



SIMPÓSIO  
BRASILEIRO  
DE RECURSOS  
HÍDRICOS



ÁGUA • DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIOAMBIENTAL

17 - 22 DE NOVEMBRO DE 2013 - BENTO GONÇALVES / RS

# “A POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS IMPLICAÇÕES E MUDANÇAS CULTURAIS ASSOCIADAS”

## EUCLYDES CESTARI JR

CESP – Companhia Energética de São Paulo



*Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil*  
*UNESP – Ilha Solteira*



## INTRODUÇÃO

Lei federal nº 12.334/2010 trata da Política Nacional de Segurança de Barragens e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);

Estabeleceu um marco importante para o país, disciplinando as relações entre empreendedores que constroem, operam e fazem manutenção em barragens;

O setor elétrico é pioneiro na adoção de procedimentos e medidas de segurança de estruturas de barragens.



## BREVE HISTÓRICO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS NO BRASIL

Segurança é um assunto tratado há décadas, por empreendedores de barragens e órgãos públicos

1963 – Seminário Brasileiro de Grandes Barragens em SP

1976 – Seminário Brasileiro de Grandes Barragens em Fortaleza foi criado o Comitê Brasileiro de Grandes Barragens para redigir uma minuta que servisse de diretrizes para inspeção e avaliação de barragens em operação.

A minuta foi publicada em novembro de 1979 na edição nº106 da revista "CONSTRUÇÃO PESADA".



## BREVE HISTÓRICO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS NO BRASIL

1977 – Acidente com as barragens de Euclides da Cunha e Limoeiro preocupou o setor elétrico que passou a adotar práticas de inspeções de barragens;

1979 – Governo de SP emite Decreto-Lei sobre segurança de barragens;

2003 – O Governo Federal cria um grupo de estudos para auxiliar a elaboração do projeto de Lei 1181/2003 que tinha por objetivo estabelecer uma Política Nacional de Segurança de Barragens - PNSB e criar o SNISB;

Este projeto definia os parâmetros mínimos, obrigações e responsabilidades do proprietário e papel do Estado;



## BREVE HISTÓRICO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS NO BRASIL

2007 – O projeto de Lei 1181/2003 foi encaminhado para votação;

2010 - Entra em vigor a **Lei Federal nº 12.334/2010** que estabelece a **Política Nacional de Segurança de Barragens e cria o SNISB.**

Após promulgação da Lei, a ANA – Agência Nacional de Águas, assumiu as seguintes atribuições:

- organizar, implantar e gerir o SNISB;
- promover a articulação entre os Órgãos fiscalizadores de barragens;
- fiscalizar a Segurança de Barragens por ela outorgadas; e
- coordenar a elaboração do relatório de Segurança de Barragens, que deverá ser encaminhado anualmente ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH.



## BREVE HISTÓRICO SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS NO BRASIL

2011 a ANA inicia a regulamentação de alguns artigos da Lei utilizando metodologias de Audiências Públicas não presenciais, suportadas por Notas Técnicas e Minutas de resolução, permitindo ao meio técnico em geral que opine e contribua com sugestões para aprimoramento destas resoluções.

Encerrados os prazos a ANA divulgava os relatórios de Análise de Contribuição – RAC orientando o formato final das resoluções.

Destaca-se que a ANA conduziu este processo de regulamentações da Lei, sabendo que para fins de aproveitamento hidroelétrico, essas ações devem ser implementadas pela ANEEL, conforme tratado no artigo 5°.



## ANEEL E AS BARRAGENS DO SETOR ELÉTRICO NACIONAL

30/03/2012 – ANEEL encaminhou o **Ofício 308/2012** para as Empresas detentoras de outorga de exploração hidroelétrica.

### “PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS”

- Identificação do Empreendedor;
- Dados técnicos do Empreendimento;
- Estrutura organizacional e qualificação técnica;
- Existência de Manuais e Procedimentos;
- Regras operativas dos órgãos de descarga;
- PAE – Plano de Ação Emergencial;
- Existência de relatórios de Segurança de Barragens;
- Registros de revisões periódicas de Segurança de Barragens;
- Anexou as matrizes de classificação de barragens regulamentada pela ANA



## **ANEEL E AS BARRAGENS DO SETOR ELÉTRICO NACIONAL**

### **CONSULTA PÚBLICA PARA COLHER SUBSÍDIOS**

- Nota Técnica 59/2013 – Regulamentação do PAE – Plano de Ação de Emergência;
- Nota Técnica 76/2013 – Regulamentação dos critérios para classificação dos Empreendimentos de geração de energia elétrica;
- Nota Técnica 77/2013 – Regulamentação do conteúdo mínimo do Plano de Segurança de Barragens.

ANEEL - Convidou Entidades representativas:

- CBDB;
- ABRAGE.





## RESOLUÇÃO 91/2012

### PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS TERÁ 5 VOLUMES

VOLUME 1 – INFORMAÇÕES GERAIS

VOLUME 2 – PLANOS E PROCEDIMENTOS

VOLUME 3 – REGISTROS E CONTROLES

VOLUME 4 – PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

VOLUME 5 – REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE  
BARRAGENS



## Classificação de Barragens

Segundo o Art. 7º da Lei, as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco e por dano potencial associado.

A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função:

- características técnicas;
- estado de conservação;
- plano de Segurança da Barragem.

A classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função:

- potencial de perdas de vidas humanas, impactos econômicos, sociais e ambientais.



## Classificação de Barragens

### ANEXO I- Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado:

| CATEGORIA DE RISCO | DANO POTENCIAL ASSOCIADO |       |       |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|
|                    | ALTO                     | MÉDIO | BAIXO |
| ALTO               | A                        | B     | C     |
| MÉDIO              | A                        | C     | D     |
| BAIXO              | A                        | C     | E     |

**Matriz de classificação quanto à categoria de risco (acumulação de água)**

**1 - Características técnicas - CT**

| <b>Altura<br/>(a)</b>                   | <b>Comprimento<br/>(b)</b>           | <b>Tipo de barragem<br/>quanto<br/>ao material de<br/>construção<br/>(c)</b>             | <b>Tipo de fundação<br/>(d)</b>  | <b>Idade da<br/>Barragem<br/>(e)</b>                                 | <b>Vazão de Projeto<br/>(f)</b>  |
|---|--------------------------------------|--|--|--|--|
| <b>Altura ≤ 15m<br/>(0)</b>             | <b>comprimento ≤ 200m<br/>(2)</b>    | <b>Concreto<br/>convencional<br/>(1)</b>   | <b>Rocha sã<br/>(1)</b>  | <b>entre 30 e 50<br/>anos<br/>(1)</b>                                | <b>Decamilenar ou CMP<br/>(Cheia Máxima<br/>Provável)<br/>- Tr = 10.000 anos<br/>(3)</b> |
| <b>15m &lt; altura &lt; 30m<br/>(1)</b> | <b>comprimento &gt; 200m<br/>(3)</b> | <b>Alvenaria de pedra/<br/>concreto ciclópico/<br/>concreto rolado -<br/>CCR<br/>(2)</b> | <b>Rocha alterada dura<br/>com tratamento<br/>(2)</b>  | <b>entre 10 e 30<br/>anos<br/>(2)</b>                                | <b>Milenar - Tr =1.000<br/>anos<br/>(5)</b>  |
| <b>30m &lt; altura &lt; 60m<br/>(2)</b> | -                                    | <b>Terra homogênea/<br/>enrocamento/Terra<br/>enrocamento<br/>(3)</b>                    | <b>Rocha alterada sem<br/>tratamento/rocha<br/>alterada fraturada<br/>com<br/>tratamento<br/>(3)</b> | <b>entre 5 e 10<br/>anos<br/>(3)</b>                                 | <b>Tr = 500 anos<br/>(8)</b>   |
| <b>altura &gt; 60m<br/>(3)</b>          | -                                    | -  | <b>Rocha alterada<br/>mole/<br/>saprolito/solo<br/>compacto<br/>(4)</b>                              | <b>&lt; 5 anos ou &gt; 50<br/>anos ou sem<br/>informação<br/>(4)</b> | <b>Tr &lt; 500 anos ou<br/>Desconhecida/<br/>estudo<br/>não confiável<br/>(10)</b>       |
| -                                       | -                                    | -  | <b>Solo residual/aluvião<br/>(5)</b>   | -  | -  |

**CT = ∑ (a até f):**

**14**

**Matriz de classificação quanto à categoria de risco (acumulação de água)**

**1 - Características técnicas - CT**

| <b>Altura<br/>(a)</b>     | <b>Comprimento<br/>(b)</b> | <b>Tipo de barragem<br/>quanto<br/>ao material de<br/>construção<br/>(c)</b>  | <b>Tipo de fundação<br/>(d)</b>  | <b>Idade da<br/>Barragem<br/>(e)</b>                 | <b>Vazão de Projeto<br/>(f)</b>  |
|---------------------------|----------------------------|---|--|--|--|
| Altura ≤ 15m<br>(0)       | comprimento ≤ 200m<br>(2)  | Concreto<br>convencional<br>(1)   | Rocha sã<br>(1)  | entre 30 e 50<br>anos<br>(1)                         | <b>Decamilenar ou CMP<br/>(Cheia Máxima<br/>Provável)<br/>- Tr = 10.000 anos<br/>(3)</b> |
| 15m < altura < 30m<br>(1) | comprimento > 200m<br>(3)  | Alvenaria de pedra/<br>concreto ciclópico/<br>concreto rolado -<br>CCR<br>(2) | Rocha alterada dura<br>com tratamento<br>(2)   | entre 10 e 30<br>anos<br>(2)                         | Milenar - Tr = 1.000<br>anos<br>(5)  |
| 30m < altura < 60m<br>(2) | -                          | Terra homogênea/<br>enrocamento/Terra<br>enrocamento<br>(3)                   | Rocha alterada sem<br>tratamento/rocha<br>alterada fraturada<br>com<br>tratamento<br>(3) | entre 5 e 10<br>anos<br>(3)                          | Tr = 500 anos<br>(8)   |
| altura > 60m<br>(3)       | -                          | -   | Rocha alterada<br>mole/<br>saprolito/solo<br>compacto<br>(4)                             | < 5 anos ou > 50<br>anos ou sem<br>informação<br>(4) | Tr < 500 anos ou<br>Desconhecida/<br>estudo<br>não confiável<br>(10)                     |
| -                         | -                          | -   | Solo residual/aluvião<br>(5)   | -  | -  |
| <b>CT = Σ (a até f):</b>  | <b>14</b>                  |   |  |  |  |

**Matriz de classificação quanto à categoria de risco de acumulação de água)**

**2 -Estado de conservação**

| Confiabilidade das estruturas extravasoras<br>(g)   | Confiabilidade das estruturas de adução<br>(h)   | Percolação<br>(i)   | Deformações e recalques<br>(j)  | Deterioração dos Taludes/Paramentos<br>(l)   | Eclusa*<br>(m)   |
|---|--|---|---|--|--|
| Estruturas civis e eletromecânicas em pleno funcionamento/canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre ) desobstruídos<br>(0)  | Estruturas civis e dispositivos hidroeletrromecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento<br>(0)  | Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem<br>(0)  | Inexistente<br>(0)  | Inexistente<br>(0)   | Não possui Eclusa.<br>(0)  |
| Estruturas civis e eletromecânicas preparadas para a operação, mas sem fonte de suprimento de energia de emergência/canais ou vertedouro(tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos à estrutura vertente.<br>(4)   | Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e com medidas corretivas em implantação<br>(4) | umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizada e/ou monitorada<br>(3)             | Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo<br>(1)                                   | Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo.<br>(1)                                     | Estruturas civis e eletromecânicas bem mantidas e funcionando.<br>(1)  |
| Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e com medidas corretivas em implantação/canais ou vertedouro (tipo soleira) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente<br>(7) | Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e sem medidas corretivas<br>(6)                | umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico<br>(5) | Trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento<br>(5) | Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva.<br>(5) | Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação.<br>(2) |
| Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados com redução de capacidade de adução e sem medidas corretivas/canais ou vertedouro(tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas<br>(10)   | -  | Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente<br>(10)             | Trincas e abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento à segurança<br>(8)       | Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão com potencial de comprometimento à segurança.<br>(7)              | Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrromecânicos com problemas identificados e sem medidas corretivas.<br>(4)                |

**Matriz de classificação quanto à categoria de risco (acumulação de água)**

**3 - Plano de Segurança de Barragens - PS**

| Existência de documentação de projeto (n)        | Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança de Barragem (o) | Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p) | Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q) | Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r) |
|--|--|--|--|---|
| <b>Projeto executivo e "como construído" (0)</b> | Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)                   | <b>Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)</b>       | <b>Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)</b>                | <b>Emite regularmente os relatórios (0)</b>                         |
| Projeto executivo ou "como construído" (2)       | <b>Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)</b>   | Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)                       | Não (6)  | Emite os relatórios sem periodicidade (3)                           |
| Projeto básico (4)                               | Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)                 | Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)          | -  | Não emite os relatórios (5)   |
| Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)            | -  | Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)   | -  | -   |
| Inexistente documentação de projeto (8)          | -  | -  | -  | -   |



**PS = ∑ (n até r):**

**4**

**Matriz de classificação quanto ao dano potencial associado- DPA (Acumulação de água)**

| <p><b>Volume total do reservatório para barragens de uso múltiplo ou aproveitamento energético (s)</b></p> | <p><b>Potencial de perdas de vidas humanas (t)</b></p>   | <p><b>Impacto ambiental (u)</b></p>  | <p><b>Impacto sócio-econômico (v)</b></p>  |
|--|--|--|--|
| <p><b>Pequeno <math>\leq 5 \text{ hm}^3</math><br/>(1)</b></p>   | <p><b>INEXISTENTE</b> (Não existem pessoas permanentes/ residentes ou temporárias/transitando na área a jusante da barragem)<br/>(0)</p>   | <p><b>SIGNIFICATIVO</b><br/>(quando a área afetada da barragem não representa áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais)<br/>(3)</p> | <p><b>INEXISTENTE</b><br/>(quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem)<br/>(0)</p>  |
| <p><b>Médio 5 a 75 <math>\text{hm}^3</math><br/>(2)</b></p>  | <p><b>POUCO FREQUENTE</b><br/>(Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local)<br/>(4)</p>   | <p><b>MUITO SIGNIFICATIVO</b><br/>(quando a área afetada da barragem apresenta interesse em legislação específica)<br/>(5)</p>   | <p><b>BAIXO</b><br/>(quando existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem)<br/>(4)</p>   |
| <p><b>Grande 75 a 200 <math>\text{hm}^3</math><br/>(3)</b></p>   | <p><b>FREQUENTE</b><br/>(Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe rodovia municipal ou estadual ou federal ou outro local e/ou empreendimento de permanência eventual de pessoas que poderão ser atingidas)<br/>(8)</p> | <p align="center">-</p>  | <p><b>ALTO</b><br/>(quando existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação)<br/>(8)</p> |
| <p><b>Muito grande <math>&gt; 200 \text{ hm}^3</math><br/>(5)</b></p>                                      | <p><b>EXISTENTE</b><br/>(Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas)<br/>(12)</p>  | <p align="center">-</p>  | <p align="center">-</p>  |



**Anexo II - MATRIZ PARA BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA**

**CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM QUANTO À CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL**

|                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| <b>Nome da barragem:</b>     | <b>Usina Três Irmãos</b> |
| <b>Nome do empreendedor:</b> | <b>CESP</b>              |
| <b>Data:</b>                 | <b>16/fev</b>            |

|  |                                      |               |
|--|--------------------------------------|---------------|
| <b>II.1 CATEGORIA DE RISCO</b>             |                                      | <b>Pontos</b> |
| 1  | Características Técnicas (CT)        | 14            |
| 2  | Estado de conservação (EC)           | 3             |
| 3  | Plano de Segurança de Barragens (PS) | 4             |
| <b>PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT+ EC + PS</b> |                                      | <b>21</b>     |

|  |                           |                    |
|--|---------------------------|--------------------|
| <b>FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO</b>   | <b>CATEGORIA DE RISCO</b> | <b>CRI</b>         |
|  | ALTO                      | ≥ 60 ou EC = 8 (*) |
|  | MÉDIO                     | 35 a 80            |
|  | BAIXO                     | ≤ 35               |
| (*) Pontuação 8 em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem. |                           |                    |

|  |                                 |               |
|--|---------------------------------|---------------|
| <b>II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b> |                                 | <b>Pontos</b> |
| <b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)</b>  |                                 | <b>24</b>     |
| <b>FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO</b>         | <b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b> | <b>DPA</b>    |
|  | ALTO                            | ≥ 16          |
|  | MÉDIO                           | 10 < DP < 16  |
|  | BAIXO                           | ≤ 10          |

|                                      |                                 |                  |
|--------------------------------------|---------------------------------|------------------|
| <b>RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:</b> |                                 |                  |
|                                      | <b>CATEGORIA DE RISCO</b>       | Alto/Médio/Baixo |
|                                      | <b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b> | Alto/Médio/Baixo |



## RESOLUÇÃO 742/2011

### Inspeções:

- Semestrais (barragens com DANO ALTO, independente do risco);
- anuais (DANOS E RISCO baixo ou médio)
- bianuais (DANOS E RISCO baixo)

## **Relatórios**

Dados do empreendedor, responsável técnico, classificação do nível de perigo da instalação em NORMAL, ATENÇÃO, ALERTA OU EMERGÊNCIA.



## GRANDES GERADORAS DO SETOR ELÉTRICO NACIONAL

- Possui equipes próprias ou terceirizadas de segurança de barragens;
- Filosofia de garantir a estabilidade e a integridade estrutural das barragens;
- Inspeções visuais e submersas;
- Monitoramento sismológico e por auscultação de instrumentos;
- Avaliação periódica da segurança estrutural de barragens;
- Todas atividades registradas em relatórios técnicos;
- Plano de emergência SOSEm- Sistema de Operação em Situação de Emergência, com regras operativas dos órgãos de descarga;
- Algumas Empresas possuem certificado do SGQ - sistema ISO 9001/2008.
  
- Possuem um “PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS”

***Poucas Barragens possuem PAE – Plano de Ação Emergencial***

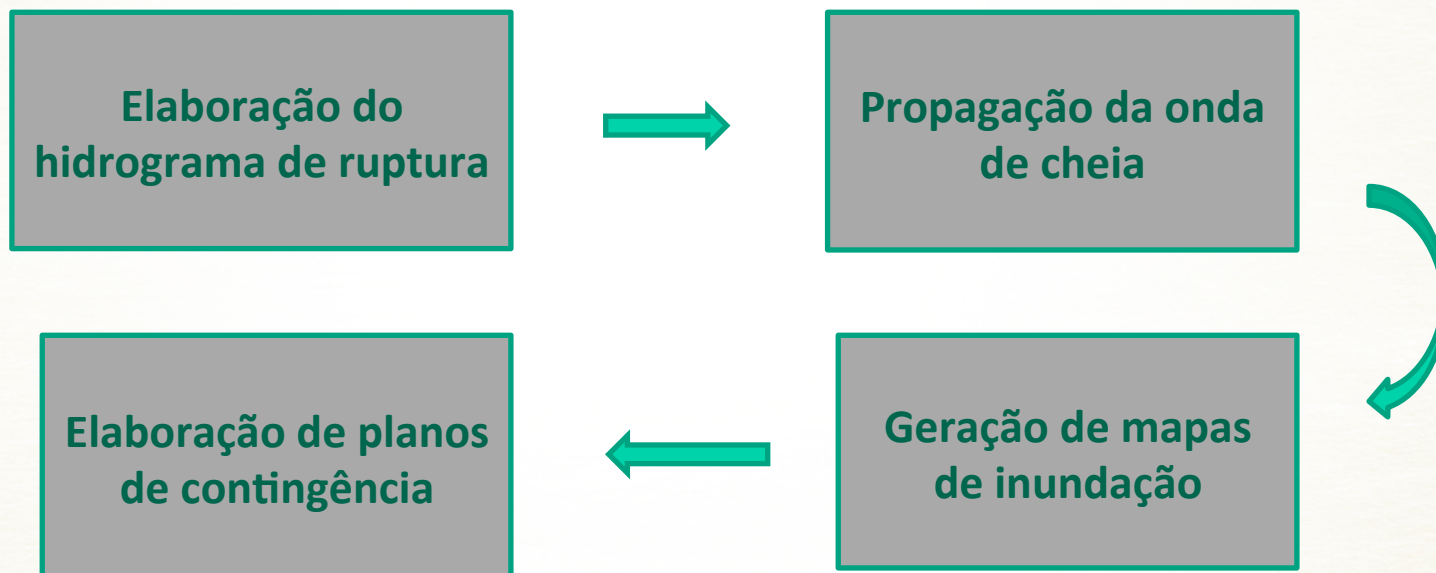


- GESTÃO ADOTADA PELA CESP PARA ELABORAR**
- PAE – PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL DA UHE TRÊS IRMÃOS**
- **Estudar o comportamento das ondas de cheia geradas por vazões induzidas e por vazões de ruptura hipotética da barragem;**
- **Avaliar o tempo de chegada da onda, a altura da lâmina d'água, e as cotas máximas alcançadas nos pontos de interesse ao longo do curso d'água para diferentes cenários;**
- **Gerar os mapas de inundação que deverá servir como base para a definição de um plano de evacuação da população na região impactada.**
- **Elaborar o PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL para entregar às defesas civis dos municípios impactados.**



## METODOLOGIA ADOTADA

- De acordo com o Boletim 111 do (ICOLD,1998), uma metodologia de análise de ruptura de barragem pode ser descrita em quatro passos:





v Diferentes formulações matemáticas para a determinação da vazão de pico

$$Q_{\max} = \frac{8}{27} B \sqrt{gY_{\text{médio}}}^{\frac{3}{2}}$$

Formulação desenvolvida por Saint-Venant para o caso de remoção instantânea e total do barramento.

$$Q_{\max} = 1,205 (H_d V)^{0,48}$$

**Hagen 1982**, fórmula baseada em observações de valores relativos a casos já ocorridos de ruptura.

$$Q_{\max} = 7,683 H_d^{1,909}$$

**Lou 1981, Mascarenhas 1990**, fórmula baseada na análise de 19 diferentes casos de ruptura de natureza diversa.

Fonte: Palmier , 2005



v Diferentes formulações matemáticas para a determinação do tempo de ruptura

$$Trup = 0,00254 \left( \frac{Vhid^{0,53}}{Hbre^{0,9}} \right)$$

$$Trup = 0,02 \cdot Hhid + 0,25$$

$$Trup = \frac{1}{30} Hbarr$$

**FROEHLICH, 1995. Equação redefinida tendo por base uma amostra de ruptura históricas**

**Von THUN e GILETTE, 1990. Equação válida para aterros com materiais resistentes a erosão**

**HARTFORD e KARTHA, 1995. Equação válida para barragens de aterro com menos de 60 metros de altura**

Fontes: VISEU, 2006 e o próprio autor



# VAZÃO DE PICO E HIDROGRAMA DE RUPTURA EFLUENTE

| Tabela 4.10 - Hidrograma de ruptura (BRASIL 2005) |  |
|---|--|
| Nome  | Hidrograma   |
| Hidrograma Triangular Simplificado                | <p> <math>Q \text{ (m}^3\text{/s)}</math><br/> <math>Q_p</math><br/> <b>Volume do reservatório</b><br/> <math>T_b</math><br/> <math>t \text{ (horas)}</math> </p> <p> <math>g A^* \square \frac{A \bar{t}}{J \omega}</math>, para <math>T_p = 0</math> </p>  |
|   | <p> <math>Q \text{ (m}^3\text{/s)}</math><br/> <math>Q_p</math><br/> <b>Volume do reservatório</b><br/> <math>T_p</math><br/> <math>T_b</math><br/> <math>t \text{ (horas)}</math> </p> <p> <math>g \square \square g A^* \square g A^* \left( \frac{\square \square x_I}{x_I \square x_I} \right)</math>, para <math>T_p \neq 0</math> </p> |

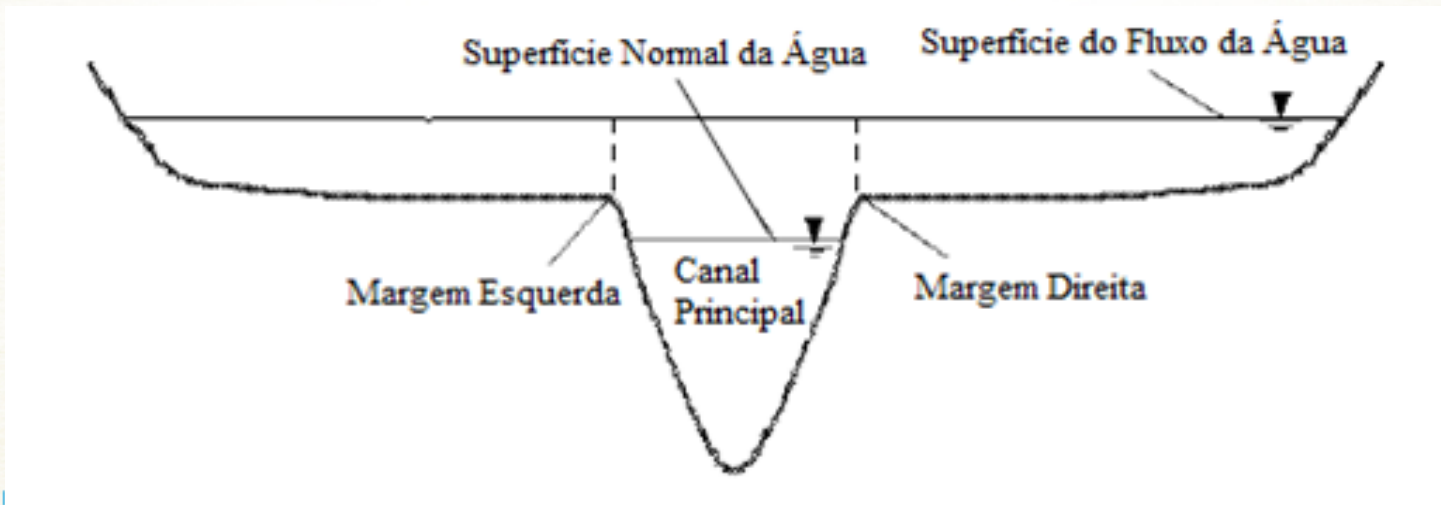
Fonte (Palmier, 2005)





## Propagação de ondas de cheia

### HEC-RAS modelo unidimensional de fluxo contínuo





## LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO

Definiu-se seções a partir da análise de mapa de satélite da base Google, sobre a qual foram justapostas as seções transversais de medição com as suas respectivas coordenadas georeferenciadas para ambas as margens.



**Rio Tietê com as seções definidas para o levantamento batimétrico e medida de vazão. (Imagem base Google)**



## 8.2 - LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO (CESP)

- Nivelamento geométrico de 8 seções;

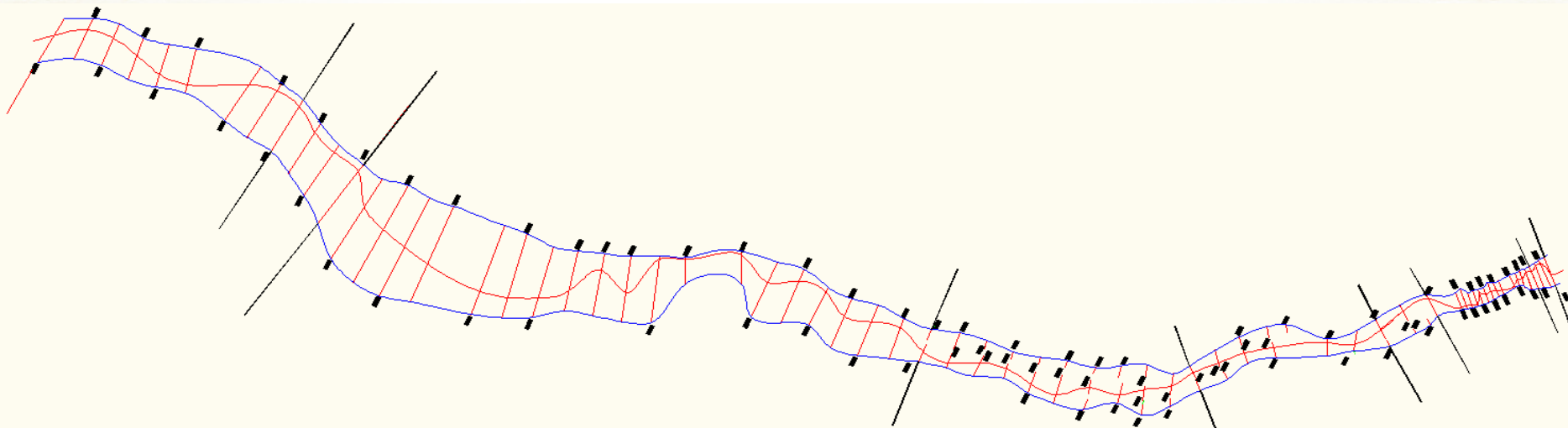
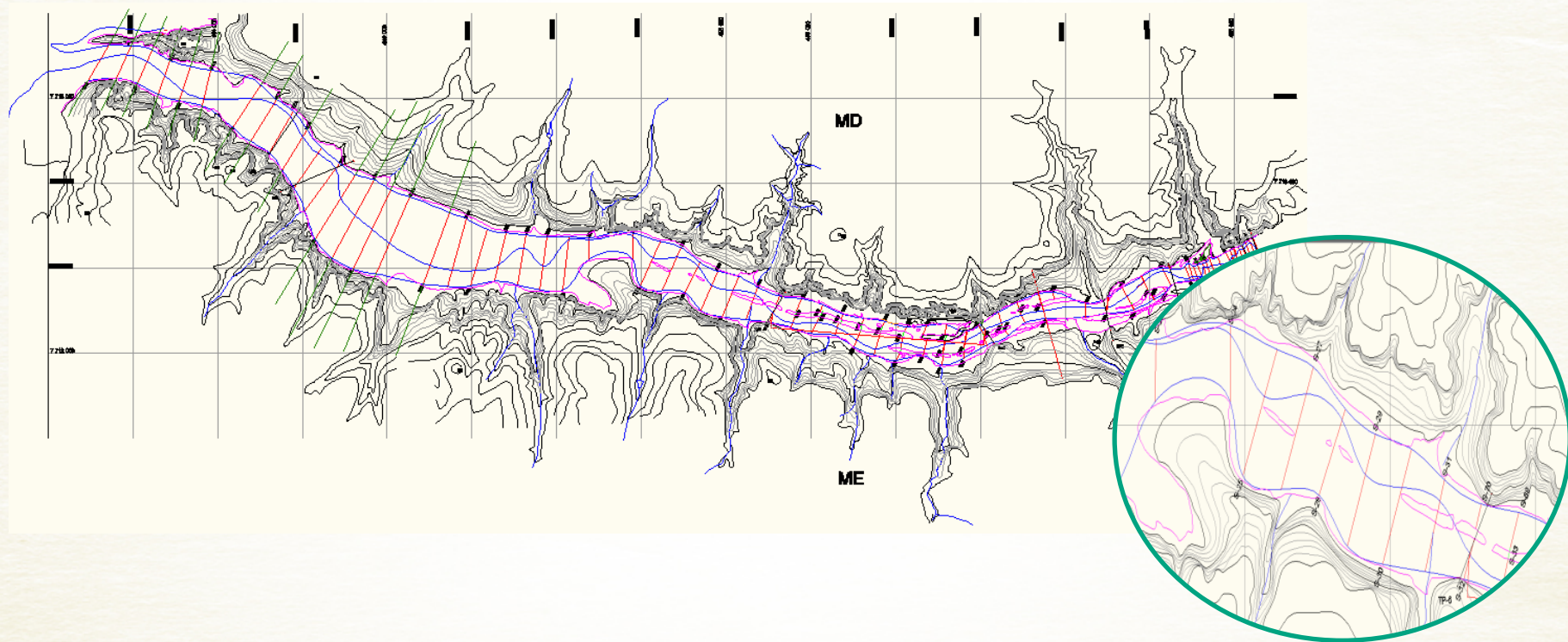


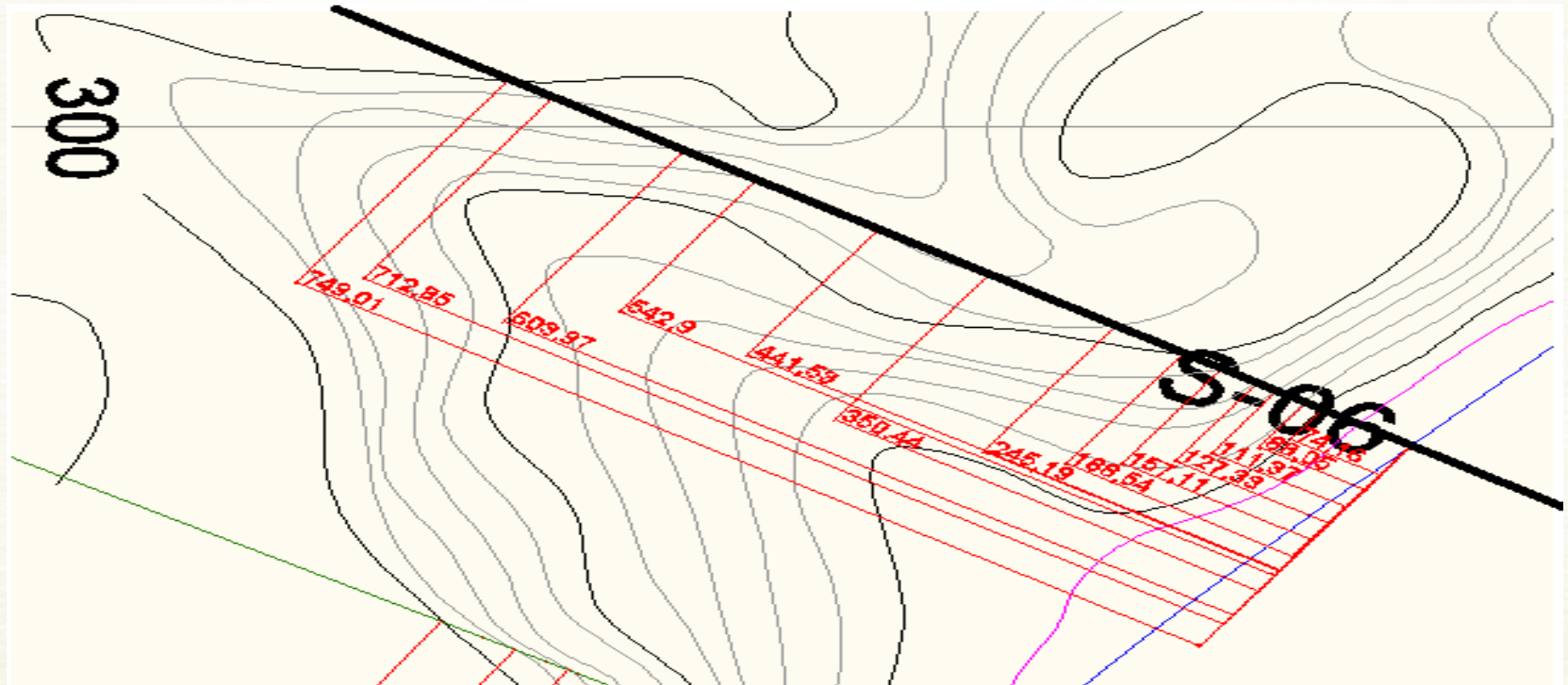
Figura 5 -Rio Tietê com as seções topo-batimétricas georreferenciadas.

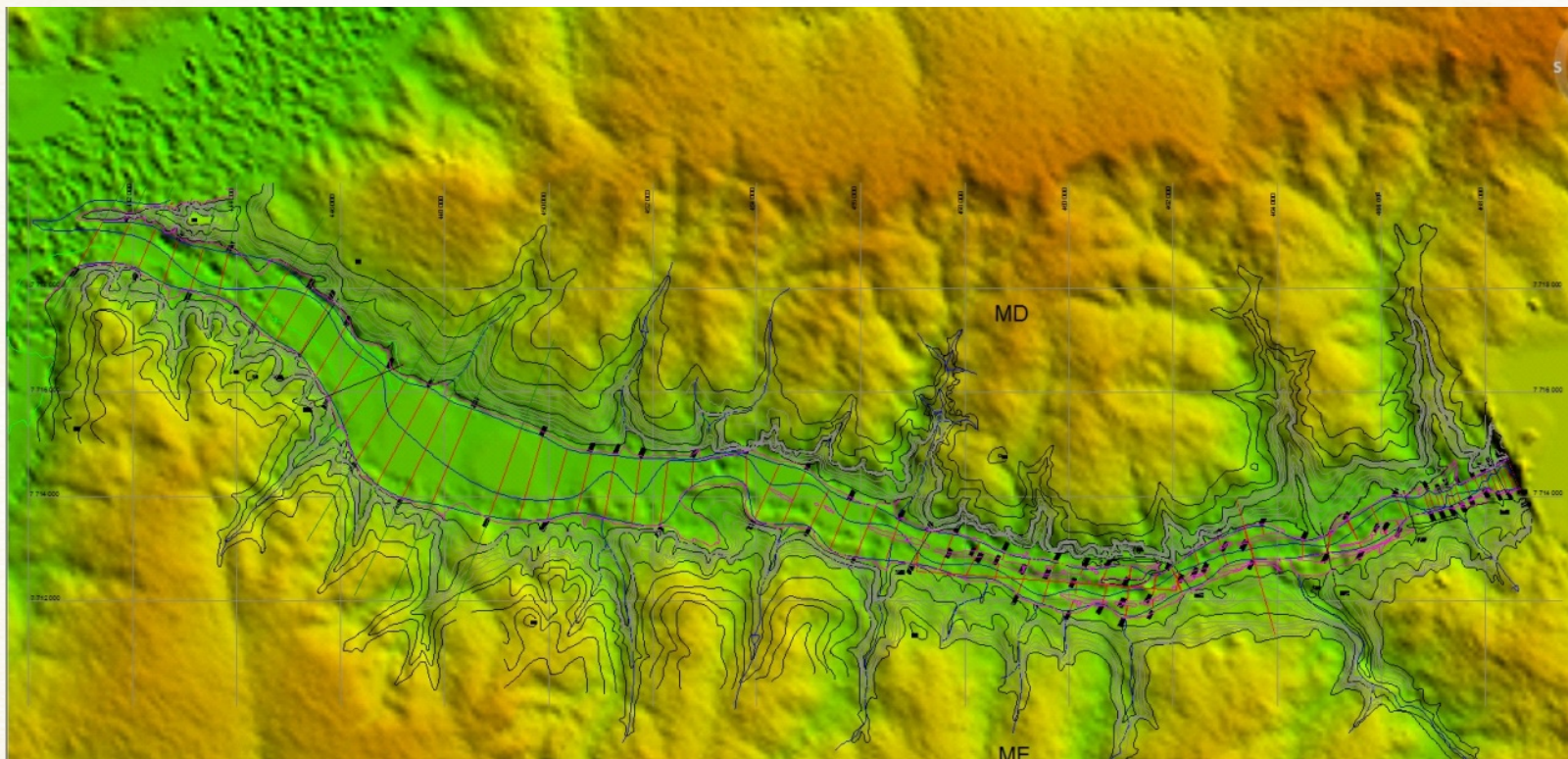
- CESP forneceu carta com curvas de desapropriação (283,00 m);
- Cartas do IGC, IBGE e levantamento topográfico.





# Dados de entrada do modelo





**Figura 6 – Imagem Rio Tietê com as curvas de nível georeferenciadas.**



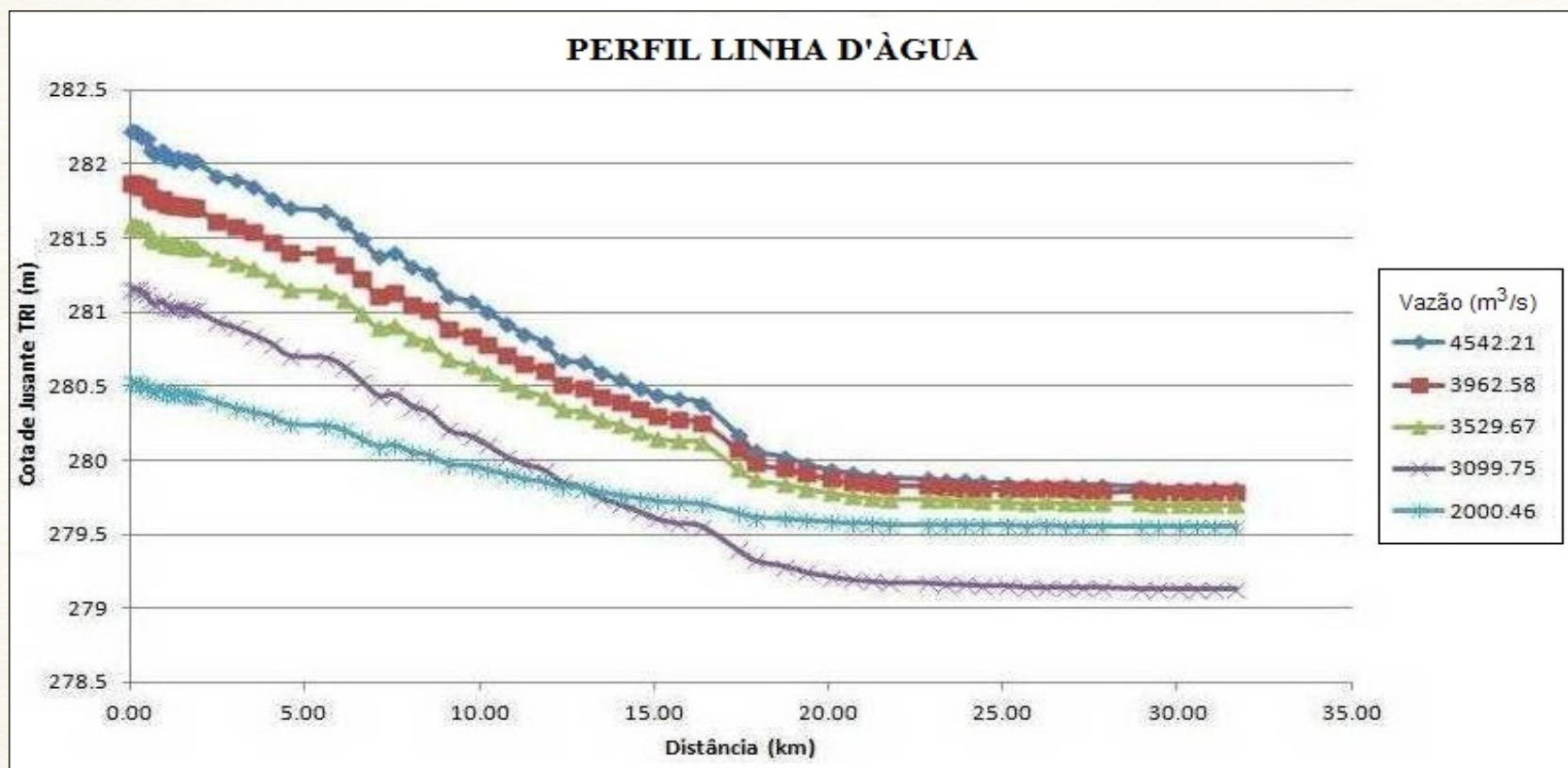
## Locais de interesse





## CALIBRAÇÃO

Dados históricos de vazões observadas na UHE Três Irmãos e níveis d'água obtidos na régua da UHE Jupuíá.



Fonte: próprio autor





## CENÁRIOS ESTUDADOS

**Cenário 1 - maior cheia registrada:** Defluência máxima registrada na Barragem - vazão de 4.600 m<sup>3</sup>/s;

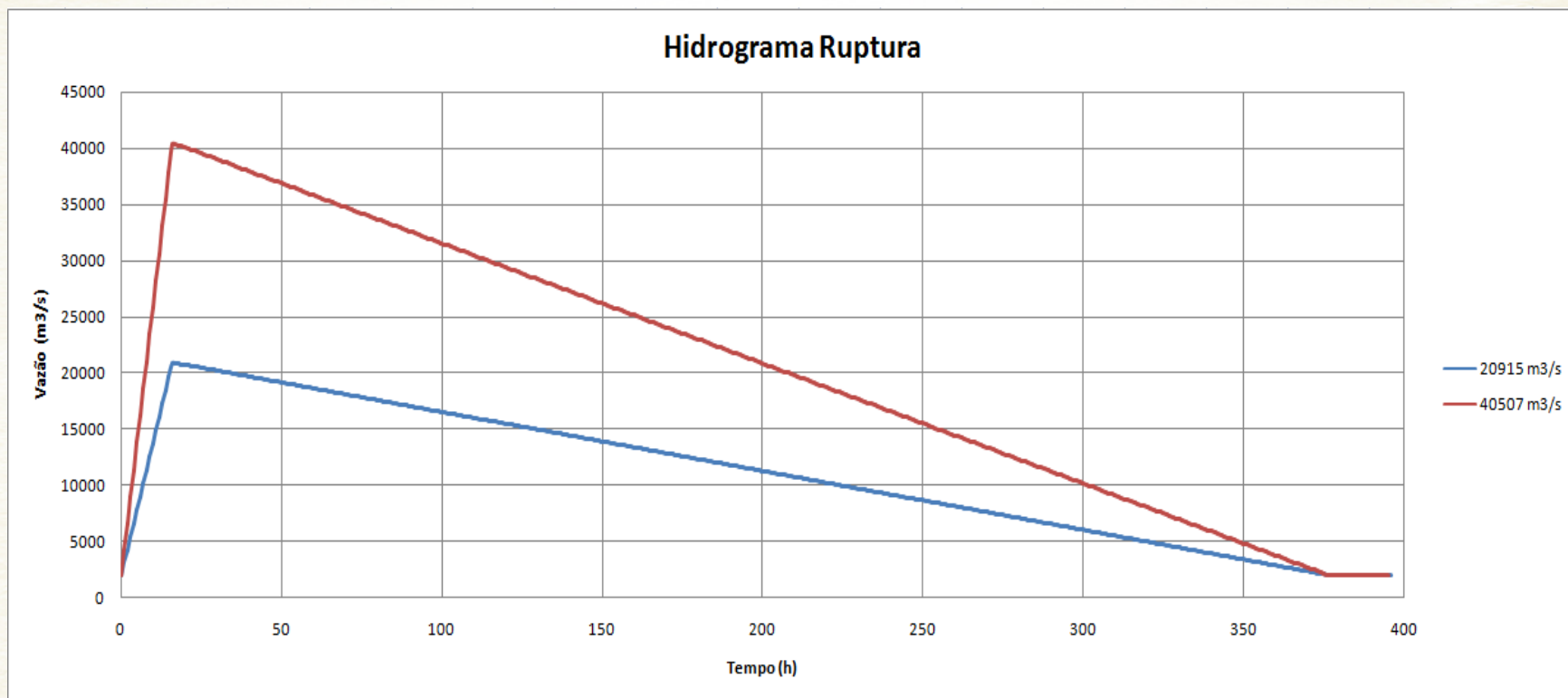
**Cenário 2 - operação extrema:** Este cenário considera um evento de cheia que leva os órgãos extravasores da barragem a um funcionamento em condições críticas, sem entretanto ocorrer o colapso da estrutura, onde a vazão máxima é de 11.000 m<sup>3</sup>/s;

**Cenário 3 – vazão de ruptura:** Este cenário considera um evento de cheia em que a vazão de ruptura para a barragem proposta por Lou (1981) apud Mascarenhas (1990) é de 20.915 m<sup>3</sup>/s;

**Cenário 4 – vazão de ruptura:** Este cenário considera um evento de cheia em que a vazão de ruptura para a barragem proposta por Bureau of Reclamation é de 40.507 m<sup>3</sup>/s.



# RESULTADO

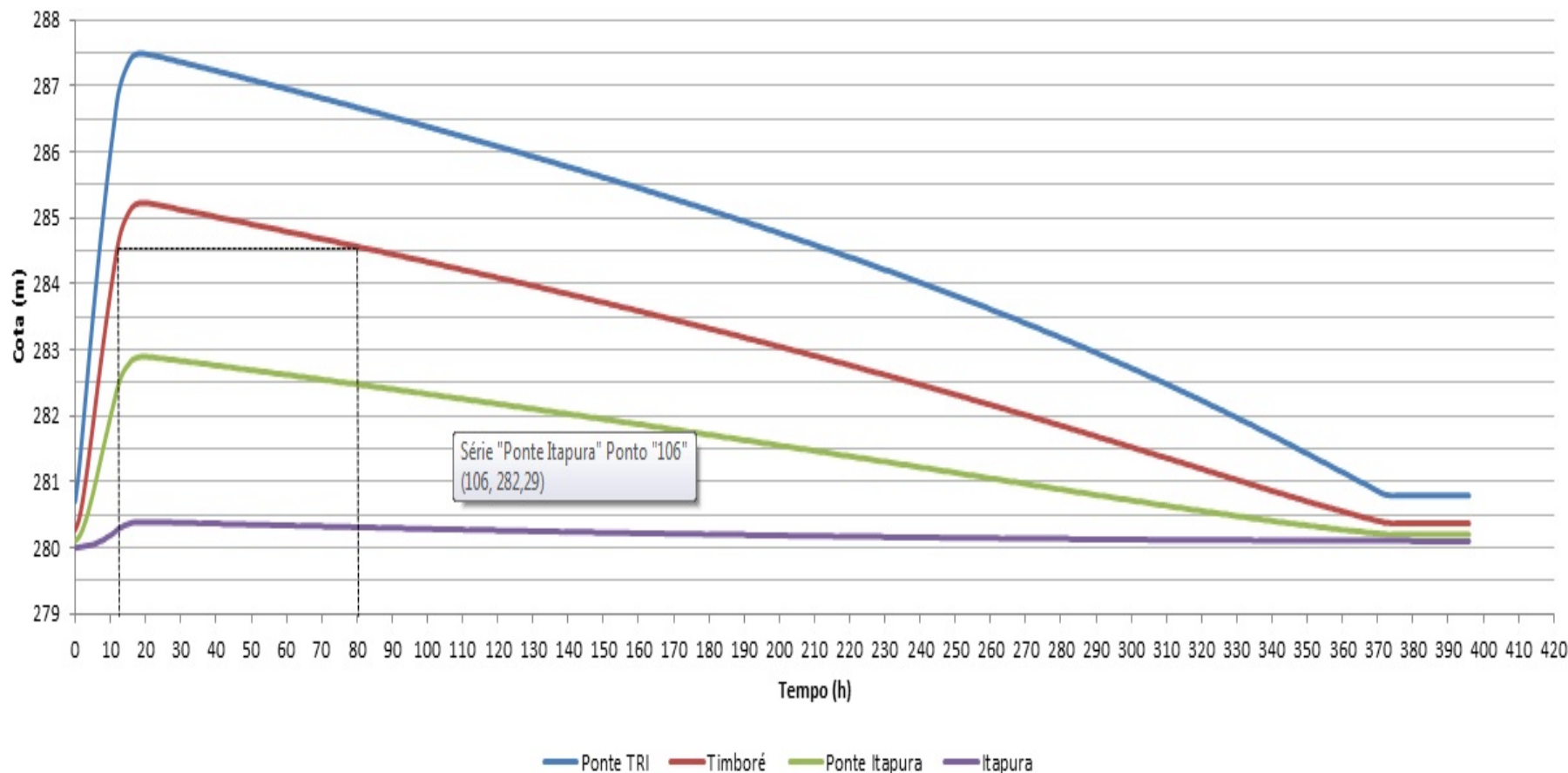


Fonte: próprio autor



## Tempo que as edificações da Vila Timboré permanecerão inundadas.

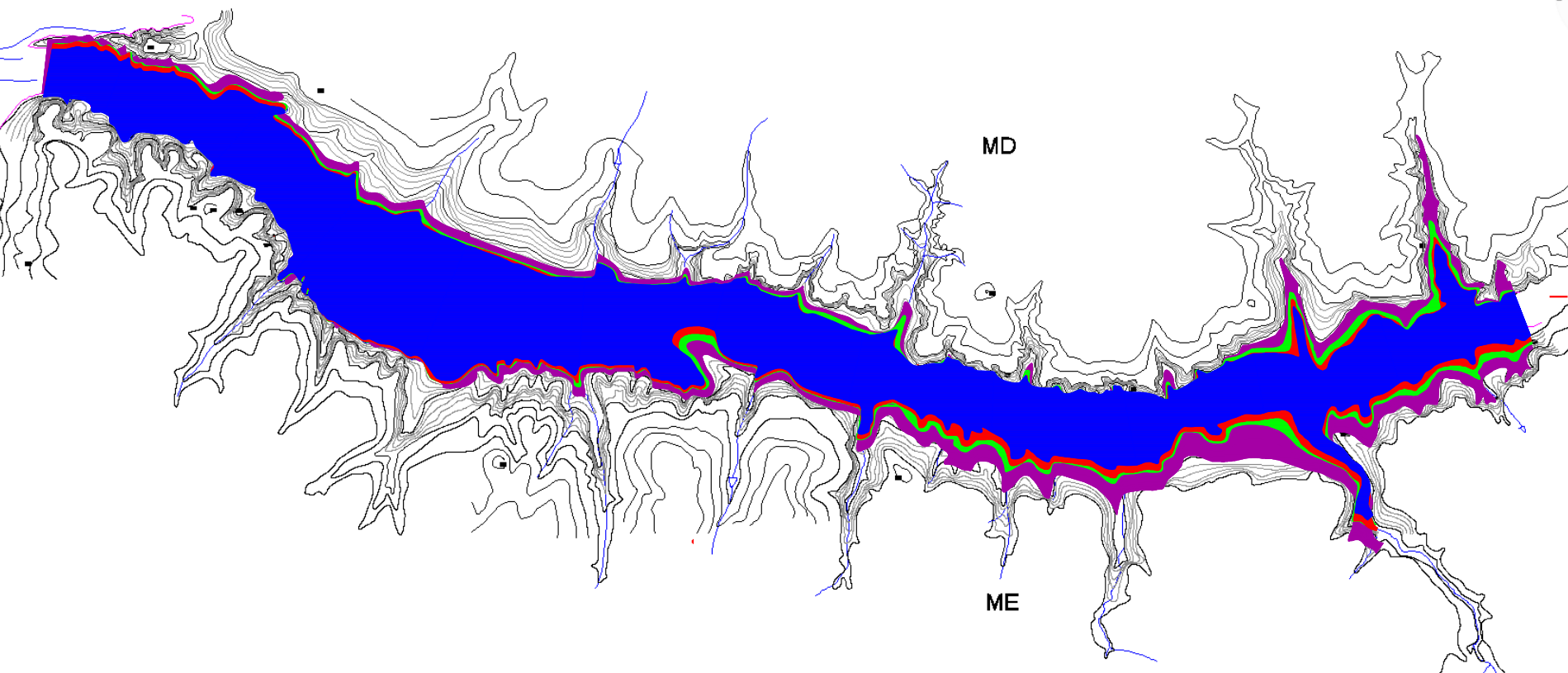
Nível D'água x Tempo - TP=14h - V=20.915 m<sup>3</sup>/s



Fonte: próprio autor



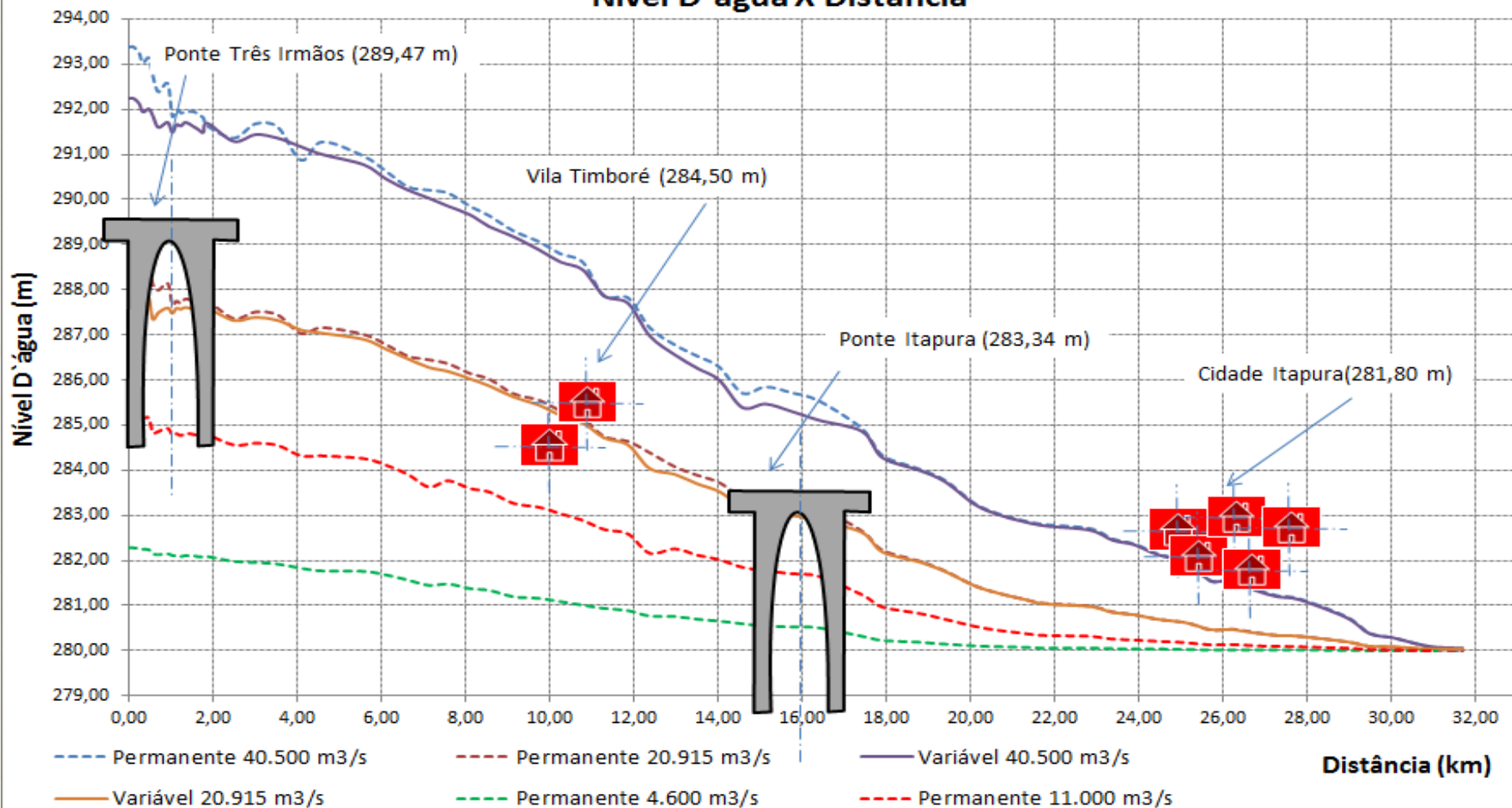
## PROPAGAÇÃO DA ONDA DE RUPTURA PARA OS CENÁRIOS ESTUDADOS.





## RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES EM REGIME VARIÁVEL E E PERMANENTE

### Nível D`água X Distância



# Ponte Três Irmãos

↓ Tabuleiro Ponte 289,47m

NA = 287,49 m

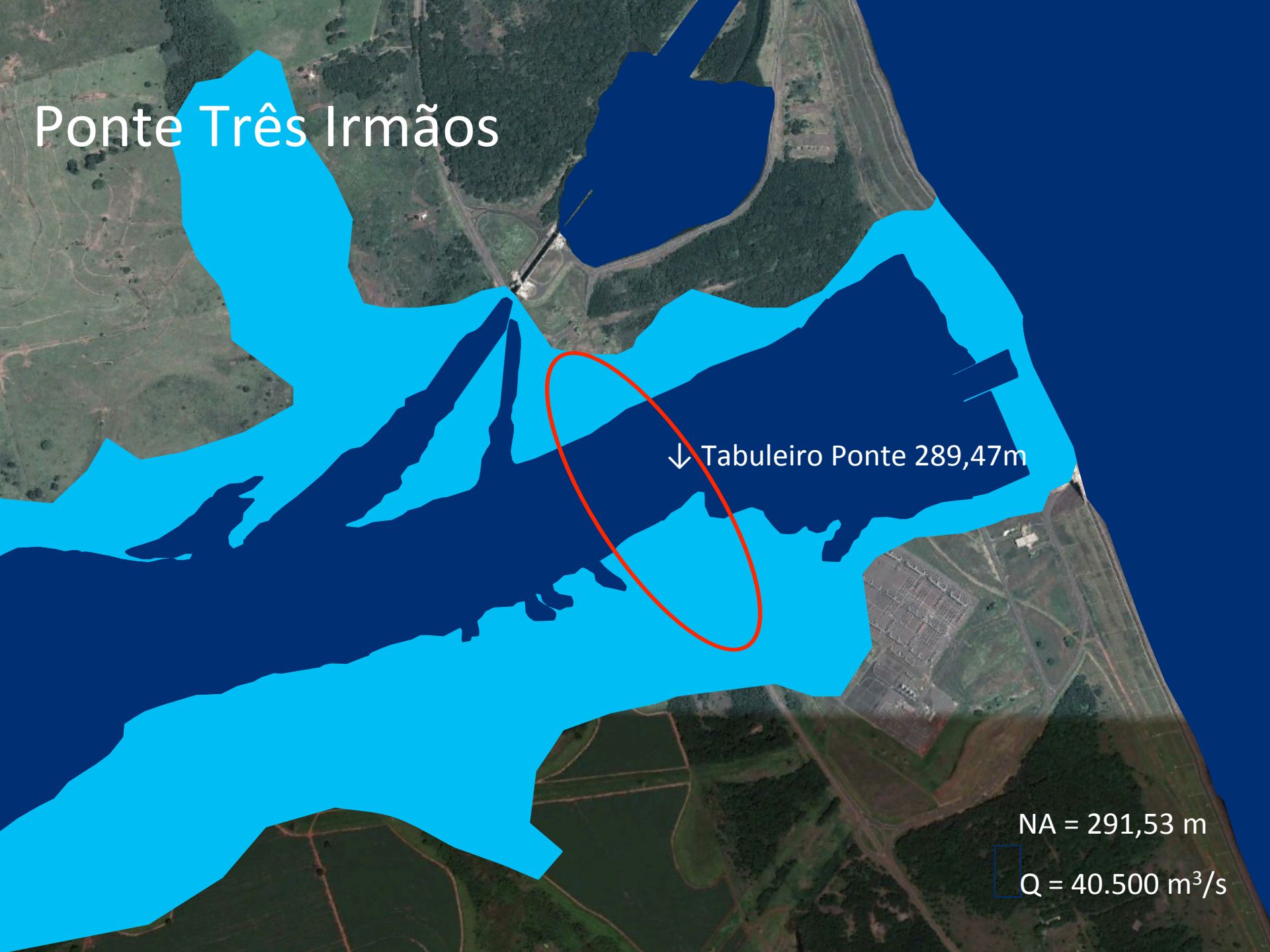
Q = 20.900 m<sup>3</sup>/s

# Ponte Três Irmãos

↓ Tabuleiro Ponte 289,47m

NA = 291,53 m

Q = 40.500 m<sup>3</sup>/s



# Ponte Itapura

↓ Tabuleiro Ponte 283,34m

NA = 282,90 m

Q = 20.900 m<sup>3</sup>/s





Ponte Itapura

↓ Tabuleiro Ponte 283,34m

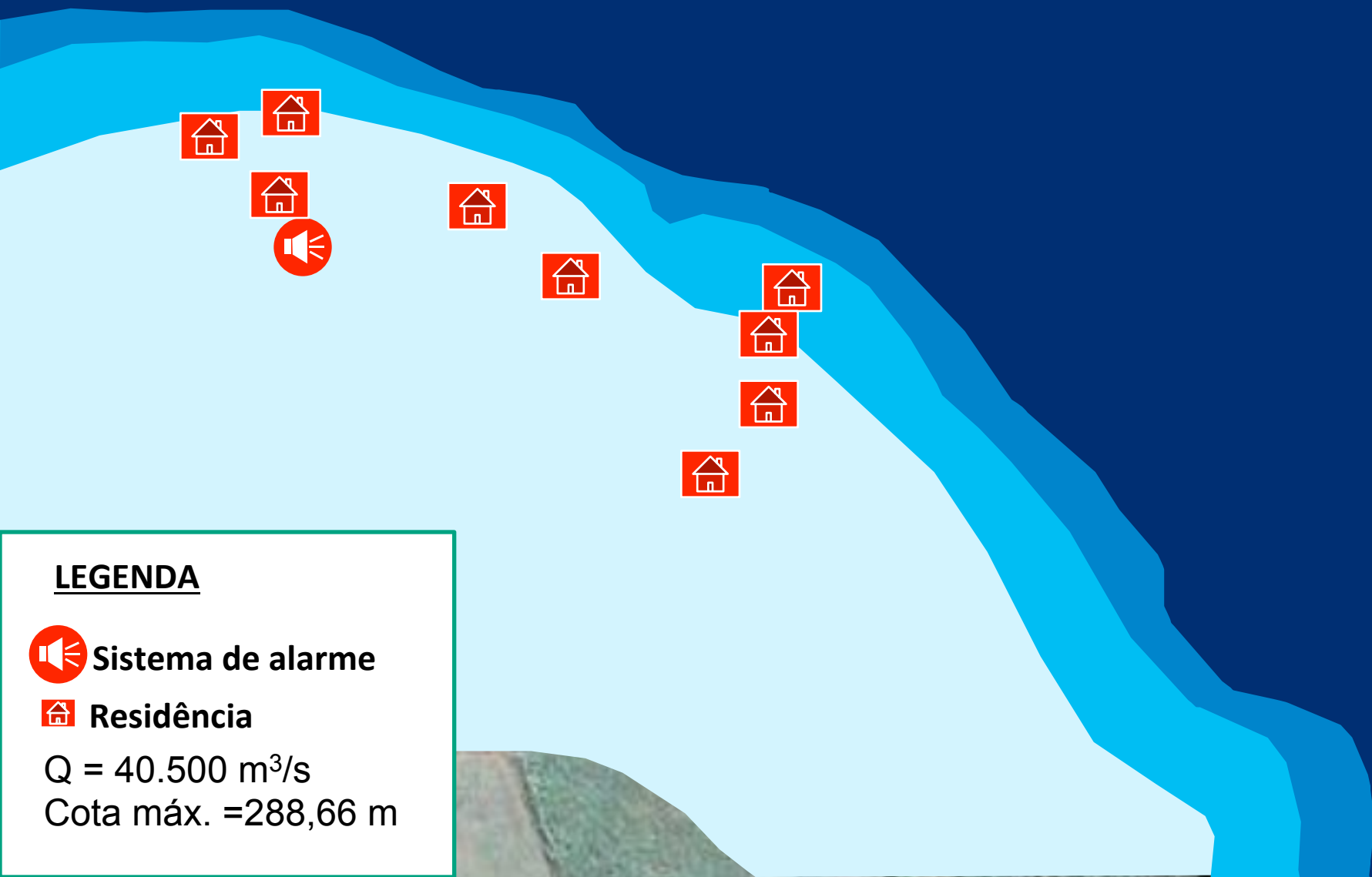
NA = 285,13 m

Q = 40.500 m<sup>3</sup>/s

# Vila Timboré



# Vila Timboré



## LEGENDA

 Sistema de alarme





 Residência

$Q = 40.500 \text{ m}^3/\text{s}$



Cota máx. = 288,66 m



### LEGENDA

-  Sistema de alarme
-  Elevatória de esgoto
-  Residência
-  Praia pública

### PROFUNDIDADE

-   $V: 40.500 \text{ m}^3/\text{s}$   $H < 1,00 \text{ m}$
-   $V: 20.915 \text{ m}^3/\text{s}$   $H < 0,50 \text{ m}$

 Prefeitura

 Delegacia

**ITAPURA**

| Cenário | Vazão Máx (m³/s) | Local             | Dist. (m) | Cota local (m) | Cota máxima (m) | H Lâmina (m) | Tempo Chegada (min) | Vel. (m/s) | Risco Hidrodin. (m²/s) |
|---------|------------------|-------------------|-----------|----------------|-----------------|--------------|---------------------|------------|------------------------|
| 1       | 4.600,0          | Ponte Três Irmãos | 1.020,00  | 289,47         | 282,11          |              | 13,28               | 1,28       |                        |
|         |                  | Vila Timborê      | 10.240,00 | 284,50         | 281,09          |              | 126,42              | 1,35       |                        |
|         |                  | Ponte Itapura     | 16.380,00 | 283,34         | 281,50          |              | 407,46              | 0,67       |                        |
|         |                  | Cidade Itapura    | 26.780,00 | 281,00         | 280,02          |              | 1.144,44            | 0,39       |                        |
| 2       | 11.000,0         | Ponte Três Irmãos | 1.020,00  | 289,47         | 284,78          |              | 7,69                | 2,21       |                        |
|         |                  | Vila Timborê      | 10.240,00 | 284,50         | 283,04          |              | 75,18               | 2,27       |                        |
|         |                  | Ponte Itapura     | 16.380,00 | 283,34         | 281,65          |              | 206,82              | 1,32       |                        |
|         |                  | Cidade Itapura    | 26.780,00 | 281,00         | 280,11          |              | 485,15              | 0,92       |                        |
| 3 - 1h  | 20.915,0         | Ponte Três Irmãos | 1.020,00  | 289,47         | 287,48          |              | 4,28                | 3,97       |                        |
|         |                  | Vila Timborê      | 10.240,00 | 284,50         | 285,22          | 0,72         | 53,16               | 3,21       | 2,31                   |
|         |                  | Ponte Itapura     | 16.380,00 | 283,34         | 282,89          |              | 131,25              | 2,08       |                        |
|         |                  | Cidade Itapura    | 26.780,00 | 281,00         | 280,39          |              | 268,87              | 1,66       |                        |
| 3 - 14h | 20.915,0         | Ponte Três Irmãos | 1.020,00  | 289,47         | 287,49          |              | 5,41                | 3,14       |                        |
|         |                  | Vila Timborê      | 10.240,00 | 284,50         | 285,22          | 0,72         | 54,35               | 3,21       | 2,31                   |
|         |                  | Ponte Itapura     | 16.380,00 | 283,34         | 282,90          |              | 97,50               | 2,80       |                        |
|         |                  | Cidade Itapura    | 26.780,00 | 281,00         | 280,39          |              | 270,50              | 1,65       |                        |
| 4 - 1h  | 40.500,0         | Ponte Três Irmãos | 1.020,00  | 289,47         | 291,49          | 2,02         | 3,93                | 4,33       | 8,74                   |
|         |                  | Vila Timborê      | 10.240,00 | 284,50         | 288,62          | 4,12         | 39,78               | 4,29       | 17,67                  |
|         |                  | Ponte Itapura     | 16.380,00 | 283,34         | 285,11          | 1,77         | 86,94               | 3,14       | 5,56                   |
|         |                  | Cidade Itapura    | 26.780,00 | 281,00         | 281,33          | 0,33         | 152,85              | 2,92       | 0,96                   |
| 4 - 14h | 40.500,0         | Ponte Três Irmãos | 1.020,00  | 289,47         | 291,53          | 2,06         | 3,92                | 4,33       | 8,92                   |
|         |                  | Vila Timborê      | 10.240,00 | 284,50         | 288,66          | 4,16         | 39,68               | 4,30       | 17,89                  |
|         |                  | Ponte Itapura     | 16.380,00 | 283,34         | 285,13          | 1,79         | 86,66               | 3,15       | 5,64                   |
|         |                  | Cidade Itapura    | 26.780,00 | 281,00         | 281,35          | 0,35         | 151,82              | 2,94       | 1,02                   |



# PRINCIPAIS CONCLUSÕES

- O estudo foi necessário porque a UHE Três Irmãos foi classificada como sendo de Dano Potencial Alto;
- Não existe risco de ruptura em cascata, porque a UHE Jupia situada a jusante; tem capacidade de controlar vazões até 50.000 m<sup>3</sup>/s;
- A modelação 1-D forneceu resultados adequados para subsidiar a elaboração do PAE;
- Os estudos em regime permanente e variável apresentaram diferenças pequenas no NA máximo;
- Facilidade técnica para elaboração dos estudos.

ALMEIDA, A. B. Emergências e gestão do risco. In: CURSO DE SEGURANÇA E EXPLORAÇÃO DE BARRAGENS, 1, **Curso...** Instituto da Água de Portugal, 2006. 99 p.

AZAÑEDO, J. C. C. Seguridad de presas: experiencia española. In: CONFERÊNCIA DO CURSO DE EXPLORAÇÃO E SEGURANÇA DE BARRAGENS, 2006. Instituto da Água de Portugal, 2006. 99 p.

BALBI, D. A. F. **Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens**. estudo de caso: barragem de Peti – MG. 2008. (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BARFIELD, B. J.; WARNER, R. C.; HAAN, C. T. **Applied hydrology and sedimentology for disturbed areas**. Stillwater: Oklahoma Technical, 1981. 108 p.

BARTHELEMY, F.; MARTIN, X.; NICOLAZO, J. **La réglementation en matière de sécurité des barrages et des digues. l'inspection générale de l'environnement**. Paris: Conseil Général des Mines, 2004. 89 p.

BARKAU, R. L. **Simulation of the July 1981 Flood Along the Salt River, CE695BV**. Colorado: Department of Civil Engineering, Colorado, State University, Ft. Collins, 1982.

BEAVERS, M. A. **Floodplain determination using HEC-2 and geographic information systems**. 1994. Dissertation (Masters Thesis Engineering) - Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin.

BRASIL. **Agência Nacional de Águas**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

BRASIL. **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 12 jul. 2012.

BRASIL. **Departamento Nacional de Produção Mineral**. Disponível em: <<http://www.dnppm.gov.br/>>. Acesso em: 15 set. 2012.

BRASIL. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em: 7 set. 2012.

BRASIL. **Departamento Nacional de Produção Mineral**. Disponível em: <<http://www.dnppm.gov.br/>>. Acesso em: 12 set. 2012.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. **Diário Oficial da União, República Federativa do Brasil**, 21 set. 2010. p. 1 Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm)>. Acesso em: 12 jul. 2012.

BRASIL. **Política Nacional de Defesa Civil**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2007. 82 p.

BRASIL. Projeto de lei nº 1181, de julho de 2003. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB e cria o Conselho Nacional de Segurança de Barragens – CNSB e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB. **Câmara dos Deputados**. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/>> Acesso em: 20 out. 2006.

BRASIL, L. S. S. et al. Modelagem unidimensional de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética de barragem-estudo de caso: barragem de Rio de Pedras, Minas Gerais, Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABRH, 2005.

BUREAU OF RECLAMATION. **Design of small dams**. Colorado: Department of the Interior, 1987. 904 p.

BUREAU OF RECLAMATION. **Guidelines for defining inundated areas downstream from Bureau of Reclamation dams**. Colorado: Department of the Interior, 1982. 22 p.

COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS – CBDB. Disponível em: <<http://www.cbdb.org.br/>>. Acesso em: julho 2012.

COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS – CBDB. **Procedimentos computacionais para engenharia de barragens – confiabilidade e aplicabilidade**. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2008b. 161 p. (Boletim 122 do ICOLD).

COMITÊ BRASILEIRO DE GRANDES BARRAGENS – CBDB. **Guia básico de segurança de barragens**. São Paulo: CBDB, 1999.

Commission of Large Dams, 1995. 63 p. (Bulletin, 99).

INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS - ICOLD. **Improvement of existing dam monitoring: recommendations and case histories**. Paris: International Commission of Large Dams, 1992. 63 p. (Bulletin, 87).

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS - ICOLD. **Dam break flood analysis: review and recommendations**. Paris: ICOLD, 1998. 301 p. (Boletim, 111)

ITCOLD. **Classificazione delle dighe**: Informazioni sulle esperienze in altri paesi. Comparazioni, riflessioni. Comitato Nazionale Italiano delle Grandi Dighe. S. I.: ITCOLD. 2004.

ITCOLD. **Comitato Nazionale Italiano delle Grandi Dighe**. Disponível em: <<http://itcold.it/>>. Acesso em: 12 nov. 2008.

JONES, J. L.; HALUSKA T. L.; WILLIAMSON, A. K; ERWIN, M. L. **Updating flood maps efficiently** : building on existing hydraulic information and modern elevation data with a GIS. Washington: Geological Survey, 1998. p. 12. (Geological Survey Open-File Report, 98-200)

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - LNEC. **Aspectos hidráulicos da segurança de barragens**. Lisboa: Departamento de Hidráulica, Lisboa, 1994. 39 p.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - LNEC. **Risco e Gestão de Crises em Vales a Jusante de Barragens**. Lisboa: Departamento de Hidráulica, Lisboa, 1997. 151 p.

LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL - LNEC. **Some considerations on the durability of dams**. Lisboa: Departamento de Hidráulica, Lisboa, 1990. 30 p. (ICT/INCB, 6).

LI-QIU, Y.; QI-CHEN, Z. Legislation on dam safety in China. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW TRENDS AND GUIDLINES ON DAM SAFETY, 1998, Barcelona. **Proceedings...** Barcelona: by L. Berga, v.1, jun. 1998.

LOU, W. C. **Mathematical modeling of earth dam breaches**. 1981. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade do Estado do Colorado, Colorado, Estados Unidos, 1981.

MASCARENHAS, F. C. B. **Modelação matemática de ondas provocadas por ruptura de barragens**. 1990. 291 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990.

MMA. **Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino**. Disponível em: <[www.mma.es/](http://www.mma.es/)>. Acesso em: 20 dez. 2008.

MENESCAL, R. A. **Gestão da segurança de barragens no Brasil**: proposta de um sistema integrado, descentralizado, transparente e participativo. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2009.

MENESCAL, R. A. Panorama da segurança de barragens no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 14., 2008a. Búzios. **Anais...** Búzios: ABMS, 2008a.

MENESCAL, R. A.; VILANI, D. Plano de administração, operação e manutenção de obras de infra-estrutura hídrica como instrumento de gestão. A experiência do PROÁGUA/Semi-Árido – Águas Vermelhas – MG. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 7., 2004b, São Luiz. **Anais...** São Luiz: ABRH, 2004b.

MENESCAL, R. A. Regulamentação de Segurança de Barragens no Brasil. In: SIMPÓSIO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS E RISCOS ASSOCIADOS, 3., 2008b. Salvador. **Anais...** Salvador: CBDB, 2008b.

MORRIS, M. W.; GALLAND, J. C. **Dambreak modeling**: guidelines and best practice. Reino Unido: CADAM Project, 2000. 32 p.

PLANNING, 2000. **Seinajovi. Proceedings of the...** Seinajovi: Finnish Environment Institute, 2000.

TCU. Tribunal de Contas da União. **Regulação de serviços públicos e controle externo**. Brasília: TCU, 2008. 496 p.

WISEU, T.; ALMEIDA, A. B. Plano de emergência Interno de barragens. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 5., 2000, Lisboa. **Anais...** Lisboa, 2000. Disponível em: <[http://www.dha.lnec.pt/nre/portugues/funcao/papers/tviseu/5cong\\_agua.pdf](http://www.dha.lnec.pt/nre/portugues/funcao/papers/tviseu/5cong_agua.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2005.

WISEU, T.; ALMEIDA, A. B. **Controlo de segurança de barragens**: jornada técnica sobre “risco e gestão de crises em vales a jusante de barragens”. Lisboa: LNEC, 1997.

WISEU, T.; ALMEIDA, A. B. **Segurança dos vales a jusante de barragens**: metodologias de apoio à gestão dos riscos. 2006. 482 f. Tese (Doutorado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

WISEU, T.; MARTINS, R. Optimização de recursos nas acções de segurança de barragens. In: SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA (SILUSBA), 3., 1997, Moçambique. **Anais...** Moçambique: Maputo, 1997. 10 p.

VON THUN, J. L. ; GILLETTE, D. R. **Guidance on break parameters**. Internal Denver: Document, U. S. Bureau of Reclamation, 1990.

WETMORE, J. N.; FREAD, D. L. The NWS simplified dam break flood forecasting model. In: CANADIAN HYDROTECHNICAL CONFERENCE, 5., 1981, Canada. **Proceedings...** Canada: [S.n.], 1981.

WORLD BANK. **Banco Mundial**. Disponível em: <[www.worldbank.org/](http://www.worldbank.org/)>. Acesso em: 15 jul. 2008.