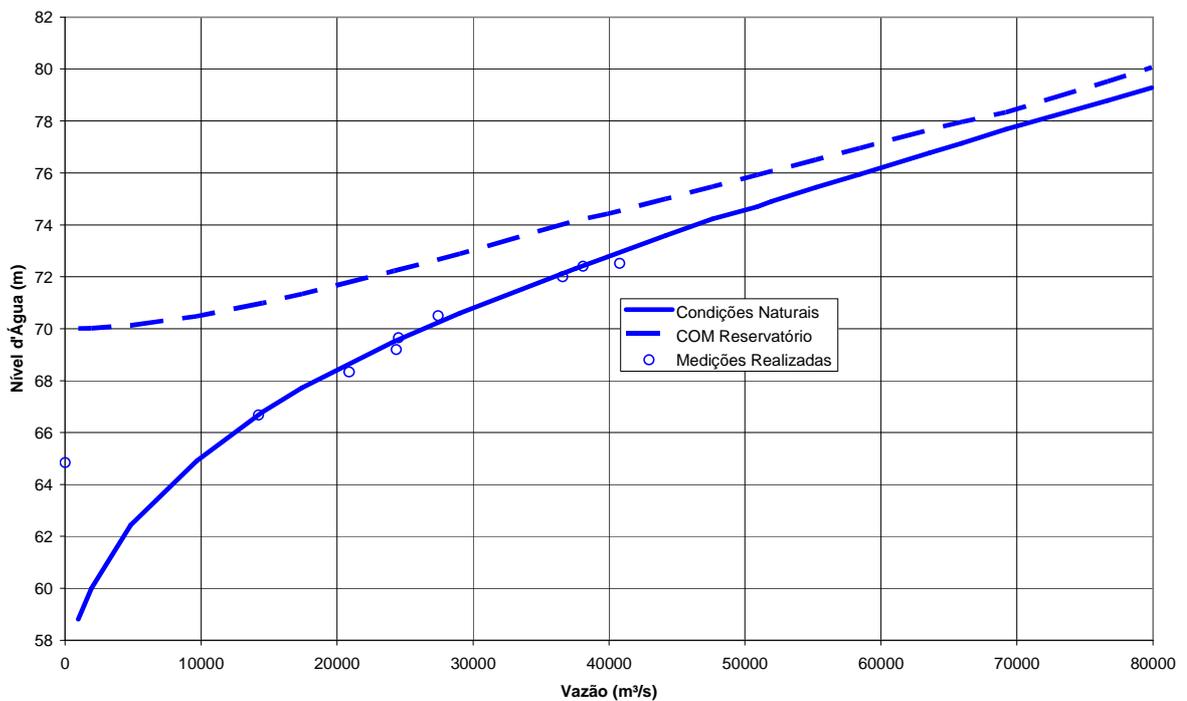


Figura 2.5.
Curva-Chave na Seção Ilha do Padre Jusante



É importante ressaltar nesses resultados que o modelo, baseado nas novas seções topobatimétricas levantadas, consegue reproduzir de forma adequada os níveis d'água observados ao longo de todo o trecho, com destaque para as seções da foz do rio Jaci-Paraná e Jusante Ilha do Padre, o que não ocorria com o modelo anterior.

Após a calibração do modelo foram gerados os perfis de linha d'água com e sem reservatório. Foram também geradas curvas-chave COM e SEM reservatório para as seções mais importantes. As duas últimas figuras mostram as curvas-chave antes e depois do reservatório nas seções de Foz do Jaci e Jusante Cachoeira do Inferno (canal de fuga do AHE Jirau).

2.2. MODELO UNIDIMENSIONAL NO TRECHO DE JUSANTE

A calibração do modelo hidráulico de jusante foi aprimorada com a inclusão de novas seções nas proximidades da barragem de Santo Antônio, obtidas do levantamento batimétrico para o modelo bidimensional.

Foi concluída a configuração de escoamento a ser implementada nos modelos de simulação diária de longo termo, para representar as contribuições pontuais dos tributários e/ou vazões distribuídas, considerando-se a variação das vazões médias diárias observadas nos três postos fluviométricos (Abunã, Porto Velho e Humaitá) existente na região.

Os modelos HEC-RAS e SRH-1D foram implementados, considerando a configuração de escoamento definida, e de forma consistente com o modelo de remanso na versão 03. As versões 04 e 05 ainda não foram transferidas à modelagem sedimentológica.

Foram gerados resultados preliminares da modelagem sedimentológica unidimensional, mas estes resultados ainda não foram incorporados ao projeto devido às modificações mais recentes introduzidas no modelo de remanso.

As tentativas com o modelo GSTARS foram interrompidas devido aos resultados inconsistentes obtidos.

2.3. MODELO BIDIMENSIONAL NO TRECHO JUNTO À BARRAGEM

2.3.1. Seleção e Aquisição dos Modelos

Esta atividade encontra-se concluída. O resultado da análise dos modelos foi apresentado no relatório de andamento precedente.

Serão empregados dois modelos, descritos a seguir.

- O modelo **FESWMS/FST2DH**, que aplica o método dos elementos finitos para resolver as equações bidimensionais de escoamento e transporte de sedimentos não coesivos por águas superficiais. Apresenta como vantagem em relação ao modelo anterior o fato de tratar água e sedimento de uma forma acoplada.

- O modelo **SSIIM - Sediment Simulation In Intakes with Multiblock Option**, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Faculdade de Engenharia, Ciência e Tecnologia da NTNU - Norwegian University of Science and Technology, que resolve as equações de Navier-Stokes empregando o método dos volumes de controle com o algoritmo SIMPLE e o modelo de turbulência k-epsilon. Soluciona também a equação de difusão-convecção para transporte de sedimento, utilizando a fórmula de Van Rijn para o contorno do leito. O modelo inclui ainda um módulo de qualidade da água elida com domínios tri-dimensionais.

2.3.2. Geração Inicial da Malha do Modelo de Jusante

Foi concluída a definição preliminar do domínio e a geração da malha de elementos finitos a ser empregada na modelagem a montante da barragem, já com o resultado definitivo do levantamento topobatimétrico realizado.

O modelo escolhido para a primeira implantação foi o **FESWMS/FST2DH**, que já se encontra implantado. Nesse mês foram enfrentadas algumas dificuldades com a malha de elementos finitos, que encontra-se com mais de 12.000 elementos até o momento. Estas dificuldades estão sendo discutidas com o Suporte do Software, porque aparentemente o problema não está relacionado apenas com os dados introduzidos no modelo.

Concluída a implantação da malha serão realizadas as primeiras simulações, no mês de outubro.

Para o modelo a jusante da barragem, a geração da malha ainda não foi concluída, mas os problemas narrados acima não devem ocorrer, pois foram causados principalmente pelo detalhamento da geometria junto às estruturas (muros divisórios), o que não ocorre a jusante.

As figuras apresentadas a seguir ilustram o domínio do modelo de montante e os detalhes da malha de elementos finitos que está sendo utilizada.

Figura 2.6.
Malha de Elementos Finitos do Modelo 2D a Montante da Barragem de Santo Antônio, Com o Modelo Digital de Terreno ao Fundo.

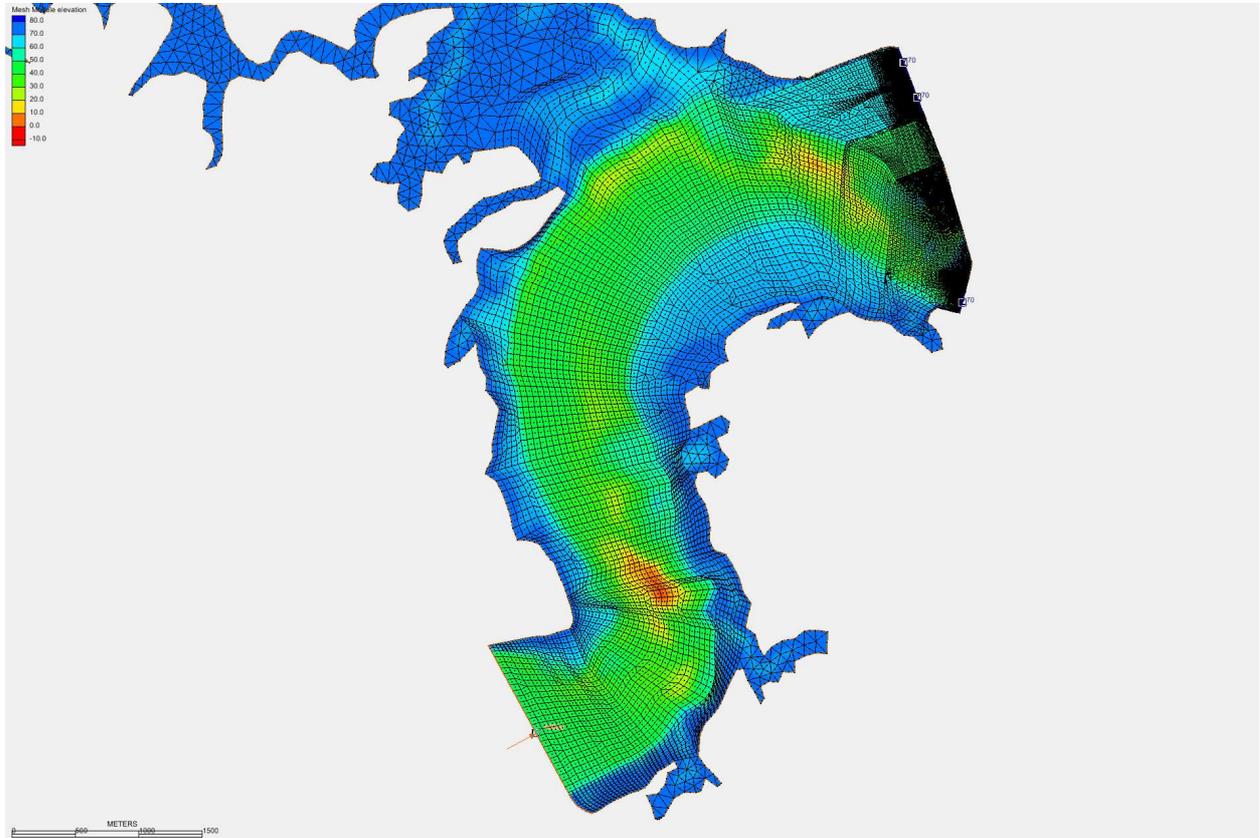
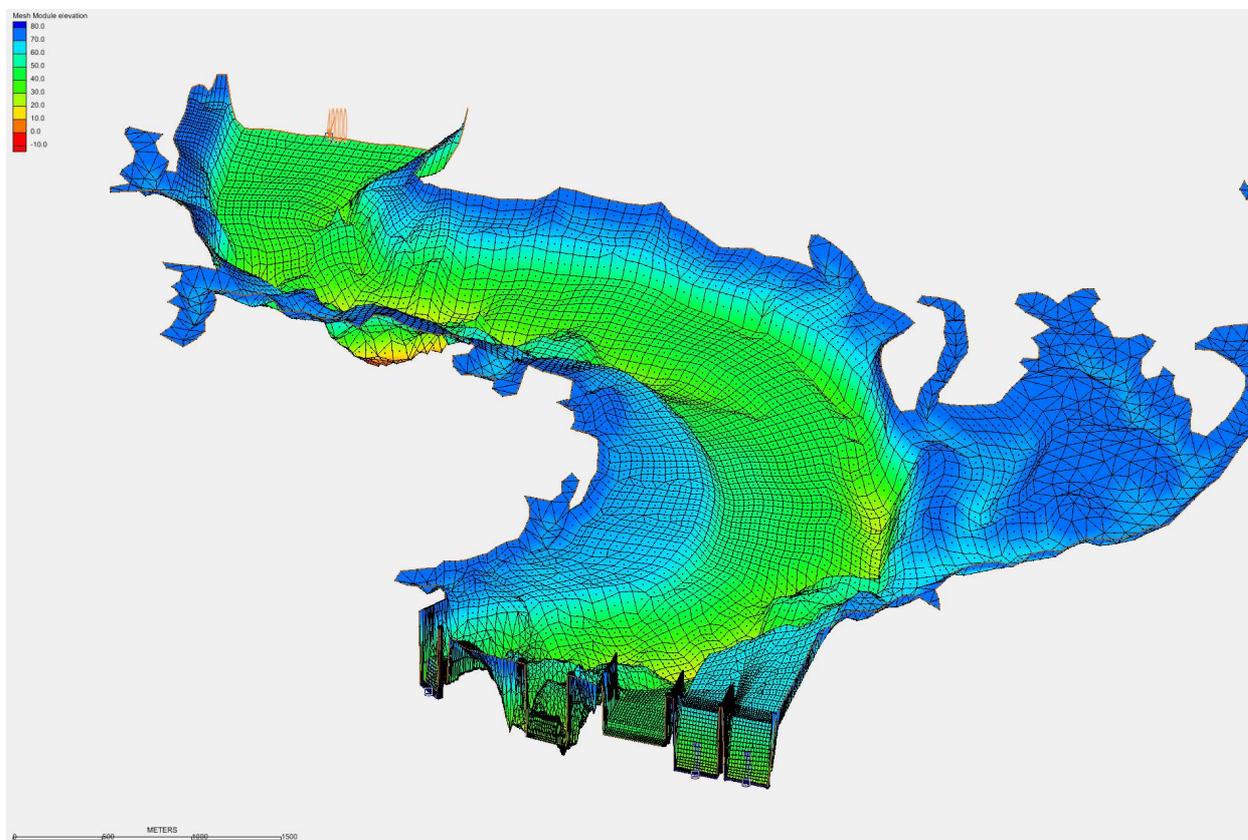


Figura 2.7.
“Vista Superior” da Área Modelada, Mostrando Detalhes das Aberturas nas Estruturas



2.3.3. Definição dos Cenários a modelar

A definição dos cenários a modelar, atividade 2.5, foi iniciada durante a visita do Eng. José Vasques, da NHC, no período de 27-07-2009 a 07-08-2009, estando ainda em andamento.

Foi decidido que o modelo deverá produzir padrões de escoamento relativos a diferentes situações hidrológicas, com as vazões defluentes sendo encaminhadas pelas diversas estruturas hidráulicas existentes (Casas de Força e Vertedouros). A análise desses padrões irá orientar a continuidade das simulações.

2.3.4. Incorporação da Batimetria aos Modelos de Montante e Jusante

Conforme ilustrado nas figuras apresentadas acima, a batimetria definitiva já se encontra incorporada aos modelos. As malhas definidas levam em consideração os detalhes dessa batimetria, para melhorar a precisão das respostas do modelo.