

# **UHE SANTO ANTÔNIO**



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

**RELATÓRIO DE ANDAMENTO – RA 09**

**PJ0696-Z-H41-GR-RL-107-0A**

**OUTUBRO/2009**

## UHE SANTO ANTÔNIO

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

## RELATÓRIO DE ANDAMENTO – RA 09

PJ0696-Z-H41-GR-RL-107-0A

OUTUBRO/2009

0	26/10/2009	EMISSÃO INICIAL	MAS/FBM	EFM	JCS
REV.	DATA	DESCRIÇÃO	ELAB.	VISTO	APROV.

## ÍNDICE

<i>Item</i>	<i>Assunto</i>	<i>Página</i>
<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	03
<b>2.</b>	<b>ANDAMENTO DOS SERVIÇOS</b>	06
<b>2.1.</b>	<b>MODELO UNIDIMENSIONAL NO TRECHO DO RESERVATÓRIO DA UHE SANTO ANTÔNIO</b>	07
2.1.1.	<u>Implantação Final do Modelo</u>	07
2.1.2.	<u>Calibração</u>	08
2.1.3.	<u>Produção de Resultados Preliminares</u>	09
<b>2.2.</b>	<b>MODELO BIDIMENSIONAL NO TRECHO JUNTO À BARRAGEM</b>	12
2.2.1.	<u>Seleção e Aquisição dos Modelos</u>	12
2.2.2.	<u>Geração Inicial da Malha do Modelo de Jusante</u>	12
2.2.3.	<u>Definição dos Cenários a Modelar</u>	13
2.2.4.	<u>Incorporação da Batimetria aos Modelos de Montante e Jusante</u>	13

## 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.

A empresa Hicon Engenharia Ltda foi contratada para a realização do trabalho de modelagem matemática.

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

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

---

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 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 09, apresenta os serviços realizados no período de 16 de setembro a 15 de outubro de 2009.

## **2. ANDAMENTO DOS SERVIÇOS**

O trabalho realizado no período de 16 de setembro a 15 de outubro 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**

Conforme relatório anterior, 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 naquele período e neste de 16 de setembro a 15 de agosto.

Além da complementação dos estudos de remanso no rio Madeira, foram realizados os estudos de remanso para o rio Jaci-Paraná, os quais também foram incorporados ao relatório apresentado.

O resultado desse trabalho foi uma minuta de relatório de remanso do reservatório, ora em fase de discussão. A incorporação dos aprimoramentos do modelo hidráulico ao modelo sedimentológico ainda não foi concluída, sendo tarefa que se estenderá no próximo mês. Assim, o modelo sedimentológico do reservatório de Santo Antônio, que já estava calibrado por ocasião do relatório de atividades anterior, irá passar por adequações ao longo do próximo mês.

### **2.1.1. Implantação Final do Modelo**

A implantação final do modelo hidráulico foi concluída, incluindo, além do trecho a jusante da barragem e o trecho do reservatório da UHE Santo Antônio, o trecho a montante da barragem da UHE Jirau, para o qual não foi possível a obtenção dos novos dados topobatimétricos, os quais se acredita terem sido produzidos recentemente no âmbito do Projeto Executivo daquele empreendimento. Assim, o modelo final compreende em torno de 600km do rio Madeira, o qual se estende desde o município de Humaitá até a região próxima a localidade de Vila Incra.

A implementação definitiva do modelo, para o trecho a montante de Jirau, foi concluída com a implantação das seções topobatimétricas já existentes desde a ocasião dos estudos de viabilidade.

O modelo que foi desenvolvido até o momento deverá atender de forma relativamente satisfatória aos objetivos dos estudos de modelagem sedimentológica. Por outro lado, a aplicação deste modelo (no trecho a montante da UHE Jirau) poderia apresentar inconsistências, dependendo das questões a serem respondidas, como, por exemplo, no que se refere a uma análise mais precisa dos perfis de linha d'água a serem simulados no respectivo trecho. Assim, caso sejam disponibilizados, para o trecho de montante ao eixo da UHE Jirau, novos dados topobatimétricos, produzidos no âmbito do Projeto Executivo do AHE Jirau, uma revisão do modelo desenvolvido, para o respectivo trecho poderia ser desejável. No entanto, esta atividade, apesar de contribuir para aumentar a precisão dos resultados simulados, poderia comprometer o bom andamento do cronograma previsto.



## 2.1.2. Calibração

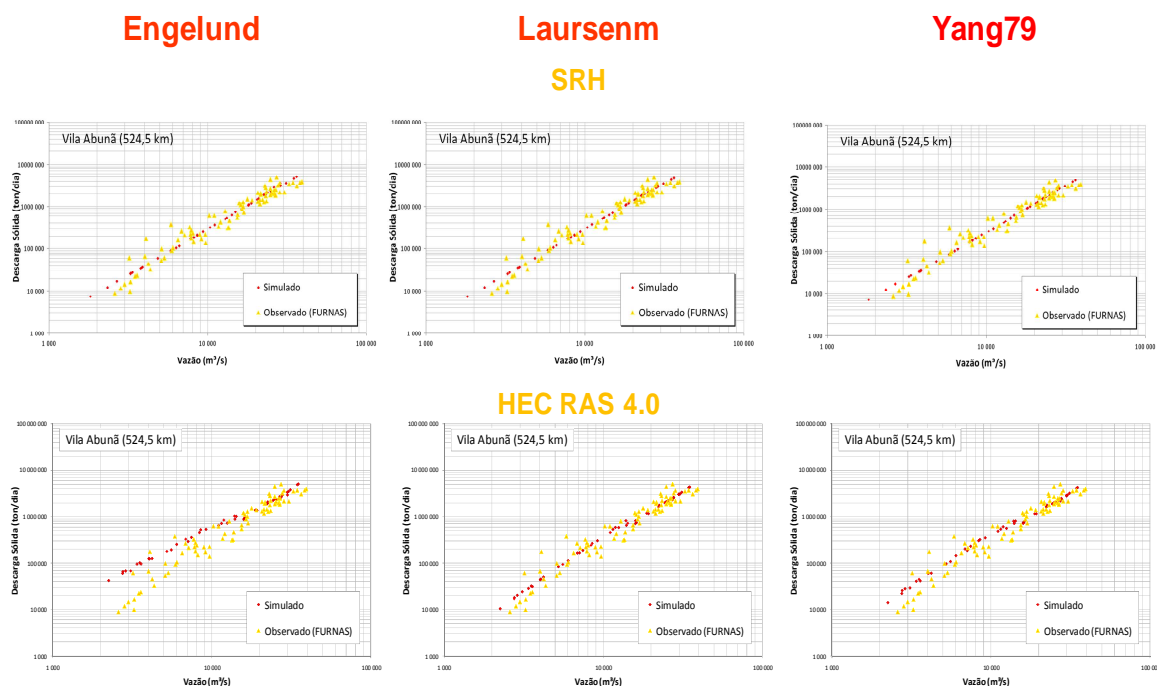
Como descrito no relatório precedente, os modelos HEC-RAS 4.0 e SRH-1D foram implementados, tendo sido calibrados e simulações de longo prazo realizadas, considerando a configuração conforme o modelo de remanso na versão 03. Assim, ainda será necessário implementar esses modelos para a geometria corrigida conforme a versão 5 do modelo de remanso.

A calibração dos modelos indicou a equação de Yang, para o modelo HEC-RAS 4.0, e a equação de Laursen-Madde, para o modelo SRH-1D, como as que melhores representam o transporte de sedimento no rio Madeira. A equação de Yang, também, apresentou resultados satisfatórios quando utilizada no modelo SRH-1D.

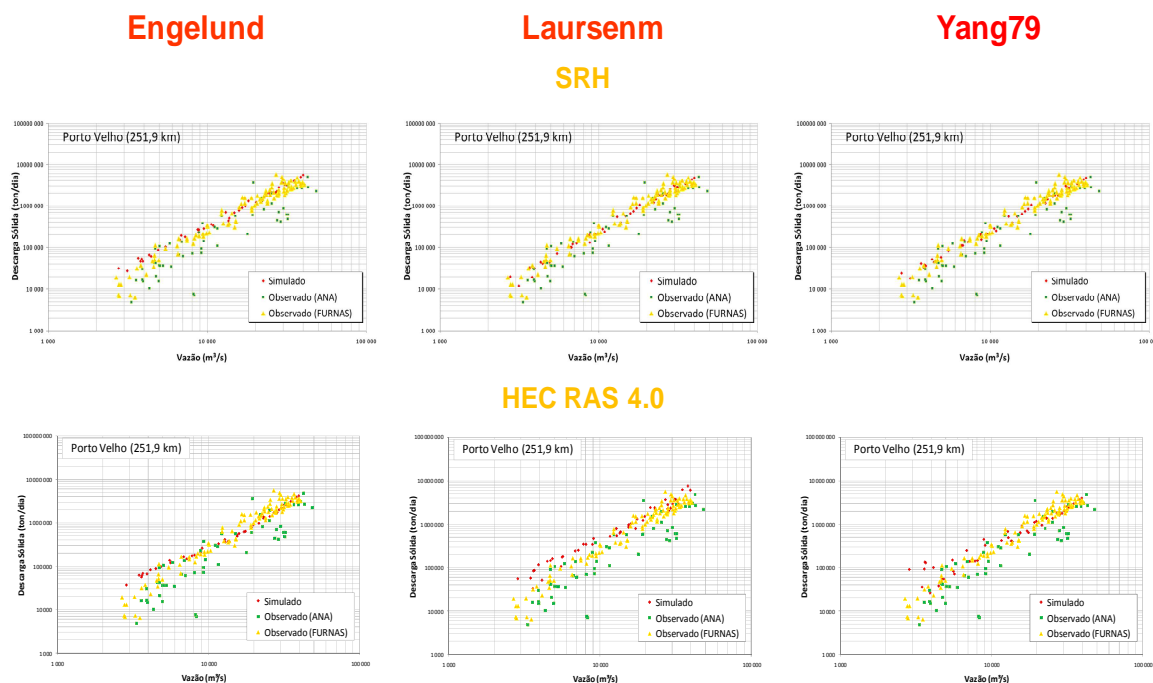
A simulação para calibração compreendeu um horizonte de 4 anos, entre 2003 a 2006, para o qual existe disponível um maior número de dados.

As figuras, a seguir, indicam os resultados da calibração, considerando diferentes equações de transporte de sedimento, para as seções em Abunã e Porto Velho, respectivamente.

**Figura 2.1.**  
**Resultados da Calibração Com Diversas Equações de Transporte (Abunã)**



**Figura 2.2.  
Resultados da Calibração Com Diversas Equações de Transporte (Porto Velho)**



### 2.1.3. Produção de Resultados Preliminares

Foram gerados resultados preliminares da modelagem sedimentológica unidimensional, os quais ainda estão sendo cuidadosamente avaliados e submetidos a ajustes finos, em ambos os modelos.

Os resultados preliminares obtidos com ambos os modelos, HEC-RAS e SRH-1D, são satisfatórios, porém com algumas diferenças entre si que ainda estão sendo analisadas. Por exemplo, os modelos sedimentológicos, para o trecho a jusante da barragem da UHE Santo Antônio, com longo horizonte simulado, estão indicando resultados um pouco conflitantes entre si.

O modelo HEC-RAS 4.0 está indicando uma situação de pouca variação do fundo neste trecho, mesmo após a construção dos reservatórios de Santo Antônio e Jirau. Já os resultados encontrados com o modelo SRH-1D indicam uma forte tendência de erosão para todo o trecho, atingindo até mesmo a região próxima a Humaitá.

Apesar dos fundamentos teóricos considerados no desenvolvimento de ambos os modelos serem bastante similares, estes diferem no método considerado para o transporte de finos. Vale destacar que o material fino (silte + argila) corresponde a cerca de 75% de todo o material transportado no rio Madeira. Assim, no modelo HEC-RAS 4.0, este transporte se dá através da extrapolação da equação de transporte escolhida para modelar o transporte de finos. Por outro lado, no modelo SRH-1D, o transporte de finos é modelado com base no método de Krone & Parthenaides. Este método apresenta 4 parâmetros distintos os quais serão ainda investigados com mais detalhes, através da

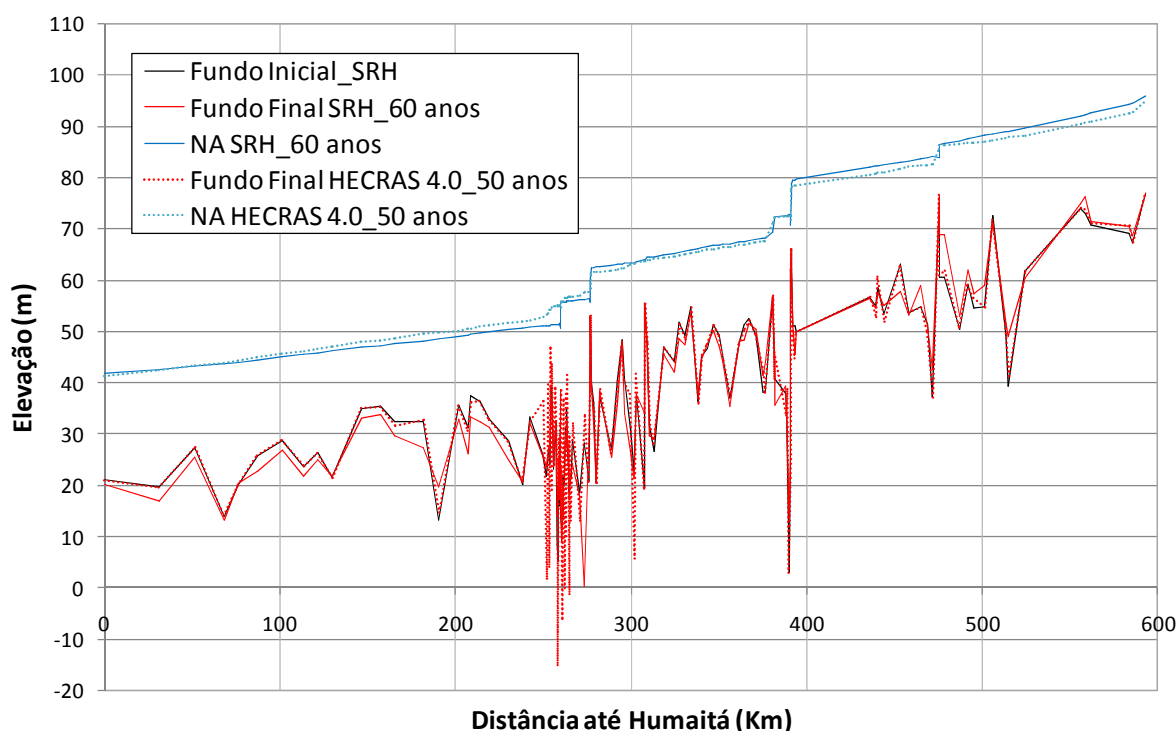
análise de outras referências bibliográficas disponíveis e uma análise de sensibilidade desses parâmetros.

O modelo HEC-RAS 4.0 também permite a modelagem com o método de Krone & Parthenaides, porém optou-se em utilizar a extrapolação da equação de transporte por acreditar que, com este último, se possa atingir uma calibração mais eficiente do modelo.

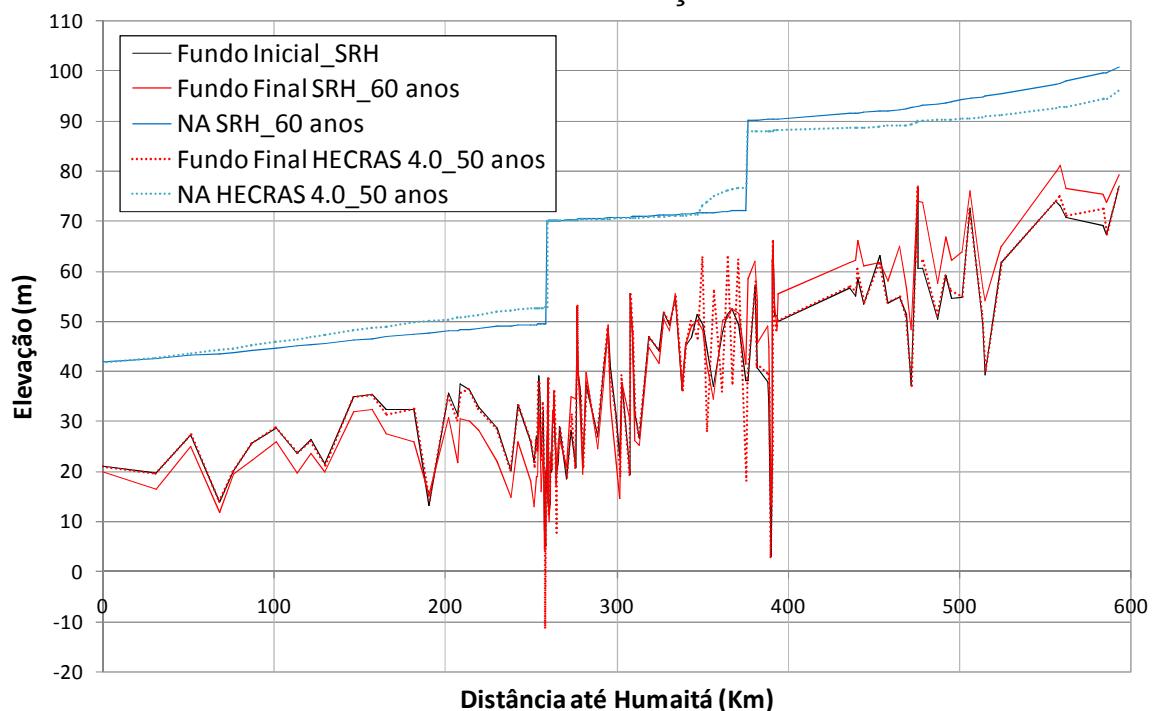
Os resultados preliminares, encontrados com o modelo sedimentológico HEC-RAS 4.0, indicaram certa instabilidade na região próxima ao local da barragem, na condição sem reservatórios. Já na condição com reservatório o mesmo não foi observado. Este fato está sendo analisado com o intuito de aperfeiçoar a representatividade do modelo para este trecho.

As Figuras 2.3. e 2.4 apresentam uma comparação dos perfis de fundo simulados com os dois modelos considerados, para todo o trecho, desde Humaitá (0km), passando pelo local da barragem de Santo Antônio (251,9km), local da barragem de Jirau (376,5km), Abunã (524,5km) até a última seção considerada próximo a localidade de Vila Incra, nas condições sem reservatórios e com reservatórios, respectivamente.

**Figura 2.3.  
Perfil de Fundo Simulado na Condição Sem Reservatório**

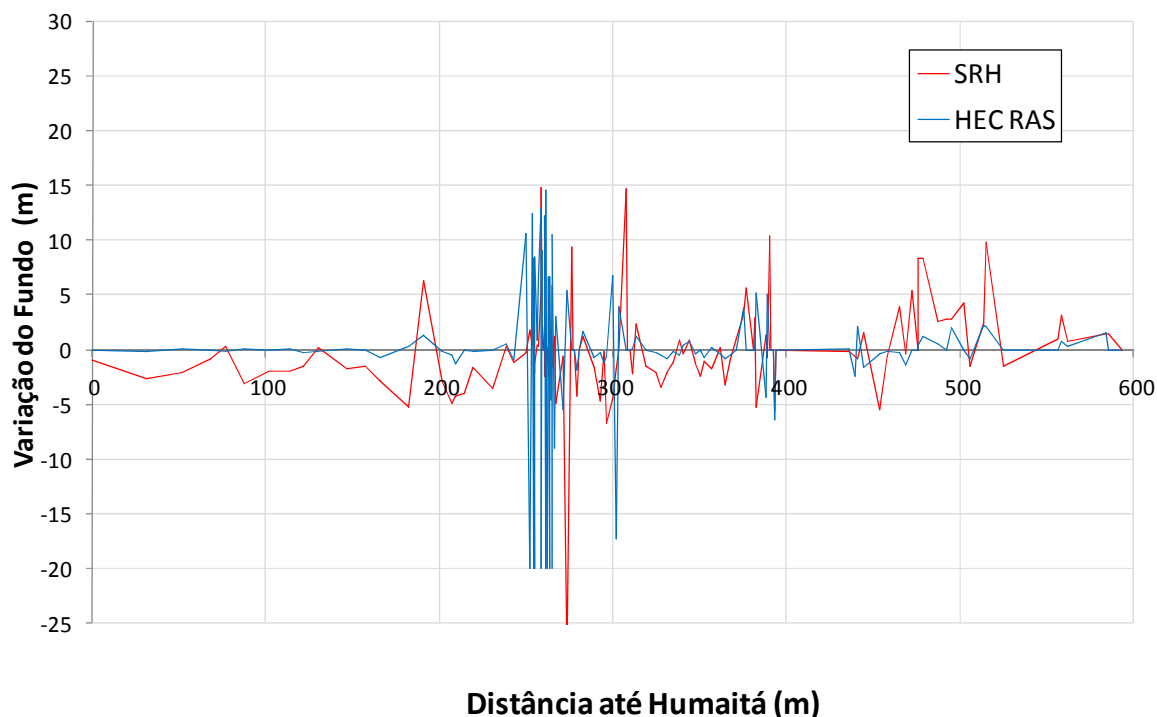


**Figura 2.4.**  
**Perfil de Fundo Simulado na Condição Com Reservatório**

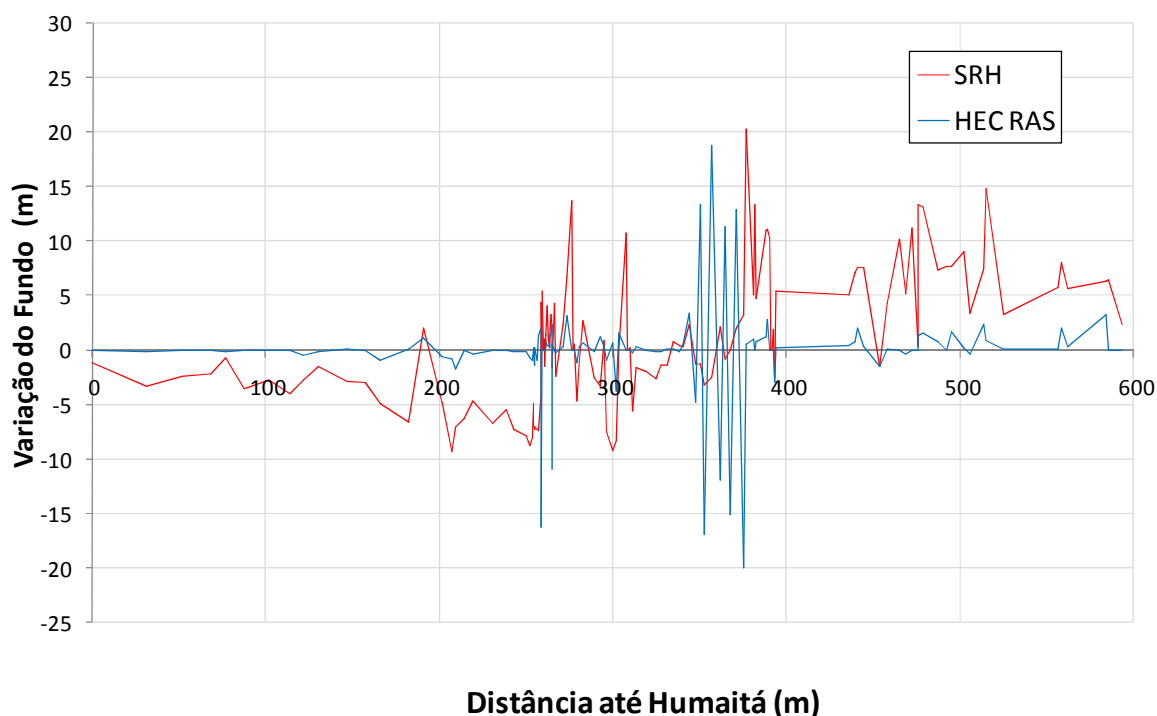


As figuras, a seguir, apresentam os resultados de variação de fundo, após simulação de 50 anos com ambos os modelos, nas condições sem reservatórios e com reservatórios, respectivamente.

**Figura 2.5.**  
**Variação do Fundo do Leito Sem Reservatórios**



**Figura 2.6.**  
**Variação do Fundo do Leito Com Reservatórios**



## 2.2. MODELO BIDIMENSIONAL NO TRECHO JUNTO À BARRAGEM

### 2.2.1. Seleção e Aquisição dos Modelos

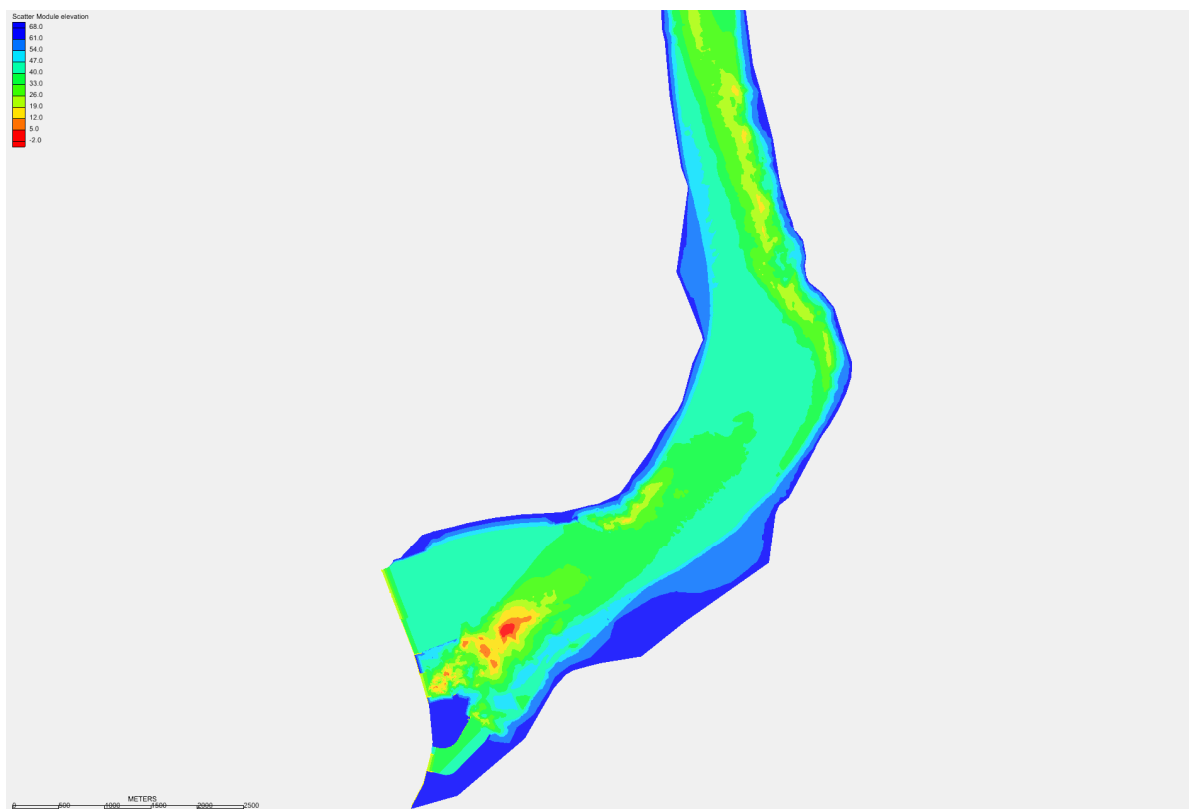
Esta atividade está concluída.

### 2.2.2. Geração Inicial das Malhas dos Modelo de Jusante e Montante

Para o modelo a jusante da barragem, a geração da malha se encontra em estado avançado, esperando que esta esteja pronta até meados no mês subsequente.

A figura, a seguir, ilustra a topobatimetria (modelo digital de terreno) desenvolvida para o modelo de jusante. No modelo de jusante não se espera encontrar as limitações, decorrente da definição das condições de contorno, que foram encontrada para o modelo **FESWMS** no trecho de montante.

**Figura 2.7.  
Topobatimetria (Modelo Digital de Terreno) Que Servirá Como Base para o  
Desenvolvimento da Malha de Elementos Finitos do Modelo 2D a Jusante da  
Barragem de Santo Antonio**



### 2.2.3. Definição dos Cenários a Modelar

A definição dos cenários a modelar 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.

### 2.2.4. Incorporação da Batimetria aos Modelos de Montante e Jusante

Conforme ilustrado na figura apresentada acima, a batimetria referente ao modelo a jusante já se encontra construída e está pronta para ser incorporada a malha que vem sendo desenvolvida. As malhas definidas levam em consideração os detalhes dessa batimetria, não somente da calha natural do rio, como também no que se refere aos locais de implementação das diversas estruturas, como, por exemplo, canais de restituição e bacias de dissipação.