

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

Eng.º EUCLYDES CESTARI JUNIOR

**ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO PARA
ELABORAÇÃO DE PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL DE BARRAGENS – UHE
TRÊS IRMÃOS ESTUDO DE CASO**

Ilha Solteira

2013

Eng.º EUCLYDES CESTARI JUNIOR

**ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE ONDAS EM PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO PARA
ELABORAÇÃO DE PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL DE BARRAGENS – UHE
TRÊS IRMÃOS ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais

Prof. Dr. MILTON DALL’AGLIO SOBRINHO

Orientador

Ilha Solteira

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- C423e Cestari Júnior, Euclides.
Estudo de propagação de ondas em planície de inundação para elaboração de plano de ação emergencial de barragens : UHE Três Irmãos estudo de caso / Euclides Cestari Júnior. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2014
189 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Recursos Hídricos e Tecnologia Ambiental, 2014
- Orientador: Milton Dall'Áglia Sobrinho
Inclui bibliografia
1. Segurança de barragens. 2. Propagação de ondas. 3. Planície de inundação. 4. Plano de ação emergencial.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Estudo da propagação de ondas em planície de inundação para elaboração de plano de ação emergencial de barragens - UHE Três Irmãos estudo de caso

AUTOR: EUCLYDES CESTARI JUNIOR

ORIENTADOR: Prof. Dr. MILTON DALL AGLIO SOBRINHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. MILTON DALL AGLIO SOBRINHO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. GERALDO DE FREITAS MACIEL
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. CARLOS HENRIQUE DE ALMEIDA COUTO MEDEIROS
Departamento de Tecnologia / Universidade Estadual de Feira de Santana

Data da realização: 25 de setembro de 2013.

“As pessoas mais felizes não têm as melhores coisas.
Elas sabem fazer o melhor das oportunidades que aparecem em seus caminhos.”

“Autor desconhecido”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a UNESP através do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – PPGEC pela oportunidade de retomar meus estudos após 25 anos, ao orientador Prof. Dr. Milton Dall’Aglio Sobrinho e aos professores do Departamento de Engenharia Civil.

Aos funcionários CESP – Companhia Energética de São Paulo, Wilerson A. Cestari, Gilberto José da Paz, Marco Antônio Piquera, Valter Ramos dos Santos, Luiz Alberto Casagrande, José Adelino do Nascimento, Francisco A. A. Gouveia, Weder Soares de Oliveira, Rogério de Oliveira, Henri Manoel de Oliveira Ribeiro, Luiz Roberto Corrêa Rodrigues, Maria V. de O. Codonho, Heron Luiz Oliveira, Oracy Fortunato da Silva, Julio César Pínfari, Edvaldo Fábio Carneiro, Marco Antônio Marques, Jairo Fuzeto, Gilson Giansante, Carlos Armando Teixeira, Danilo Chirzóstomo, Alberto Guilherme de Oliveira Bezerra, Bruno Kaoru Onohara Neto, William Conte e Juliano Sá Ramos.

Por fim, agradeço aos meus pais Euclides e Harmina pelos anos de sacrifício despendidos com a minha formação, educação e por todo amor que nunca me faltou.

A minha esposa Eliane Regina de Sá Cestari e meus filhos Rodrigo de Sá Cestari e Beatriz de Sá Cestari. A eles devo muito mais do que um simples obrigado, por causa deles posso lutar pelos meus objetivos. Em especial, agradeço "in memoriam" ao nosso saudoso colega de trabalho engenheiro Silvio Samara.

RESUMO

No Brasil existe um número significativo de pessoas que residem em regiões situadas a jusante de barragens. A Lei 12.334/2010 determina aos proprietários de barragens a elaboração de um Plano de Segurança e um Plano de Ação Emergencial para barragens classificadas como passíveis de provocar Dano Potencial Alto.

O presente trabalho busca avaliar o comportamento das ondas de cheia geradas por vazões induzidas e vazão de ruptura hipotética da barragem da usina hidrelétrica de Três Irmãos, da CESP - Companhia Energética de São Paulo, para elaboração de um Plano de Ação Emergencial. Foram avaliados os tempos de chegada da onda, as cotas e vazões máximas alcançadas em diferentes pontos do curso d'água, para diferentes cenários. São apresentados mapas de inundação indicando a área atingida pela onda de ruptura que serviram de base para definição de plano de evacuação da população impactada.

Foi usado o modelo hidrodinâmico unidimensional HEC-RAS, calibrado a partir da reprodução de níveis d'água históricos. Os hidrogramas de ruptura gerados a partir de diferentes equações resultaram em vazões máximas entre 20.915 e 40.507 m³/s, com tempos de abertura de brecha entre 1,0 e 14,0 h. A onda de cheia foi propagada em uma extensão de 32 km desde a usina até a confluência com o rio Paraná. Os resultados mostraram pouca variação tanto na extensão quanto no tempo de submersão das áreas atingidas pela inundação, com diferença sensível apenas no tempo de chegada do pico. Além disso, as simulações em regime permanente e variável não apresentaram grandes variações nas cotas máximas observadas a jusante, o que mostra que a cheia gerada pela ruptura tem características de onda cinemática, devido ao longo tempo de esvaziamento do reservatório. Tendo em vista que a barragem de Jupia, localizada a jusante, opera a fio d'água e pode controlar vazões até cerca de 50.000 m³/s, não se identificou risco de ruptura em cascata. A partir dos resultados e da metodologia utilizada foi elaborado um PAE – Plano de Ação Emergencial para a barragem Três Irmãos.

Palavras-chave: Propagação de ondas; Planícies de inundação; Ruptura de barragens; Plano de ação emergencial;

ABSTRACT

In Brazil there is a significant number of people living in regions located downstream of Dams. The law 12.334/2010 determines that the dam's owners have to elaborate a Security Plan and an Emergency Action Plan for dams classified as likely to cause High Potential Damage.

The present study attempts to evaluate the behavior of waves generated by full flow and flow induced by hypothetical dam rupture of the Três Irmãos hydroelectric, of CESP, Energetic Company of São Paulo, for preparation of an Emergency Action Plan. We evaluated the arrival times of the wave, quotas and peak flows achieved at different points of the watercourse, for different scenarios. Flood maps are presented indicating the area affected by the flood wave that served as the basis for defining evacuation plan of the affected population.

It was used the one-dimensional hydrodynamic model HEC-HAS, calibrated from the reproduction of historical water levels. The outflow hydrographs generated from different available equations resulted in peak flows between 20.915 and 40.507 m³/s, with peak times between 1 and 14 h. The dam breach flood wave was propagated along a 32 km reach, from the plant to the confluence with the Paraná River. The results showed little variation in both the extent and the time of submersion of areas affected by flooding, with only appreciable difference in arrival time of the peak. Furthermore, the simulations in steady and unsteady flow regimes showed no large variations of the downstream maximum water depth, suggesting that the resulted flood wave propagates with characteristics of a kinematic wave, due to the long depletion time of the reservoir. The risk of cascade rupture was not identified, considering that at the downstream, the Jupia dam operates at constant level and can control flow rates up to 50.000 m³/s. From the results and the methodology was elaborated an PAE - Emergency Action Plan for the Três Irmãos dam.

Keywords: Wave routing. Floodplains, Dam Break, Emergency Action Plan.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Rupturas de barragens de terra	41
Figura 2 - Rupturas de barragens de concreto.....	41
Figura 3 - Porcentagem de rupturas por tipo de barragem.	42
Figura 4 – Causas da ruptura de 21 barragens de concreto tipo gravidade.....	43
Figura 5 – Volume de controle elementar.	55
Figura 6 – Esquema das forças atuantes no V.C.	57
Figura 7 – Esquema de fluxo de seção transversal.....	61
Figura 8 - Fluxo em canal com planície de inundação.	62
Figura 9 – Divisão do escoamento em canal com planície de inundação.....	63
Figura 10 - Exemplo de como a energia é transferida do canal principal para uma das margens.	64
Figura 11 – Etapas a serem seguidas para a análise de ruptura de barragem.....	68
Figura 12 – Localização geral das usinas hidrelétricas.	82
Figura 13 – Curva referencial para operação fornecida pela CESP.....	85
Figura 14 – Rio Tietê com as Seções Definidas para o Levantamento Batimétrico e Medida de Vazão	86
Figura 15 – Trecho do rio Tietê com a locação das curvas de nível.	89
Figura 16 – Mapa de satélite da base Google/EMBRAPA com as curvas de nível...90	
Figura 17 – Mapa de satélite da base Google com anotação dos locais a serem estudados.	91
Figura 18 – Hidrograma de ruptura adotado no cenário (3).	95
Figura 19 – Hidrograma de ruptura adotado no cenário (4).	95
Figura 20 – Carta utilizada na modelagem com o georreferenciamento das cotas e distâncias de cada curva de nível.	98
Figura 21 – Trecho do rio Tietê modelado no HEC RAS.....	100
Figura 22 – Ponte sobre o rio Tietê inserida no modelo digital geométrico.....	100
Figura 23 – Perfis da linha d'água com vazões históricas utilizadas na calibração.	102

Figura 24 – Ensaio em regime permanente. Perfis da linha d'água com cenários de vazões extremas controladas e cotas de pontos de interesse (RIAP's).	103
Figura 25 – Mapa de inundação do município de Itapura a partir de estudos em regime permanente, para as vazões de 20.915 e 40.500 m ³ /s.	105
Figura 26 – Hidrograma defluente para tempo de pico de 1 hora e vazão de 20.915 m ³ /s.	106
Figura 27 – Hidrograma defluente para tempo de pico de 14 horas e vazão de 20.915 m ³ /s.	106
Figura 28 – Hidrograma defluente para tempo de pico de 1 hora e vazão de 40.500 m ³ /s.	107
Figura 29 – Hidrograma defluente para tempo de pico de 14 horas e vazão de 40.500 m ³ /s.	107
Figura 30 - Comparativo entre os tempos de pico de 1 e 14 horas na ponte Três Irmãos, Vila Timboré e Ponte Itapura, para vazão de 20.915 m ³ /s. ...	108
Figura 31 – Comparativo entre os tempos de pico de 1 e 14 horas na ponte Três Irmãos, Vila Timboré e Ponte Itapura, para vazão de 40.500 m ³ /s. ...	108
Figura 32 – Tempo que as edificações da Vila Timboré permanecerão inundadas, para as rupturas lentas e rápidas com vazão de 20.915 m ³ /s e TP de 1 hora.	109
Figura 33 – Tempo que as edificações da Vila Timboré permanecerão inundadas, para as rupturas lentas e rápidas com vazão de 20.915 m ³ /s e TP de 14 horas.	109
Figura 34 – Tempo que a edificação da Vila Timboré permanecerá inundada, para as rupturas lentas com vazão de 40.500 m ³ /s.....	110
Figura 35 – Perfil da linha d'água para os cenários de simulação em regime permanente e regime variável.	111
Figura 36 – Perfil da linha d'água para os cenários de simulação em regime permanente e regime variável com as cotas topográficas dos locais de interesse.....	112
Figura 37 – Ponte Três Irmãos. Mapa de inundação para a ruptura hipotética com vazão de 20.915 m ³ /s.....	114
Figura 38 – Ponte Três Irmãos. Mapa de inundação para a ruptura hipotética com vazão de 40.500 m ³ /s.....	115

Figura 39 – Vila Timboré. Mapa com as curvas de nível.....	116
Figura 40 – Vila Timboré. Mapa com as edificações.....	117
Figura 41 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência induzida de 4.600 m ³ /s.....	118
Figura 42 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência induzida de 11.000 m ³ /s.....	119
Figura 43 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência de 20.915 m ³ /s.....	120
Figura 44 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência de 40.500 m ³ /s.....	121
Figura 45 – Ponte Itapura. Mapa de inundação com defluência induzida de 11.000 m ³ /s.....	122
Figura 46 – Ponte Itapura. Mapa de inundação com defluência de 20.915 m ³ /s. ...	123
Figura 47 – Ponte Itapura. Mapa de inundação com defluência de 40.500 m ³ /s. ..	124
Figura 48 – Cidade Itapura. Mapa de inundação com defluência de 20.915 e 40.500 m ³ /s.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Frequências anuais de ruptura segundo o ICOLD.....	43
Tabela 2 - Avaliação das condições de acordo com a probabilidade.	44
Tabela 3- Probabilidades anuais de ruptura.	45
Tabela 4 - Probabilidade absoluta de ruptura por tipo de falha.	45
Tabela 5- Avaliação das condições de acordo com a probabilidade.	46
Tabela 6 - Matriz de classificação quanto à categoria de risco, características técnicas.	47
Tabela 7 - Matriz de classificação quanto à categoria de risco, estado de conservação.	48
Tabela 8 - Matriz de classificação quanto à categoria de risco, plano de segurança de barragens – PS.	49
Tabela 9 - Matriz de classificação quanto ao dano potencial associado (DPA).....	50
Tabela 10 - Matriz de classificação para barragens de acumulação de água.	51
Tabela 11 - Diferentes formulações empíricas de previsão da vazão de pico.	70
Tabela 12 - Diferentes parâmetros para formação de brecha.	71
Tabela 13 - Diferentes equações empíricas para determinação do tempo de ruptura.	72
Tabela 14 - Hidrograma de ruptura.....	73
Tabela 15 - Número esperado de vítimas em função do tempo de alerta.	75
Tabela 16 - Consequências do risco hidrodinâmico.	76
Tabela 17 - Graduação do perigo para seres humanos.	77
Tabela 18 - Nível de perigo para edificações.....	77
Tabela 19 - Vazões de pico obtidas pelas formulações empíricas.	80
Tabela 20 - Locais de interesse no estudo e suas respectivas seções batimétricas.	91
Tabela 21 - Vazões de pico previstas para a barragem de Três Irmãos.....	93
Tabela 22 - Tempo de ruptura estimado para a barragem Três Irmãos.	94
Tabela 23 - Seção 22, base de dados para elaboração do modelo geométrico.	99

Tabela 24 - Resultado do processo de calibração do modelo HEC-RAS.....	101
Tabela 25 - Comportamento das ondas de cheia simulada.	113

LISTA DE SÍMBOLOS

A	área (m^2)
A_s	área do reservatório para o NA máximo (m^2)
B	largura do canal na superfície livre
B_b	largura final da brecha (m)
B_d	largura da barragem (m)
C	contração ou coeficiente de expansão
Fr	número de Froude
g	aceleração da gravidade (m/s^2)
h	espessura ou altura da lâmina líquida (m)
h_e	perda de carga (m)
$h_{c,e}$	perda de carga contração ou expansão (m)
H	profundidade da lâmina d'água (m)
H_b	altura final da brecha (m)
H_d	altura da barragem (m)
K	fator de transporte ou condutância
L	distância entre seções adjacentes transversais (m)
n	coeficiente de rugosidade de Manning
P	perímetro molhado
Q	vazão (m^3/s)
$Q_{\max}$	vazão máxima defluente da barragem em ruptura (m^3/s)
R	raio hidráulico (m)
RH	risco hidrodinâmico (m^2/s^2)
S_o	declividade média da calha fluvial ou do fundo do canal (m/m)
S_f	declividade da linha de energia (m/m)
t	variável independente relativa ao tempo (s)
T_p	tempo para desenvolvimento da brecha
U	velocidade média do escoamento (m/s)
V	velocidade do fluido média (m/s)
V	volume do reservatório para o NA máximo (m^3)
V.C.	volume de controle
x	variável independente relativa à direção do escoamento (m)

y	profundidade da água (m)
$Y_{\text{médio}}$	profundidade média do reservatório no instante da ruptura (m)
z	elevação do leito do canal acima de uma referência (m)
ρ	massa específica da água (kg/m^3)

LISTA DE ABREVIATURAS

ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler
AGPS	Sistema Global de Posicionamento Assistido
ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AP	Audiência Pública
ART	Artigo
ASDSO	Association of States Dam Safety Officials
BM	Banco Mundial
CBDB	Comitê Brasileiro de Grandes Barragens
CDA	Canadian Dam Association
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CESP	Companhia Energética de São Paulo
CIGB	Comissão Internacional de Grandes Barragens
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CNSB	Conselho Nacional de Segurança de Barragens
COEm	Conselho de Emergência
CT	Caractísticas Técnicas
CTIL	Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais
DIN	Norma Técnica Alemã
DBPPCRI	Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo
DGPS	Sistema Global de Posicionamento Diferencial
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DPA	Dano Potencial Associado
DSG	Dam Safety Guidelines
DSR	Dam Safety Regulations
DWAF	Department of Water Affairs and Forestry
EPA	Environmental Protection Agency
EUA	Estados Unidos da América
FCL	Flood Control Law
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos

FMAF	Federal Ministry of Agriculture and Forestry
FWL	Federal Water Law
GPS	Sistema Global de Posicionamento
GT	Grupo de Trabalho
RAS	Sistema de Análise de Rios
HEC	Centro Hidrológico de Engenharia
HP	Horse-power ou cavalo-de-força
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICOLD	International Commission on Large Dams
IGC	Instituto de Geografia e Cartografia
INAG	Instituto Nacional da Água
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MDT	Modelo Digital do Terreno
MP	Medida Provisória
NWA	National Water Act
NWS	National Weather Service
OMS	Operational Manual Statement
OP	Operational Policy
ORSEP	Organismo Regulador de Seguridad de Presas
PAE	Plano Ação Emergencial
PEE	Plano de Emergência Externo
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PPI	Plano Particular de Intervenção
PS	Plano de Segurança
RAC	Relatórios de Análise de Contribuições
RAS	Sistema de Análise de Rios
REC	Centro Hidrológico de Engenharia
RIAP	Relatório de Inspeção Ambiental e Patrimonial
RRRUH	Regulamento de Registro de Reservatórios de Usinas Hidroelétricas
RSB	Regulamento de Segurança de Barragens
RTSPE	Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas y Embalses
SGHIm	Sistema de Geração e Hidrologia Integrado à Medição
SIG	Sistema de Informações Geográficas

SISNAMA	Sistema Nacional de Meio Ambiente
SMF	Sistema de Medição e Faturamento
SNIBS	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
SOSEm	Sistema de Operação em Situação de Emergência
SWA	Supreme Water Authority
USSD	United States Society on Dams
WL	Water Law

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	OBJETIVOS.....	24
2.1	Objetivo Geral.....	24
2.2	Objetivos Específicos	24
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1	Legislação Internacional.....	25
3.2	Evolução da Segurança de Barragens no Brasil	33
3.2.1	<i>Legislação de Segurança de Barragens</i>	<i>36</i>
3.2.2	<i>Regulamentações da lei 12.334/2010.....</i>	<i>38</i>
3.3	Histórico Sobre Ruptura de Barragens.....	40
3.3.1	<i>Análise das Probabilidades de Ruptura</i>	<i>44</i>
3.4	Classificação das Barragens quanto aos Riscos e Dano Potencial.....	46
3.5	Propagação de Ondas de Cheia	52
3.5.1	<i>Tipos de Modelos de Propagação de Cheias</i>	<i>52</i>
3.5.2	<i>Equações de Saint-Venant</i>	<i>54</i>
3.5.3	<i>Modelagem Unidimensional Utilizada no HEC-RAS</i>	<i>60</i>
3.6	Etapas Envolvidas na Análise de Ruptura de Barragem	68
3.6.1	<i>Hidrograma de Ruptura e Vazão de Pico.....</i>	<i>69</i>
3.6.2	<i>Geração de Mapas de Inundação</i>	<i>74</i>
3.6.3	<i>Zoneamento do Risco</i>	<i>74</i>
3.7	Exemplos de Propagação de Ondas de Ruptura de Barragens.....	77
3.7.1	<i>Barragem Rio de Pedras.....</i>	<i>77</i>
3.7.2	<i>Barragem do Manso.....</i>	<i>78</i>
3.7.3	<i>Barragem de Peti</i>	<i>79</i>
4	DESCRIÇÃO DA BARRAGEM DE TRÊS IRMÃOS.....	82
4.1	Dados Gerais.....	82
4.2	Sobre a Operação do Reservatório	84
5	METODOLOGIA PARA PROPAGAÇÃO DE ONDAS	86

5.1	Levantamento Batimétrico e Topográfico.....	86
5.2	Levantamento de Interferências nas Áreas de Inundação.....	90
5.3	Simulação de Ondas de Cheia	91
5.4	Hidrogramas de Ruptura.....	94
5.5	Definição das Áreas de Inundação	96
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	97
6.1	Entrada de Dados	97
6.2	Implantação do Modelo Digital Geométrico	99
6.3	Calibração do Modelo: Coeficientes de Rugosidade e Perdas Localizadas	101
6.4	Ensaio em Regime Permanente	102
6.5	Ensaio em Regime Variável	105
7	CONCLUSÕES	126
8	RECOMENDAÇÕES.....	128
	REFERÊNCIAS	130
	ANEXOS.....	136

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta um estudo de propagação de ondas de inundação para elaboração de um Plano de Ação Emergencial de barragem, originadas por vazões induzidas e por vazões de ruptura de uma barragem construída para fins de geração de energia elétrica.

O estudo deverá prever a altura que a água poderá atingir nas zonas inundáveis, com os respectivos tempos de chegada, constituindo o mapeamento destas zonas em uma carta de risco que servirá de base para a definição de um plano de evacuação da população situada a jusante do reservatório.

As barragens de acumulação de água pela quantidade de massa que armazenam, são consideradas fontes de perigo potencial; pois expõem vidas e propriedades localizadas a jusante, a uma constante situação de risco. A incapacidade de mitigar completamente o risco gera a necessidade de antecipar quais ações devem ser tomadas para reduzir ainda mais esse risco, e contra cada um dos possíveis problemas.

A ruptura de uma barragem ou as altas vazões induzidas faz com que a onda de cheia se propague rapidamente levando a inundações de áreas a jusante, colocando em risco a população e o meio ambiente. Apesar dos diversos danos potenciais resultantes e de perdas de benefícios diretos, a perda de vida humana é a mais significativa.

A segurança de barragens é constituída por atividades estruturais e não estruturais com o propósito de manter o estado da arte para a qual a barragem foi projetada. As barragens quando são projetadas, construídas e operadas corretamente se tornam muito seguras e apresentam baixa probabilidade de falhas. No entanto, é inevitável que, apesar de toda precaução estrutural tomada em suas várias fases, sempre exista um risco residual permanente, e quando aliado às avarias, provocam graves acidentes.

O Brasil dispõe até o momento, de 13.529 barragens cadastradas pelas entidades fiscalizadoras federais e estaduais. Esse cadastro revela que 11.748 barragens são de usos múltiplos (aquelas utilizadas para abastecimento humano,

irrigação, abastecimento industrial, lazer e dessedentação animal), 1.261 são para geração de energia hidrelétrica, 264 de rejeitos de mineração e 256 de resíduos industriais (BRASIL, 2012).

A lei brasileira reflete a situação que se verifica a nível mundial e entre os países com maior tradição nos aspectos que envolvem a segurança de barragens. Dos acidentes históricos e que tiveram maior impacto na opinião pública, destaca-se a barragem de Teton, com 123 metros de altura, no ano de 1976, nos Estados Unidos da América. Este acidente constitui hoje um dos casos clássicos de estudo entre especialistas e é um exemplo do sucesso da aplicação do Plano de Ação de Emergência, uma vez que das 25.000 pessoas que residiam na zona de risco situadas na região a jusante da barragem, apenas onze perderam a vida. Como exemplo de acidentes onde não foi possível avisar a população, destaca-se a barragem de Vajont, em 1963 na Itália e a barragem de Malpasset na França em 1959, onde se registrou a perda de 2.600 e 433 vidas respectivamente.

Os registros de acidentes e incidentes ocorridos com barragens no Brasil, relacionados no anexo indicam um número elevado de ruptura em barragens de diversos tamanhos e tipos, porém com baixas perdas de vida humana, apesar de impactos sociais e ambientais elevados. Neste contexto, segundo o International Commission on Large Dams - ICOLD e o Comitê Brasileiro de Barragens – CBDB, os quais mostram que a frequência de acidentes sérios, avaliada em 10^{-4} por barragem/ano até em torno de 1950, é agora inferior a cerca de 10^{-5} por barragem/ano. Este decréscimo é entendido como melhorias nos níveis de segurança, possibilitadas pelo avanço técnico, assim como regulamentos e práticas mais rigorosas.

Marco de uma nova visão na questão da segurança de barragens, a ANA – Agência Nacional de Águas realizou em outubro de 2012 um intercâmbio entre Brasil-Portugal sobre segurança de barragens. O Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC, criado em novembro de 1946, Instituição de Ciência e Tecnologia vinculada ao Ministério da Economia e do Emprego de Portugal apresentou a gestão de risco e Plano de Emergências, bem como estudos de caso de propagação de ondas de cheia em barragens portuguesas. No Brasil existem poucos estudos de propagação de ondas de ruptura hipotética de barragens, alguns só foram possíveis devido à contribuição da ANEEL – Agência Nacional de Energia

Elétrica, através de projetos de pesquisa e desenvolvimento (Projetos P&D), cujo principal enfoque foi o de avaliar condições hipotéticas de ruptura de barragens, a propagação dos hidrogramas de cheia resultantes e a elaboração dos respectivos mapas de inundação (BRASIL, et al., 2005).

Este trabalho consiste na aplicação de uma metodologia que sirva de base ao planejamento de medidas de proteção para regiões situadas a jusante de barragens e por outro lado como definição de regras que permitam elaborar os planos de emergência externos a partir de dados e informações públicas, ferramentas de baixos custos e software livre, em virtude da Medida Provisória - MP n° 579 de setembro de 2012, atualmente Lei Federal n° 12.783 de 11 de janeiro de 2013, que dispõe sobre as concessões de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, sobre a redução dos encargos setoriais, sobre a modicidade tarifária, e de outras providências, fato este que deve desencadear um achatamento econômico nas Empresas de geração de energia elétrica face à redução de tarifas.

Dentro desta visão, este trabalho se divide em duas partes: A primeira parte apresenta uma revisão bibliográfica da Legislação Internacional, Legislação Brasileira, Histórico sobre ruptura de barragens, Classificação das barragens quanto ao risco e dano potencial, Modelos de propagação de ondas e as Etapas envolvidas na análise de ruptura de barragens. A segunda parte apresenta um estudo de caso para a barragem da UHE Três Irmãos da Companhia Energética de São Paulo - CESP, como definição de metodologia aplicada identificando os meios e recursos necessários para garantir a elaboração dos mapas temáticos de inundação, tomada de decisão por parte da Defesa Civil, notificando as entidades responsáveis pela gestão da emergência, o aviso à população e a evacuação da mesma.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho constitui-se no estudo de propagação de ondas em planície de inundação para elaboração de Plano de Ação Emergencial de Barragens através da integração de um conjunto de metodologias e procedimentos, originadas a partir de vazões induzidas e por ruptura de uma barragem construída para fins de geração de energia elétrica.

2.2 Objetivos Específicos

O objetivo específico desta pesquisa é estudar um caso real na UHE Três Irmãos da Companhia Energética de São Paulo - CESP, fornecendo subsídios para a confecção do que se convencionou denominar de Plano de Emergência Externo – PEE, a ser entregue pela CESP para a Defesa Civil dos municípios impactados, para servir de instrumento de apoio à tomada de decisões.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Legislação Internacional

A partir de 1950, despertou uma preocupação internacional sobre a segurança de barragens, destacando o trabalho desenvolvido pelo International Commission on Large Dams - ICOLD nesta área. Essa preocupação estava embasada nos seguintes itens:

- a) a ocorrência de algumas rupturas desastrosas de barragens;
- b) a taxa crescente de construção de barragens, incluindo as de grande porte;
- c) aumento da expansão urbana em vales de rio;
- d) projetos mais ousados de barragens;
- e) o envelhecimento das barragens existentes;
- f) necessidade de organização legal/institucional e desenvolvimento tecnológico para lidar com a questão da segurança de barragens.

Segundo International Commission Of Large Dams (1998), a maioria das vítimas mortais de todos os acidentes com ruptura de barragens envolve aquelas com uma altura inferior a 30 m, constituindo este porte de barramento o de maior risco no futuro próximo. Ainda, segundo Viseu (2006), enquanto as rupturas de grandes barragens são geralmente mais espetaculares e recebem muito mais atenção do que aquelas de barragens menores, as rupturas de barragens pequenas, construídas em propriedades privadas, ocorrem muito mais frequentemente. Por isso, em muitos casos, o preço anual total de pequenas rupturas de barragens é maior do que as rupturas menos frequentes de grandes barragens.

Ainda, eventos anteriores com rupturas de barragens relativamente pequenas causaram consequências desastrosas. Por exemplo, na China, as barragens de Shimantan e Banquia romperam em 1975, como consequência da ruptura cumulativa de mais de 60 pequenas represas a montante, resultando na morte de 230 mil pessoas. Na Itália, a barragem Stava, localizada nas proximidades de Trento, rompeu em 1985 e, lançando somente 180 mil m³ de rejeitos minerais, matou 268 pessoas e causou sérios danos ambientais. Nos Estados Unidos, a barragem de Kelly Barnes Lake, com somente 8 m de altura, rompeu em 1977, matando um total de 39 pessoas. A barragem de Lake Lawn, no Colorado, que tinha

também 8 m de altura e acumulava somente 830 mil m³, rompeu em 1982, afogando três pessoas e causando US\$ 31 milhões de prejuízos, apesar dos avisos e evacuação.

Esses eventos passados sugerem que sem o adequado projeto, construção e manutenção, pequenas barragens pobremente gerenciadas podem causar significativos danos às pessoas, propriedades e ao meio ambiente. (MENESCAL, 2009).

O conceito de segurança está então associado à possibilidade de ruptura e à avaliação da sua probabilidade, assim como às expectativas sobre o futuro. A ruptura é um fato da experiência e é lembrada na memória coletiva. No caso das barragens, estatísticas estão disponíveis (merece ser lembrada a louvável atividade desenvolvida neste campo pelo ICOLD), as quais mostram que a frequência de acidentes sérios, avaliada em cerca de 10^{-4} por barragem/ano, até em torno de 1950, é agora inferior a cerca de 10^{-5} por barragem/ano.

Esse decréscimo é entendido como resultante de uma melhoria nos níveis de segurança, possibilitada pelo avanço técnico, no sentido mais geral, assim como por regulamentos e códigos de práticas mais rigorosos. Todavia, enquanto os avanços tecnológicos e na organização da sociedade causaram notável aumento da segurança, como atestado pelos números apenas citados, a ciência da estimativa de segurança, e até mesmo a própria definição técnica de várias medidas de segurança que são utilizadas na prática (fatores de segurança, probabilidade de ruptura etc.), ainda estão sujeitas a críticas. (MENESCAL, 2009)

Em 1979, em Nova Delhi, durante o Congresso Internacional de Grandes Barragens, que se decidiu envidar maiores esforços no âmbito da segurança de barragens. Experiência de vários países (Estados Unidos da América, Canadá, Suécia, Inglaterra, Itália, França, Noruega, Finlândia, entre outros), bem como a preocupação da Comissão Internacional de Grandes Barragens - CIGB com a segurança de barragens e sua intensa atividade neste campo com a formação de diversos comitês, edição de recomendações e organização de congressos, seminários e cursos. Informa ainda do sensível avanço nos regulamentos e critérios utilizados pelos diversos países, havendo uma tendência de uniformização de conceitos e práticas recomendadas.

A seguir são apresentados os aspectos gerais dos modelos de esquemas regulatórios de alguns países.

a) África do Sul

Segundo o Department Water Affairs and Forestry - DWAF (2008), as Dam Safety Regulations – DSR, publicadas em 25 de julho de 1986, entraram em efetividade em Janeiro de 1987 e ainda são consideradas válidas pelo National Water Act – NWA, de 1998. Somente barragens com risco, ou seja, barragens com altura máxima acima de 5 m e com volume armazenado acima de 50 mil m³, ou outras barragens declaradas como de risco, estão sujeitas às DSR.

b) Alemanha

Segundo, Rettermeier, et al. (2001) um dos maiores desastres com barragens na Alemanha foi a ruptura da Barragem Moehne. Ela foi destruída em 1943 após ser bombardeada intensamente. O reservatório estava quase cheio e esvaziou em poucas horas. A ruptura causou 1.200 mortes e destruição da infraestrutura à jusante. A Alemanha possui 311 barragens no registro do ICOLD.

Existem normas técnicas padrão para barragens, que estão inseridas na Norma Técnica Alemã - DIN 8 19700, de 1986. A DIN 19700 classifica 5 tipos de barragens (reservatórios, controle de cheias, vertedores, reservatórios de bombeamento e de resíduos minerais), independente da altura ou do volume acumulado. De acordo com a DIN 19700, de 1999, as barragens são classificadas de acordo com o seu tamanho e tipo.

c) Argentina

Um acidente marcante na Argentina ocorreu em janeiro de 1970, como resultado de chuvas torrenciais, causando a ruptura da Barragem de Frias, na Província de Mendoza. O objetivo principal do barramento era contenção de cheias.

O acidente inundou parte da capital da província, resultando na morte de 42 pessoas e 60 desaparecidos, milhares de desabrigados e incontáveis prejuízos,

especialmente na agricultura. Em outubro de 1999 ocorreu a ruptura da Barragem Fiambalá, na Província de Catamarca, que felizmente só causou prejuízos materiais.

Sensibilizado com esses eventos, o governo argentino promulgou o Decreto 239/99, de 1999, que cria o Organismo Regulador de Seguridad de Presas – ORSEP, sendo uma Agência reguladora independente dentro da Secretaria de Recursos Naturais e de Desenvolvimento Sustentável. O ORSEP tem a função de supervisionar questões de segurança de barragem desde o projeto, construção, manutenção e operação de projetos hidroelétricos de barragens particulares.

d) Áustria

O estatuto mais relevante para a segurança de barragem na Áustria é a Federal Water Law – FWL. Segundo esta lei, barragens com altura maior do que 30 m ou volume maior do que 500 mil m³, barragens no rio Danúbio e barragens que afetam interesses significativos em outros países são sujeitas à jurisdição da Supreme Water Authority - SWA no Federal Ministry of Agriculture and Forestry - FMAF. Outras barragens são sujeitas à regulação em nível de Província ou Distrito.

e) Canadá

No Canadá, segundo CDA (2007), o gerenciamento de recursos hídricos é de responsabilidade das províncias. Na falta de legislação específica das províncias sobre segurança de barragem as Dam Safety Guidelines 13 - DSG elaboradas pela Canadian Dam Association - CDA, em janeiro de 1999, e atualizadas em 2007, são aceitas como evidência de boa prática.

f) China

Li-Giu & Qi-Chen (1998) relatam que na China foram construídas mais de 86 mil barragens entre 1949 e 1998. A China tem diversas leis e regulamentações que tratam de segurança de barragens. A Flood Control Law - FCL, de 29 de agosto de 1997, impõe a todas as unidades e indivíduos, a responsabilidade pela prevenção de cheias. A Water Law - WL, de 1988, trata de inspeções e regras administrativas acerca de questões relacionadas com água. O “State Concil” editou o Regulamento sobre Segurança de Reservatórios e o Regulamento de Combate a Enchentes. O

Ministério de Recursos Hídricos editou o Regulamento para Certificação de Segurança de Reservatórios, em 20 de março de 1995. O Ministério de Energia editou o Regulamento de Gerenciamento de Segurança de Barragens de Geração Hidrelétrica, em janeiro de 1997.

Outras leis e regulamentações aplicáveis incluem: Regulamento de Registro de Reservatórios de Usinas Hidroelétricas - de dezembro de 1997; Orientações para Autorização de Reservatórios de Usos Múltiplos, de dezembro de 1993; Especificações para cuidado e manutenção de barragens de aterro, de dezembro de 1998; Regulamento para Compilação de Dados de Monitoramento de Barragens de Aterro, de janeiro de 1997; Critério Técnico para Monitoramento de Barragens de Aterro, de agosto de 1994.

g) Chile

No Chile, o Decreto 86, de 1970, intitulado Regulamentação para a Construção e Operação de Barragens de Rejeito, apresenta os requerimentos básicos para gestão de barragens de rejeito. Segundo o decreto, o “Servicio de Minas del Estado” é responsável pela regulação das barragens de rejeito minerais, assim como da segurança dos trabalhadores. Esse decreto foi elaborado como consequência do terremoto ocorrido em 1965, na região central do país, e que causou a ruptura de diversas barragens de rejeito.

h) Espanha

Segundo Azanedo (2006) e MMA (2008), a regulamentação sobre segurança de barragens remonta da Ley de Águas (1879), passando pela “Instrucción para la Redacción de Proyectos de Pantanos” (1905), criação da “Sección de Vigilancia de Presas” e da “Comisión de Normas” (1959), “Normas Transitorias sobre Vigilancia de Presas” (1960), “Instrucción para el Proyecto, Construcción y Explotación de Grandes Presas” (1962 e 1967), “Programas de Seguridad y Explotación de Presas del Estado” (1983 e 1992), Ley de Aguas (1985), “Reglamento del Dominio Público Hidráulico” (1986), “Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones” - (1994), “Reglamento Técnico sobre Seguridad de Presas

y Embalses” - (1996), até as recentes modificações no texto consolidado da “Ley de Aguas - Capítulo VII - Seguridad de Presas y Embalses” (2008).

i) Estados Unidos

Os Estados Unidos, que são organizados de forma federativa como o Brasil, possui tanto leis federais como estaduais que tratam sobre segurança de barragens. Em muitos casos há até superposição de atribuições, pois em muitos estados a legislação não o isenta da responsabilidade de supervisionar todas as barragens em seu território.

Nos Estados Unidos as regulamentações sobre barragens são controladas individualmente pelos estados. Como consequência disto, as regulamentações que controlam barragens de rejeitos nos Estados Unidos são variadas. Em 1994, a EPA – Environmental Protection Agency publicou um documento especialmente para barragem de rejeito intitulado “Technical Report – Design and Evaluation of Tailings Dams” que apresenta os fundamentos de barragem. O documento não fala de gerenciamento, mas tem sido adotado pelas agências reguladoras estaduais e dá a elas um entendimento básico sobre barragem. Ele também foi escrito para considerar preocupação com a população.

Em nível nacional destaca-se o papel de organizações profissionais americanas que trabalham em prol da melhoria da gestão de segurança de barragens no País. Cabe aqui destacar o papel da “United States Society on Dams” USSD que é a representante do ICOLD nos Estados Unidos, e da Association of States Dam Safety Officials (ASDSO), que faz um ótimo trabalho na consolidação da Segurança de Barragens no País.

j) França

Segundo (BARTHELEMY, et al., 2004), o parque francês de barragens foi recentemente avaliado: 744 obras de mais de 10 m de altura e alguns milhares de obras de tamanho inferior.

Foram contadas 296 barragens de mais de 20 m de altura e 448 barragens entre 10 e 20 m. Destas 296 barragens, é preciso diferenciar 99 (25 delas

hidrelétricas), que têm um tamanho de mais de 20 m e uma capacidade de armazenamento superior a 15 milhões m³.

A diretiva n° 70-15, de 14 de agosto de 1970, define as barragens como aquelas cuja eventual ruptura teria impactos graves para a população. São automaticamente incluídas na diretiva, as barragens de tamanho superior ou igual a 20 m, cuja capacidade de armazenamento ultrapassa 15 milhões m³, e para as quais a lei n°87-565, de 22 de julho de 1987, revogada pela lei n°2004-811, de 13 de agosto de 2004, impõe a implementação de um Plano Particular de Intervenção - PPI. A segurança de tais obras é o objeto de disposições detalhando as medidas de projeto, de exploração, de manutenção e de monitoramento, como lembra a diretiva n°70-15. Ela se organiza em dois tempos: o exame dos projetos de obras e a fiscalização e observação das barragens.

k) Holanda

Cerca de um quarto do território holandês está abaixo do nível do mar, sendo que sua proteção é realizada por meio de um grande sistema formado por diques e represas. Os critérios atuais de segurança das barragens consideram a capacidade de oferecer adequada proteção contra a maré alta, desde o ano de 1958, por meio de uma comissão formada quando, neste período, ocorreu uma desastrosa inundação, causando 1800 vítimas.

Até então, a experiência era a referência para o dimensionamento das alturas dos barramentos, sendo esta o nível máximo de água em seu histórico mais uma margem de 0,5 a 1 m. A Comissão destacou que o nível de segurança deveria ser estável para cada represa, balanceando assim, o custo da construção do barramento com a possibilidade de uma consequente inundação. É reconhecido que tal critério não era executável na prática em 1960, como um critério muito simples de dimensionamento. Desta forma, foi definido um nível de segurança para cada área, sendo fundamentado em estudos probabilísticos em relação ao nível d'água máximo presente no histórico da barragem.

I) Itália

O histórico de legislações relacionadas com segurança de barragens na Itália é apresentado a seguir, com base em ITCOLD (2004):

- 1921: "Norma geral para projetos e construções de barragens de represas, tanques e lagos artificiais (não vigente, referente às barragens construídas entre os anos de 1925 e 1930)."
- 1925: "Regulamento para os projetos, construção e o exercício de barragens de retenção (não vigente, referente às barragens construídas entre os anos de 1925 e 1930)."
- 1931: "Aprovação do Regulamento para a compilação dos projetos, construção e o exercício de barragens de retenção (não vigente, referente às barragens construídas entre os anos de 1931 e 1958)".
- 1959: "Regulamento para a compilação dos projetos, construção e o exercício de barragens de retenção".
- 1967: "Instruções para o projeto, execução e ensaios de fundação".
- 1982: "Norma Técnica para projetos e construção de barragens de represas".
- 1986: "Mudanças e integrações as antigas Circ. 9.2 1985 n° 1959 e 29.11.1985 n° 1391 relativos aos sistemas de alarmes e registros de perigo nas barragens de retenção".
- 1987: "Requisitos relacionados com a aplicação do regulamento sobre barragens de retenção".
- 1988: "Modo e sistema de alarme e alerta para barragens de retenção".
- 1994: "Conversão em lei, com modificações do decreto lei 08.08.1994 n° 507, "medidas urgentes em relação às barragens".
- 1995: "Disposição atuante e integrada em matéria de barragens. Implementação e integração".
- 1996: "Disposição inerente à atividade de proteção civil em âmbito das bacias onde estão presentes as barragens."
- 1999: Competência Serviço Nacional Barragens – Especificações".
- 2004: Disposição urgente em relação à segurança de grandes barragens e edifícios institucionais".

m) Portugal

Segundo INAG – Instituto de Águas de Portugal (2008) as barragens em Portugal são classificadas em duas categorias. Existem as barragens grandes, que são maiores do que 15 m, e volume de acumulação maior do que 100 mil m³ ou impõem riscos relevantes para a vida humana e a economia. A segunda categoria consiste de barragens pequenas e inclui todas aquelas que não são classificadas na primeira categoria. Existem em Portugal cerca de 150 grandes barragens catalogadas no ICOLD.

Em 1968 foi estabelecido um primeiro Regulamento de Pequenas Barragens de Terra, consubstanciado nos Decretos N.ºs. 48.373 e 48.643, respectivamente, de 8 de maio de 1968 e de 23 de outubro de 1968, substituído, entretanto, em 1993, pelo Regulamento de Pequenas Barragens, anexo ao Decreto - Lei n.º 409/93, de 14 de dezembro. As exigências legais de controle de segurança foram estendidas às barragens de maiores dimensões com a publicação do Regulamento de Segurança de Barragens - RSB, anexo ao Decreto-Lei n.º 11/90, de 6 de Janeiro.

Para boa execução do Regulamento de Segurança de Barragens - RSB foram estabelecidas Normas de Projeto de Barragens e Normas de Observação e Inspeção de Barragens, nos termos das Portarias n.º 846/93 e 847/93, de 10 de setembro, assim como Normas de Construção de Barragens, nos termos da Portaria n.º 246/98, de 21 de abril de 1998.

3.2 Evolução da Segurança de Barragens no Brasil

A questão que envolve segurança de barragens no Brasil é um assunto que vem sendo discutido há décadas por vários segmentos da sociedade: empreendedores de barragens, concessionárias de serviços públicos (geração de energia elétrica, abastecimento, etc), órgãos públicos e outros. Com procedimentos e ações coordenadas desses empreendedores foi possível construir uma cultura de segurança de barragens, independentemente da existência de legislação específica sobre o assunto.

Nesse contexto, o Setor Elétrico tem uma contribuição significativa na consolidação da cultura de segurança de barragens anterior à legislação atualmente

vigente, pois, participou e participa efetivamente na elaboração de projetos, construções, operação e manutenção das grandes barragens brasileiras, propiciando dessa forma, a especialização técnica de profissionais que atuam na área de segurança de barragens.

A seguir são relacionadas informações que permitem de forma objetiva, conhecer a evolução da segurança estrutural de barragens no Brasil.

O assunto Segurança de Barragens foi amplamente debatido em vários Congressos da Comissão Internacional de Grandes Barragens – International Commission on Large Dams – ICOLD e vários Congressos Nacionais de muitos países.

No Brasil estas questões foram abordadas a partir dos Seminários Nacionais de Grandes Barragens de 1963 (São Paulo) e de 1976 (Fortaleza).

Em 17 de dezembro de 1976, o então Comitê Brasileiro de Grandes Barragens - CBDB, atualmente Comitê Brasileiro de Barragens, formou um Grupo de Segurança de Barragens para redigir uma minuta que servisse de diretrizes para inspeção e avaliação da Segurança das Barragens em operação. A minuta foi publicada em novembro de 1979 na edição nº106 da revista “Construção Pesada”.

A partir desse movimento, profissionais especializados no assunto intensificaram suas opiniões sobre os riscos potenciais criados pela construção de barragens, alertando sobre a necessidade e importância de supervisionar sistematicamente estas estruturas e seus reservatórios. Instituiu-se neste período, a prática de inspecionar periodicamente as barragens, através da participação de profissionais especializados, com objetivo de avaliar as condições reais de segurança dos empreendimentos.

Em 1979 o Governo do Estado de São Paulo emitiu Decreto-Lei dispondo sobre a segurança das barragens no Estado e recomendando auditorias técnicas permanentes. Desta forma, foi o primeiro ou um dos primeiros Estados da União a legislar sobre recursos hídricos. Esta Lei serviu como modelo para os demais Estados que não possuíam legislação sobre o assunto, até promulgação da Lei Federal nº 9.433, de 1997.

O rompimento de uma barragem em 2003, bem como outros acidentes graves com barragens em anos anteriores e o fato de não existir consolidado um Plano

Nacional para definir quais seriam as diretrizes para a segurança das barragens, levaram o Governo Federal a iniciar estudos para viabilizar tal plano, criando um grupo de trabalho com objetivo de auxiliar na elaboração do projeto de Lei 1181/2003 que, segundo a Câmara dos Deputados, tinha como objetivo estabelecer uma Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB, criar o Conselho Nacional de Segurança de Barragens - CNSB e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNIBS (PINFARI et al., 2012).

Ainda no ano de 2003, foi apresentado o Projeto de Lei 1181/2003, de autoria do Deputado Leonardo Monteiro, estabelecendo diretrizes para a verificação da segurança das barragens em cursos d'água para quaisquer fins, de aterros e diques de contenção de resíduos líquidos industriais, definindo as obrigações e responsabilidades dos respectivos proprietários e o papel do Estado nessa questão. Este Projeto de Lei definia parâmetros mínimos para base de estudos em projetos de barragens, responsáveis técnicos por estes projetos e que os mesmos deveriam ser aprovados pelos gestores de recursos hídricos federal, estadual ou conforme o domínio da água. Definia responsabilidade a seus proprietários e por fim, determinava um prazo de dois anos, contado da data da publicação da Lei, para que os empreendedores de barragens apresentassem aos órgãos fiscalizadores, relatório especificando ações e o Plano da Segurança da Barragem.

Durante o trâmite na Câmara dos Deputados do Projeto de Lei nº 1181/2003 e seus substitutivos, outros acidentes com barragens ocorreram, como o registrado em janeiro de 2007, onde ocorreu novo vazamento de uma espécie de lama no rio Fubá, afluente do rio Muriaé, semelhante a acidente já ocorrido no mesmo local no ano de 2006.

Em setembro de 2007 o Projeto de Lei 1181/2003 foi encaminhado para votação, quando o próprio autor sugeriu mudanças no texto, haja vista a necessidade de ajustes de ordem técnica.

Em outubro de 2007, passou a tramitar o substitutivo ao projeto de Lei nº 1.181/2003 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas a acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais.

Em 2010, o relator Senador Gilberto Goellner, efetua alterações na redação e submete ao Senado Federal o Projeto de Lei da Câmara nº 168/2009. Após tramitar por algumas Comissões no Senado Federal foi aprovado na forma do substitutivo.

Em 20 de setembro de 2010, assinado pelo Presidente Luiz Inácio Lula da Silva, entra em vigor a Lei nº 12.334/2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água de quaisquer usos, a disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e 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, atendendo um anseio de toda a comunidade técnica envolvida no assunto, e de suma importância para a sociedade brasileira.

3.2.1 Legislação de Segurança de Barragens

A Lei nº 12.334/2010 estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens e criou o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, determinando que as barragens destinadas à acumulação de águas para quaisquer usos, classificadas como de Dano Potencial Alto, devem apresentar um Plano de Ação Emergencial – PAE (REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL, 2010). Este plano é um documento formal que identifica condições de emergência em potencial da barragem e estabelece ações a serem seguidas, com a finalidade de mitigar o efeito provocado pelas ondas de cheia, quer seja por defluências induzidas ou pela onda provocada pela ruptura de uma barragem.

A legislação brasileira sobre segurança de barragens é relativamente nova e os órgãos de fiscalização ainda estão adequando as suas estruturas à nova legislação. Os responsáveis pela fiscalização das barragens são quatro entidades federais – ANA - Agência Nacional de Águas, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA – 27 órgãos estaduais gestores de recursos hídricos e seis órgãos de licenciamento ambiental (nos estados em que o órgão gestor de recursos hídricos não é o mesmo de licenciamento ambiental).

A Lei nº 12.334/2010 apresentada no anexo, foi publicada no Diário Oficial da União, em 21 de setembro do mesmo ano, sendo composta de seis capítulos com 23 artigos:

- art. 1º - define as barragens que se enquadram na Lei;
- art. 3º, art. 4º e art. 6º - registra os Objetivos, Fundamentos e Instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens;
- art. 5º - define os órgãos responsáveis pela fiscalização da segurança das barragens;
- art. 7º - determina que a “Classificação das Barragens” será feita pelos órgãos fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e por seu volume, com base em critérios estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH;
- art. 8º - disciplina ainda, sobre o conteúdo mínimo do Plano de Segurança de Barragens;
- art. 9º - sobre as inspeções regulares e especiais;
- art. 10º - sobre as Revisões Periódicas de Segurança de Barragens;
- art. 11º - versa sobre os Planos de Ações de Emergência (PAE);
- art. 12º - estabelece ações a serem tomadas pelo Empreendedor em situação de emergência;
- art. 13º e art. 14º - determina a criação e funcionamento do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB;
- art. 15º define que a Política Nacional de Segurança de Barragens deve estabelecer programas de educação e comunicação com a sociedade sobre segurança de barragens;
- art. 16º e art. 17º - estabelecem as obrigações dos órgãos fiscalizadores e empreendedores de barragens;
- os demais artigos tratam das “Disposições Finais e Transitórias”, destacando as determinações do artigo 19º, sobre o prazo que os empreendedores de barragens possuem para submeter aos órgãos fiscalizadores suas ações e o cronograma para implantação do Plano de Segurança de Barragem.

3.2.2 Regulamentações da lei 12.334/2010

Após promulgação da Lei, a Agência Nacional das Águas - ANA, assumiu as atribuições de organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de informações sobre Segurança de Barragens - SNISB, de promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores de barragens, fiscalizar a segurança das 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, de forma consolidada.

A ANA, como entidade outorgante do direito de usos dos recursos hídricos em corpos de água em domínio da União, inclusive para a finalidade de acumulação d' água (exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico), tem como responsabilidade, conforme já mencionado, fiscalizar a segurança das barragens existentes em todos os cursos d'água sob sua jurisdição e por manter o cadastro atualizado dessas barragens, com identificação dos empreendedores para fins de incorporação ao Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens - SNISB.

Dentro desse cenário a ANA, a partir do segundo semestre de 2011, iniciou a regulamentação de alguns artigos da Lei, utilizando a metodologia de audiências públicas não presenciais, suportadas por notas técnicas e minutas de resoluções, permitindo ao meio técnico em geral que opine e contribua com sugestões para aprimoramento dessas resoluções. Encerrados os prazos de contribuições das audiências públicas (30 dias), eram emitidos e divulgados pela Agência, Relatórios de Análise de Contribuições – RAC, que orientarão o formato final das resoluções.

Com base no acima exposto, a ANA iniciou a regulamentação da lei submetendo em audiência pública não presencial - AP nº 002/2011, inicialmente, o artigo 9º,

As inspeções de segurança regular e especial terão a sua periodicidade, a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento definidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem (Lei 12334/2010)

(transcrito da Lei), disciplinando a inspeção regular, e após análise das contribuições (RAC), editou a Resolução nº 742 (anexo), de 17 de outubro de 2011, estabelecendo a periodicidade, qualificação, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragem.

Em outubro de 2011, através da audiência pública não presencial - AP 003/2011, propõe minuta de resoluções para regulamentações do Plano de Segurança de Barragem e da Revisão Periódica de Segurança de Barragem, conforme art. 8º e 10º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, recebeu contribuições do meio técnico, emitiu relatório de análise de contribuições (RAC). Em meados de março de 2012 (17/03), foi encerrado o prazo de contribuições para a audiência pública, não presencial, AP 001/2012, para subsidiar proposta de regulamentação do art. 7º da Lei nº 12.334/2010, elaborada pelo Grupo de Trabalho - GT, criado no âmbito da Câmara Técnica de Assuntos Legais e Institucionais – CTIL, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, resultando nas Resoluções nº 143, de 10 de julho de 2012 e Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012.

Importante registrar que a regulamentação do art. 7º da Lei nº 12.334/2010, determinando que “as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH” (Lei 12334/2010), tem influência direta nas regulamentações dos artigos 9º (inspeções regulares, especiais e revisões periódicas) e art. 11º (elaboração de Plano de Ação de Emergência).

Com base nas regulamentações destaca-se que a ANA conduziu esse processo de regulamentações da Lei, sabendo que para fins de aproveitamentos hidroelétricos, essas ações devem ser implementadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, conforme tratado no artigo 5º,

A fiscalização da segurança de barragens, caberá, sem prejuízo das ações fiscalizatórias dos órgãos ambientais integrantes do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA: I – à entidade que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos, observado o domínio do corpo hídrico quando o objeto for de acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico; II – à entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico, quando se tratar de uso preponderante para fins de geração hidrelétrica. (Lei 12334/2010)

A ANEEL deve publicar audiências públicas para regulamentações dos artigos 7º, 8º, 9º e 11º, permitindo que interessados no assunto segurança de barragens, possam contribuir para o aperfeiçoamento da Lei.

3.3 Histórico Sobre Ruptura de Barragens

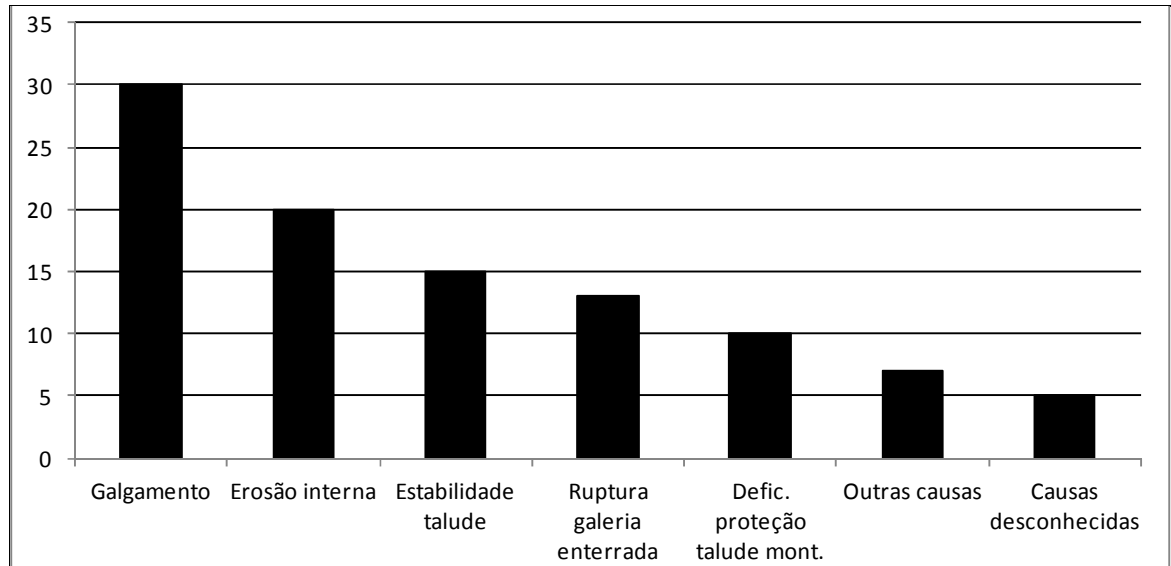
A preocupação com segurança de barragens é antiga e tem-se registro de legislações de até 1780 a.C., com o código de Hamurabi, que estabelece (MENESCAL, 2009): se alguém é preguiçoso no ter em boa ordem o próprio dique e não o tem, e em consequência, se produz uma fenda no mesmo e os campos da aldeia são inundados d'água, aquele, em cujo dique se produziu a fenda, deverá ressarcir o trigo que ele fez perder.

Em 1925 a Comunidade Técnica Internacional sentiu a necessidade de uma legislação específica. Preocupados com as rupturas de barragens a nível mundial, a *Intenational Commission on Large Dams* - ICOLD, criada em 1928, instituição não governamental, sem fins lucrativos, que congrega mais de 10 mil profissionais de 88 países para discutir temas relacionados com engenharia de barragens, tem efetuado registro e estudos sobre as rupturas de barragens. O Banco Mundial - BM, é uma instituição com forte poder indutor de mudanças institucionais. Segundo Jones (1998), o BM começou a fazer exigências mais rigorosas sobre a qualidade dos projetos a partir de 1977, com a *Operational Manual Statement* - OMS, de junho de 1977. Segundo World Bank (2008), a segurança de barragens é um assunto de interesse significativo em muitos países nos dias de hoje devido ao grande número de barragens existentes, em construção ou planejadas. A operação segura de barragens tem importante significado social, econômico e ambiental.

Quando o BM financia novas barragens, a *Operational Policy* - OP, "*Safety on Dams*" requer que profissionais experientes e competentes projetem e supervisionem a construção, e que o tomador de empréstimo adote e implemente medidas de segurança de barragem ao longo de todo ciclo de vida da obra. A OP também se aplica a barragens existentes onde sua influência atinja o desempenho de outros projetos. Nesse caso, uma avaliação da segurança da barragem deve ser desenvolvida e medidas adicionais de segurança implementadas. A OP recomenda, quando apropriado, que a equipe do BM discuta com o tomador de empréstimo as medidas necessárias para fortalecimento institucional da legislação e do arcabouço regulatório para um programa de segurança de barragem em seus países. MENESCAL (2009).

A Figura 1 mostra a distribuição das porcentagens de cada uma das diferentes causas de ruptura em barragens.

Figura 1- Rupturas de barragens de terra

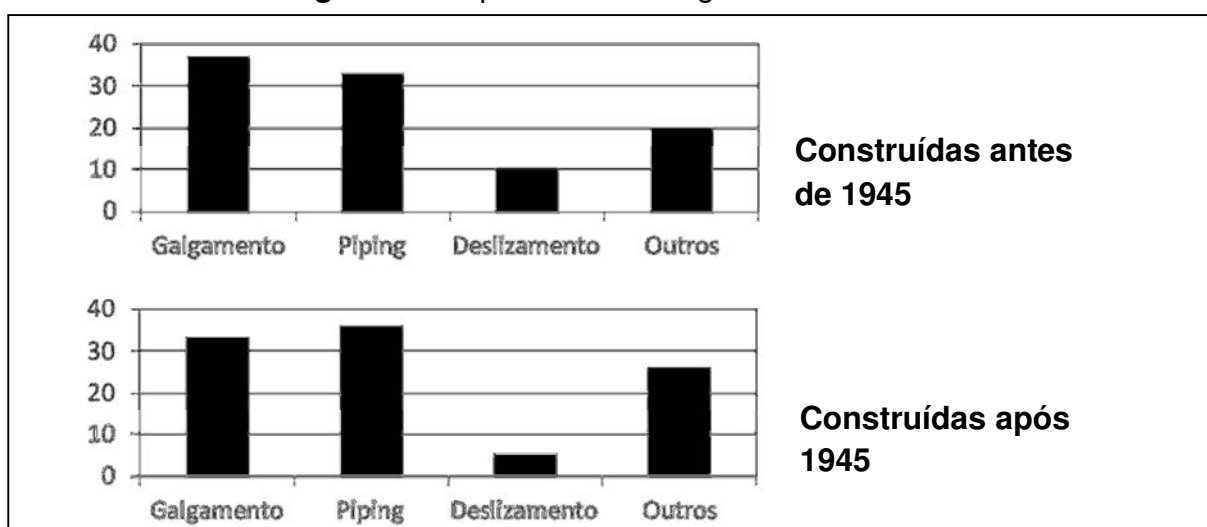


Fonte: ICOLD - International Commission on Large Dams - 1998

Observando a Figura 1, é possível ver que a maior porcentagem de rupturas em barragens é devido a galgamentos com 30% dos casos e a menor é devido a causas desconhecidas e deficiência de proteção com valores da ordem de 5% em cada um desses casos.

A Figura 2 mostra duas distribuições dos tipos de rupturas em porcentagem (%) para as barragens construídas antes e após 1945.

Figura 2 - Rupturas de barragens de concreto

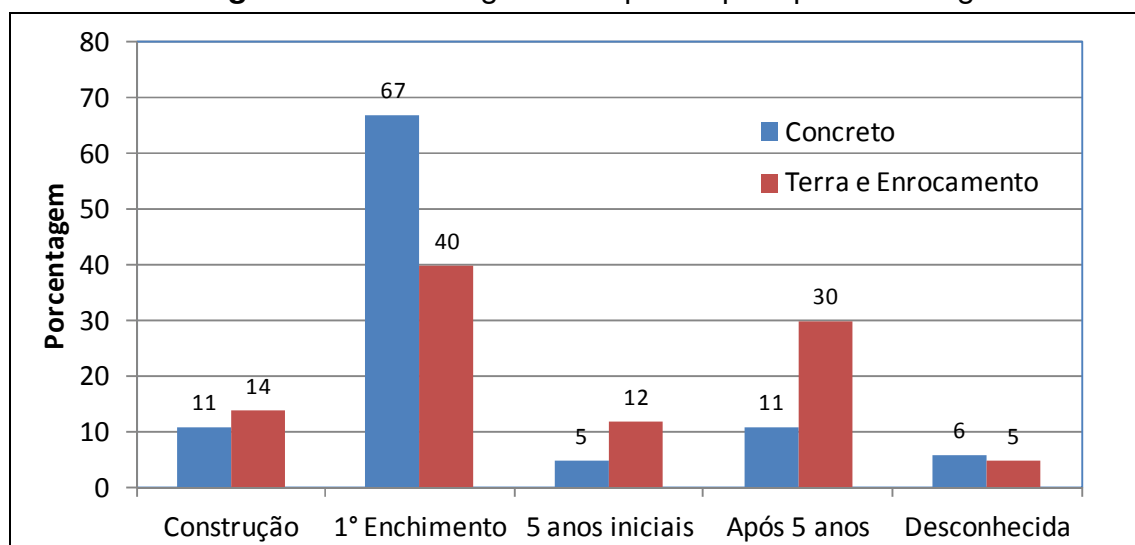


Fonte: ICOLD - International Commission on Large Dams – 1998.

Na Figura 2 foi possível verificar que para as barragens construídas antes de 1945, a maior proporção de rupturas em barragem foi causada por galgamento seguida de problemas na fundação, enquanto que para as barragens construídas após 1945, as rupturas foram causadas por problema na fundação seguida de galgamento.

Já o gráfico da Figura 3 representa duas distribuições expressas em porcentagem de ruptura para os diferentes tipos de Barragens de Concreto e de Terra.

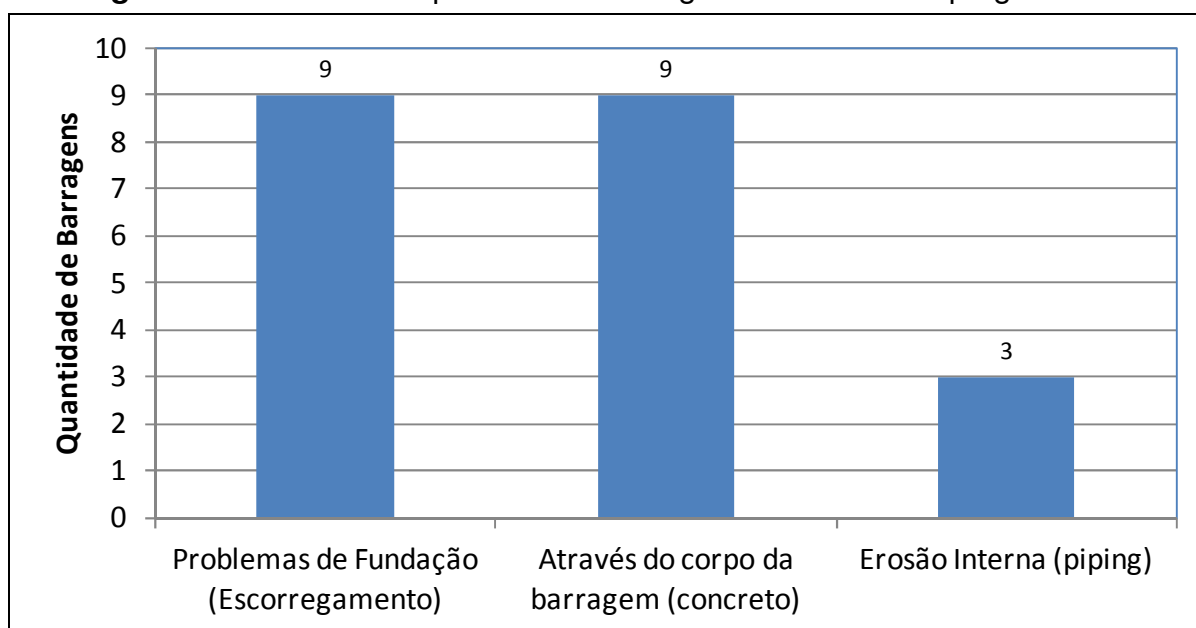
Figura 3 - Porcentagem de rupturas por tipo de barragem.



Fonte: ICOLD - International Commission on Large Dams – 1998.

Na Figura 3 nota-se que em ambos os tipos de Barragem a principal causa de ruptura é a fase de primeiro enchimento.

Por sua vez, a Figura 4 mostra as diferentes causas de ruptura de 21 barragens de concreto tipo gravidade.

Figura 4 – Causas da ruptura de 21 barragens de concreto tipo gravidade.

Fonte: ICOLD - International Commission on Large Dams – 1998.

É possível concluir que as principais causas de erosão em barragens de concreto são decorrentes de problemas de deslizamento da fundação, seguidos por problemas no corpo da barragem ou erosões internas.

A Tabela 1 apresenta as frequências de rupturas de barragens por ano para barragens de terra e de concreto segundo ICOLD (1998).

Tabela 1 - Frequências anuais de ruptura segundo o ICOLD.

Tipo de Evento	Frequência (barragem/ano)
Barragens de Terra / Enrocamento	
Erosão Interna (“piping”)	$6,3 \cdot 10^{-5}$
Instabilidade de talude	$1,1 \cdot 10^{-5}$
Erosão ao longo de tubulações internas	$5,9 \cdot 10^{-5}$
Fundação e modos diversos de ruptura	$4,7 \cdot 10^{-6}$
Barragens de Concreto	
Fundação / Ombreiras	$5,1 \cdot 10^{-4}$
Distensões Estruturais	$1,7 \cdot 10^{-4}$
Modos diversos de ruptura	$8,4 \cdot 10^{-5}$

Fonte: ICOLD - International Commission on Large Dams – 1998.

Verifica-se na Tabela 1 que as menores probabilidades de ruptura estão em problema na fundação com probabilidade de $4,7 \cdot 10^{-6}$ para barragens de terra e devido a modos diversos de rupturas com probabilidade de $8,4 \cdot 10^{-5}$ em barragens de concreto.

3.3.1 Análise das Probabilidades de Ruptura

As causas primárias da ruptura de barragens de terra são apresentadas na Tabela 2, segundo os dados levantados pelo ICOLD em 1998.

Tabela 2 - Avaliação das condições de acordo com a probabilidade.

Causas da Ruptura	Terra - TE (%)	Enrocam. – EN (%)	TE/EN (%)
Galgamento	23	45	31
Erosão Interna (piping)	33	21	38
Outras causas estruturais	29	25	23
Outras causas	15	9	8
Total (%)	100	100	100
Total de Barragens (Nº)	92	24	13

Fonte: ICOLD - International Commission on Large Dams – 1998.

Observando-se a Tabela 2 é possível concluir que nas barragens do tipo Terra e Terra/Encoramento a principal causa de ruptura é erosão interna, enquanto que na do tipo de enrocamento a principal causa de ruptura é o galgamento.

✦ BARRAGENS DE TERRA

A Tabela 3 mostra uma relação de causas de rupturas de barragens com as suas respectivas probabilidades de rupturas em qualquer idade e após 5 anos, para barragens de terra.

Tabela 3- Probabilidades anuais de ruptura.

CAUSA	QUALQUER IDADE	IDADE > 5 ANOS
TODAS	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$
FUNDAÇÃO	$7 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$
GALGAMENTO	$1 \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-5}$
PIPING	$2 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$
ESCORREGAMENTO	$4 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$
VERTEDOURO	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$
FALHA ESTRUTURAL	$1 \cdot 10^{-5}$	$9 \cdot 10^{-6}$

Fonte: ICOLD - International Commission on Large Dams – 1998.

Nota-se na Tabela 3 que causa de ruptura com menor probabilidade de ocorrer é a de escorregamento com probabilidades de $4 \cdot 10^{-6}$ e $5 \cdot 10^{-6}$ considerando qualquer idade e idade maior que 5 anos, respectivamente.

✚ BARRAGENS DE CONCRETO

A Tabela 4 mostra uma relação de causas de rupturas de barragens com as suas respectivas probabilidades de rupturas em qualquer idade e após 5 anos, para barragens de concreto.

Tabela 4 - Probabilidade absoluta de ruptura por tipo de falha.

CAUSA	QUALQUER IDADE	IDADE > 5 ANOS
TODAS	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$
FUNDAÇÃO	$7 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
GALGAMENTO	$4 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$
VERTEDOURO	$2 \cdot 10^{-5}$	---
FALHA ESTRUTURAL	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$2,3 \cdot 10^{-5}$

Fonte: ICOLD - International Commission on Large Dams – 1998.

✚ PROBABILIDADES ABSOLUTAS DE RUPTURA

A Tabela 5 mostra o risco de um evento de acordo com a probabilidade, bem como os critérios utilizados para avaliação do risco de ruptura.

Tabela 5- Avaliação das condições de acordo com a probabilidade.

Probabilidade Anual	Avaliação
10^{-3}	Muito Preocupante
10^{-4}	Preocupante
10^{-5}	Aceitável (temporariamente)
10^{-6}	Bom desempenho
10^{-7}	Ótimo desempenho

Fonte: ICOLD - International Commission on Large Dams – 1998.

3.4 Classificação das Barragens quanto aos Riscos e Dano Potencial

Segundo o Art. 7º da Lei nº 12.334/2010, as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem. A seguir são apresentados em detalhe os critérios utilizados em cada quesito, por meio de matrizes de classificação divulgadas pelo Ofício nº 388/2012 da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, na forma de tabelas.

Uma vez que a presente dissertação tem por objeto uma hidrelétrica em particular, juntamente com a apresentação das matrizes de classificação adotadas pela ANEEL serão destacadas, com fundo amarelo, as situações em que se enquadra a UHE Três Irmãos.

As características técnicas consideradas na análise são seis: (a) Altura, (b) Comprimento, (c) Material de Construção, (d) Tipo de fundação, (e) Idade da barragem e (f) Vazão de projeto. A matriz de decisão, conforme as características técnicas, é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Matriz de classificação quanto à categoria de risco, características técnicas.

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

Fonte: Ofício nº 388/2012 da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

O índice das características técnicas, CT, é atribuído pelo somatório dos pontos atribuídos ao empreendimento em cada um dos critérios, conforme a matriz de decisão da Tabela 6.

As características técnicas da barragem de Três Irmãos foram destacadas em amarelo na Matriz de Classificação da Tabela 6. Verifica-se que Três Irmãos possui um CT = 14.

A classificação quanto ao estado de conservação considera também seis características: (g) Confiabilidade das estruturas extravasoras, (h) Confiabilidade das estruturas de adução, (i) Percolação, (j) Deformação e recalques, (l) Deterioração dos Taludes/Paramentos e (m) condições da Eclusa. A matriz de classificação é

apresentada na Tabela 7. O índice numérico relativo à conservação é o EC, dado pelo somatório dos pontos atribuídos ao empreendimento em cada um dos quesitos pela matriz da Tabela 7.

Tabela 7 - Matriz de classificação quanto à categoria de risco, estado de conservação.

Matriz de classificação quanto à categoria de risco (acumulação de água)					
2 - Estado de conservação					
Confiabilidade das estruturas extravasoras (g)	Confiabilidade das estruturas de adução (h)	Percolação (i)	Deformações e recalques (j)	Deterioração dos Taludes/Paramentos (l)	Eclusa* (m)
Estruturas civis e eletromecânicas em pleno funcionamento/canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletrônicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui Eclusa. (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. (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e com medidas corretivas em implantação (4)	umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizada e/ou monitorada (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo. (1)	Estruturas civis e eletromecânicas bem mantidas e funcionando. (1)
Estruturas civis comprometidas ou Dispositivos hidroeletrônicos 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 (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados, com redução de capacidade de adução e sem medidas corretivas (6)	umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva. (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação. (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados com redução de capacidade de adução e sem medidas corretivas/canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (10)	Trincas e abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento à segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão com potencial de comprometimento à segurança. (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrônicos com problemas identificados e sem medidas corretivas. (4)
EC = $\sum (g \text{ até } m)$:		3			

Fonte: Ofício nº 388/2012 da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

As informações quanto ao estado de conservação da barragem de Três Irmãos foram destacadas em amarelo na Matriz de Classificação da Tabela 7. Verifica-se que Três Irmãos possui um EC = 3.

O índice referente ao atendimento ao Plano de Segurança da Barragem, PS, resulta da soma de pontos atribuídos conforme a matriz da Tabela 8. Os critérios de decisão para atribuir a pontuação, PS, são os seguintes: (n) Existência de documentação de projeto, (o) Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da Equipe de Segurança de Barragem, (p) Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento, (q) Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem e (r) Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

Tabela 8 - Matriz de classificação quanto à categoria de risco, plano de segurança de barragens – PS.

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)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	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 = $\sum$ (n até r):		4		

Fonte: Ofício nº 388/2012 da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

As informações quanto ao plano de segurança da barragem de Três Irmãos foram destacadas em amarelo na Matriz de Classificação da Tabela 8. Verifica-se que Três Irmãos possui um PS = 4.

A classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função dos seguintes critérios: (s) Volume do reservatório, (t) Potencial de perdas de vidas humanas, (u) Impacto ambiental e (v) Impacto econômico e social decorrentes da ruptura da barragem. O somatório dos pontos atribuídos aos critérios de classificação, conforme apresentado na Tabela 9, compõe o índice DPA.

Tabela 9 - Matriz de classificação quanto ao dano potencial associado (DPA).

Matriz de classificação quanto ao dano potencial associado- DPA (Acumulação de água)			
Volume total do reservatório para barragens de uso múltiplo ou aproveitamento energético (s)	Potencial de perdas de vidas humanas (t)	Impacto ambiental (u)	Impacto sócio-econômico (v)
Pequeno $\leq 5 \text{ hm}^3$ (1)	INEXISTENTE (Não existem pessoas permanentes/ residentes ou temporárias/transitando na área a jusante da barragem) (0)	SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem não representa áreas protegidas em legislação específica ou encontra-se totalmente descaracterizada de suas condições naturais) (3)	INEXISTENTE (quando não existem quaisquer instalações e serviços de navegação na área afetada por acidente da barragem) (0)
Médio 5 a 75 hm^3 (2)	POUCO FREQUENTE (Não existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, mas existe estrada vicinal de uso local) (4)	MUITO SIGNIFICATIVO (quando a área afetada da barragem apresenta interesse em legislação específica) (5)	BAIXO (quando existe pequena concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais ou de infraestrutura na área afetada da barragem) (4)
Grande 75 a 200 hm^3 (3)	FREQUENTE (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) (8)	-	ALTO (quando existe grande concentração de instalações residenciais e comerciais, agrícolas, industriais, de infraestrutura e serviços da barragem ou instalações portuárias ou serviços de navegação) (8)
Muito grande $> 200 \text{ hm}^3$ (5)	EXISTENTE (Existem pessoas ocupando permanentemente a área a jusante da barragem, portanto, vidas humanas poderão ser atingidas) (12)	-	-
DPA = $\sum$ (s até v):		24	

Fonte: Ofício nº 388/2012 da ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica.

As informações quanto ao dano potencial associado da barragem de Três Irmãos foram destacadas em amarelo na Matriz de Classificação da Tabela 9. Verifica-se que Três Irmãos possui um DPA = 24.

Os índices CT, EC e OS são somados e resultam na categoria de risco com a aplicação dos critérios definidos na Tabela 10. O dano potencial associado resulta da aplicação dos critérios de classificação da Tabela 10 ao índice DPA.

Tabela 10 - Matriz de classificação para barragens de acumulação de água.

MATRIZ PARA BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA			
CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM QUANTO À CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL			
Nome da barragem:		Usina Três Irmãos	
Nome do empreendedor:		CESP	
Data:		16/fev	
II.1 CATEGORIA DE RISCO			Pontos
1	Características Técnicas (CT)		14
2	Estado de conservação (EC)		3
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)		4
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT+ EC + PS			21
	FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI
		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.			
II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO			Pontos
		DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	24
	FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA
		ALTO	≥ 16
		MÉDIO	10 < DP < 16
		BAIXO	≤ 10
RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:			
	CATEGORIA DE RISCO		Alto/Médio/Baixo
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		Alto/Médio/Baixo

Fonte: Ofício nº 388/2012 da ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica.

Os índices CT, EC, OS e DPA da barragem de Três Irmãos estão apresentados em vermelho na Tabela 10. Seguindo as matrizes de classificação de barragens estabelecidas na resolução da Lei, a barragem de Três Irmãos foi classificada como sendo de Risco Baixo e Dano Potencial Alto, conforme o critério

exposto na Tabela 10, havendo portando a necessidade de elaboração de Plano de Ação Emergencial que deverá estar disponível na Empresa responsável pela barragem, nas prefeituras envolvidas e na Defesa Civil.

3.5 Propagação de Ondas de Cheia

3.5.1 Tipos de Modelos de Propagação de Cheias

O escoamento resultante da ruptura de uma barragem envolve fenômenos de difícil caracterização matemática e com grande variação das grandezas hidráulicas no tempo e no espaço. O processo para estudar a propagação de ondas de ruptura de barragens pode ser realizado através de modelos empíricos, modelos matemáticos ou modelos físicos.

A utilização de modelos físicos do escoamento provocado pela ruptura de barragens é uma prática usada apenas em situações muito específicas de pesquisa, devido às dificuldades de realização dos ensaios e alto custo resultante.

Os modelos empíricos são baseados em equações empíricas de previsão, geralmente obtidas a partir de observações de eventos já ocorridos, por meio de regressão, considerando diversas variáveis de correlação. Normalmente os modelos empíricos são particulares, isto é, com aplicação restrita a situações com o mesmo conjunto de condicionantes existentes nos eventos que geraram os dados utilizados nas correlações.

Os modelos matemáticos são desenvolvidos utilizando as equações diferenciais que regem os fenômenos envolvidos, sendo muito difundidos os modelos que utilizam as equações de Saint-Venant, que realizam o balanço de massa e da quantidade de movimento em escoamentos unidimensionais.

Os modelos matemáticos podem ser divididos em analíticos ou numéricos, conforme o tipo de solução desenvolvido para as equações diferenciais envolvidas. As soluções analíticas geram funções do tempo e espaço permitindo definir a solução em qualquer ponto do domínio do problema. Normalmente as soluções analíticas só são possíveis para casos muito simplificados, sendo importantes, entretanto, para fazer a validação dos modelos numéricos.

Os modelos numéricos são de aplicação mais geral, permitindo modelar o escoamento provocado pela ruptura de uma barragem em condições mais reais. Os modelos numéricos empregam diversas técnicas, como Diferenças Finitas ou Elementos Finitos, para gerar uma aproximação numérica da solução desconhecida. Enquanto as soluções analíticas são contínuas no tempo e espaço, as soluções numéricas são obtidas apenas em alguns pontos do domínio e em determinados tempos.

Os modelos numéricos baseados nas equações de Saint-Venant podem ser divididos conforme as hipóteses simplificadoras adotadas em: Modelos Hidrológicos ou de Armazenamento, Modelos Hidráulicos Simplificados e Modelos Hidrodinâmicos.

Os modelos hidrológicos não resolvem as duas equações completas de Saint-Venant. Consideram apenas a equação da conservação de massa, excluindo, portanto, os efeitos dinâmicos. Neste tipo de modelo são considerados apenas os efeitos do armazenamento temporário na calha principal e nas áreas de inundação para obter a atenuação da onda de cheia. O método de Muskingum é um exemplo clássico de modelo de propagação do tipo hidrológico ou de armazenamento.

Os modelos hidráulicos simplificados baseiam-se nas equações de Saint-Venant de forma não completa. Consideram a equação da conservação da massa e formas simplificadas da conservação da quantidade de movimento. Conforme as hipóteses simplificadoras, os modelos podem ser divididos em: modelos de difusão, que ignoram os termos de inércia, e modelos cinemáticos, que ignoram os termos de inércia e do gradiente de pressão (consideram apenas os termos relativos às forças de gravidade e de atrito).

Os modelos que consideram todos os termos das equações de Saint-Venant são chamados de modelos hidrodinâmicos. A forma mais simples de aplicar um modelo hidrodinâmico a um trecho de rio considera o escoamento unidimensional, ou seja, apenas um valor de altura de água e de velocidade em toda a seção transversal.

Dentre diversas implementações computacionais existentes com a modelagem hidrodinâmica unidimensional, escolheu-se adotar neste trabalho, para a modelagem da propagação de cheia em condição de ruptura de barragens, o

modelo numérico HEC RAS 4.1.0. Embora tenha sido desenvolvido originalmente para simulação de cheias naturais em rios, o HEC-RAS pode ser utilizado para simulação de escoamento provocado por ruptura de barragens, desde que respeitadas as condições de estabilidade e desconsiderando-se a criação de ondas de choque. Essa simulação possibilita determinar as profundidades, as velocidades, o tempo de chegada da onda de cheia e o tempo de pico do nível d'água, permitindo estimar o dano potencial e a duração da inundação (BRASIL, et al., 2005).

A seguir é apresentada uma dedução do conjunto de equações de Saint-Venant e, após essa contextualização, são apresentadas as principais características e técnicas de solução numérica adotadas no HEC-RAS.

3.5.2 Equações de Saint-Venant

O cálculo hidrodinâmico unidimensional utiliza as equações de Saint-Venant. Estas são equações diferenciais que descrevem o princípio da conservação da massa e do balanço da quantidade de movimento para cada ponto do curso d'água.

As equações de Saint-Venant constituem, portanto, um sistema de duas equações diferenciais parciais: a equação da continuidade (ou da conservação da massa) e a equação da dinâmica (ou da quantidade de movimento).

Equação da continuidade

O princípio da conservação da massa pode ser escrito na forma integral para um volume de controle V.C. separado do restante do escoamento por uma superfície de controle S.C. na forma :

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C.} \rho \, dVol + \int_{S.C.} \rho \, \vec{V} \cdot \vec{dA} = 0 \quad 1$$

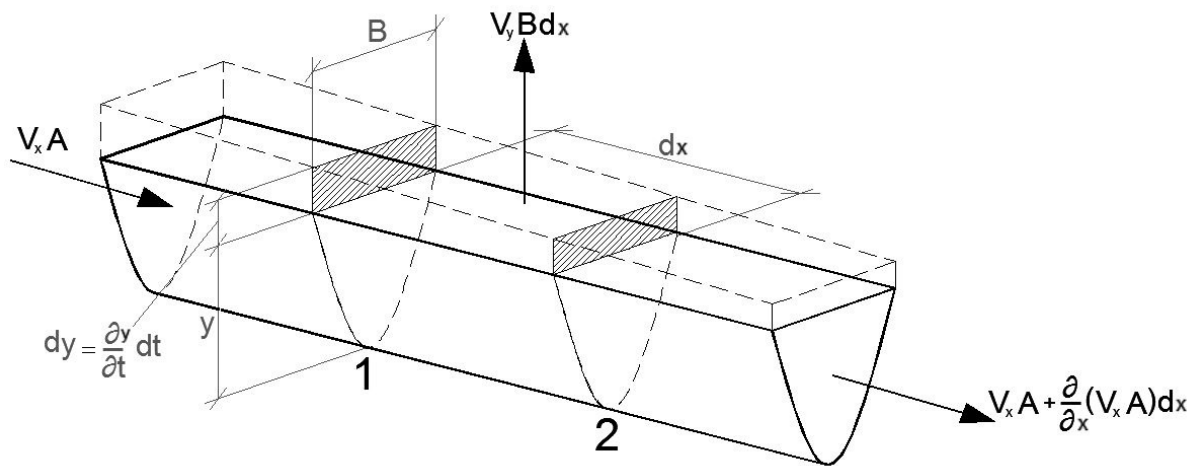
Na hipótese do fluído ser incompressível, a massa específica da água (ρ) é considerada constante, assim a equação da conservação da massa fica reduzida à conservação do volume, na seguinte forma:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C.} dVol + \int_{S.C.} \vec{V} \cdot \vec{dA} = 0 \quad 2$$

O primeiro termo é a taxa de variação do volume do fluido no V.C. e o segundo termo é o saldo de fluxos de entrada e saída no V.C.

Considere a aplicação do balanço expresso na equação 2 ao volume de controle elementar de comprimento dx , no qual o escoamento livre se processa da seção 1 para a seção 2, como mostra a Figura 5.

Figura 5 – Volume de controle elementar.



Fonte: Tucci - Modelos hidrológicos (2005).

Sendo:

- x uma abscissa medida ao longo do canal;
- A área da seção reta;
- y altura ou tirante d'água;
- B largura do canal na superfície livre;
- V Velocidade média na seção 1

Para o elemento diferencial da Figura 5 a taxa de variação do volume contido no VC é dada por $\frac{\partial y}{\partial t} B dx$ e o saldo de fluxos de entrada e saída por $\frac{\partial}{\partial x} (V_x A) dx$. Com essa informação a equação da continuidade fica:

$$\frac{\partial y}{\partial t} B dx + \frac{\partial}{\partial x} (V_x A) dx = 0 \quad 3$$

Dividindo por dx e usando a regra da cadeia no segundo termo:

$$B \frac{\partial y}{\partial t} + V_x \frac{\partial A}{\partial x} + A \frac{\partial V_x}{\partial x} = 0 \quad 4$$

Outra forma também usada da equação da continuidade, considerando na equação 3 que $B \partial y = \partial A$ e que $V A = Q$, sendo Q a vazão, é dada por:

$$\left(\frac{\partial A}{\partial t}\right) + \left(\frac{\partial Q}{\partial x}\right) = 0 \quad 5$$

Equação da Quantidade de Movimento

O balanço de quantidade de movimento é obtido aplicando-se a relação sistema-volume de controle, também conhecida como transformação de Reynolds. Para a grandeza quantidade de movimento tem-se:

$$\Sigma \vec{F}_{V.C.} = \frac{\partial}{\partial t} \int_{V.C.} \vec{V} \rho dVol + \int_{S.C.} \vec{V} \rho \vec{V} \cdot \vec{dA} \quad 6$$

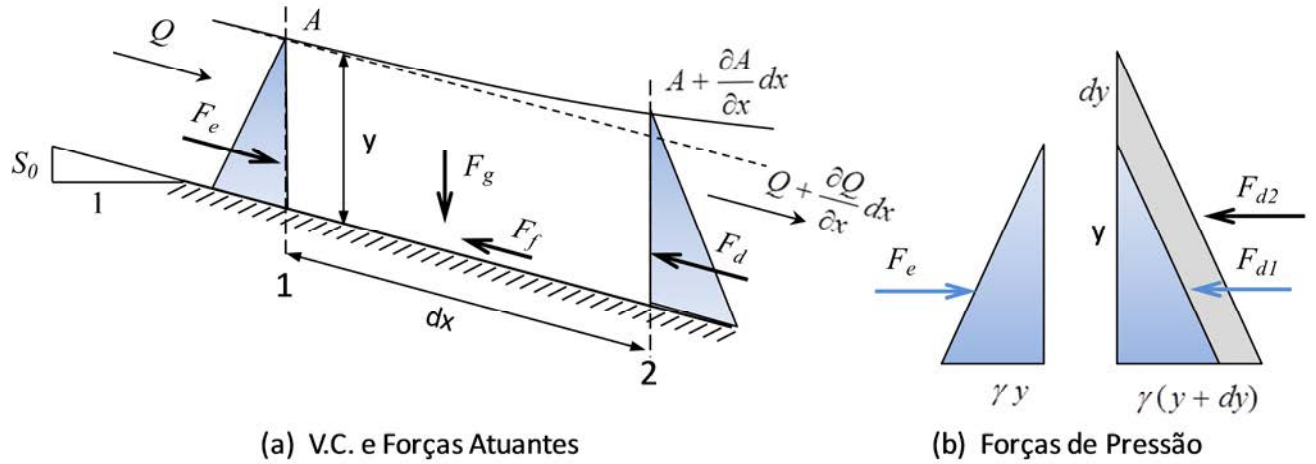
O primeiro termo do segundo membro representa a taxa de variação da quantidade de movimento no VC. Pode ocorrer porque as velocidades variam no tempo, no interior do VC, ou porque a quantidade de massa varia no tempo, ou pela combinação de ambos.

O segundo termo representa o saldo de fluxos de quantidade de movimento (fluxo que sai menos fluxo que entra).

A equação é resolvida para cada componente da força sobre o V.C. Em problemas unidimensionais, como o V.C. da Figura 5, o balanço de quantidade de movimento fica:

$$\Sigma F_x = \frac{\partial}{\partial t} \int_{VC} V_x \rho dVol + \int_{SC} V_x \rho \vec{V} \cdot \vec{dA} \quad 7$$

Para o somatório de forças sobre o V.C. considere os termos definidos na Figura 6, com o eixo x acompanhando o fundo do canal, e lembrando que a inclinação é muito pequena.

Figura 6 – Esquema das forças atuantes no V.C.

Considerando o esquema da Figura 6 (a) o somatório de forças na direção x é dado por:

$$\Sigma F_x = F_e - F_d + F_f - F_{g,x} \quad 8$$

Forças de Pressão:

Os dois primeiros termos do segundo membro da equação 8 correspondem às forças de pressão, cuja distribuição é suposta hidrostática. A força atuante na face de jusante pode ser expressa a partir de F_e , conforme o diagrama de pressões do esquema da Figura 6(b). Pode-se dizer que $F_d = F_{d1} + F_{d2}$, sendo que $F_{d1} = F_e$. Assim,

$$F_e - F_d = -F_{d2} = \gamma dy A = \rho g A \frac{\partial y}{\partial x} dx \quad 9$$

Força de Atrito:

A força devida ao atrito é o resultado da resistência ao escoamento e pode ser dada em função da tensão de cisalhamento junto às paredes por:

$$F_f = -\tau P dx \quad 10$$

Onde τ = tensão de cisalhamento, P = perímetro molhado da seção.

Mas a força de atrito pode ser calculada também a partir do efeito global do trabalho de atrito no V.C, que resulta em perda de energia. Expressando a perda de energia em função da perda de carga dh , ou energia por unidade de peso, tem-se:

$$W_f = F_f dx = dh_e \rho g A dx \quad 11$$

Eliminando o termo dx na equação 11 e expressando a perda de carga dh_e em termos da declividade da linha de energia, S_f , sabendo que $dh_e = S_f dx$, chega-se à força de atrito:

$$F_f = \rho g A S_f dx \quad 12$$

Força Peso:

A componente do peso do V.C. na direção do escoamento é a única força de campo a ser considerada no escoamento, dada por:

$$F_g = \rho g A dx \sin\theta \cong \rho g A dx \tan\theta = \rho g A S_0 dx \quad 13$$

Na equação 13 considera-se que a inclinação do fundo é pequena, de forma que se pode considerar $\sin\theta \cong \tan\theta = dz/dx = S_0$.

Para completar o balanço de quantidade de movimento é necessário avaliar ainda os termos do segundo membro da equação 7, a saber: a variação local da quantidade de movimento (primeiro termo) e a variação convectiva, ou saldo de fluxos (segundo termo).

A variação local, para o volume diferencial considerado, é:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho A dx V) = \rho dx \left(A \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial A}{\partial t} \right) \quad 14$$

A variação convectiva resulta da aplicação da integral de superfície da equação 7, obtendo-se o saldo de fluxos de quantidade de movimento dado por:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho V V A) dx = \frac{\partial}{\partial x}(\rho V^2 A) dx = \rho dx \left(A \frac{\partial V^2}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \right) \quad 15$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho V^2 A) dx = \rho dx V \left(2A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} \right) \quad 16$$

O termo entre parêntesis da equação 16 pode ser simplificado com a equação da continuidade (equação 4), pois:

$$A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = -B \frac{\partial y}{\partial t} = - \frac{\partial A}{\partial t} \quad 17$$

Com o resultado da equação 17 em 16 tem-se, para o termo de variação convectiva:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho V^2 A)dx = \rho dx V \left(A \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial t} \right) \quad 18$$

Igualando os termos da somatória de forças (equações 9, 12 e 13) aos termos da variação da quantidade de movimento no V.C. (equações 14 e 18), obtém-se finalmente o balanço da quantidade de movimento:

$$\rho g A dx \left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - S_f \right) = \rho dx \left(A \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial A}{\partial t} \right) + \rho dx V \left(A \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{\partial A}{\partial t} \right) \quad 19$$

Dividindo pela massa do volume de controle ($g A dx$) tem-se:

$$g \left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - S_f \right) = \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} \quad 20$$

Rearranjando, tem-se a segunda equação de Saint-Venant:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(S_0 - S_f) \quad 21$$

A equação 21 deve ser satisfeita juntamente com a equação 4, da continuidade. Para uso com a equação 5, que explicita a vazão, a equação 21 pode ser escrita como:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + g A \frac{\partial y}{\partial x} = g A S_0 - g A S_f \quad 22$$

Os dois primeiros termos das equações 21 e 22 são os termos de inércia. O último termo do primeiro membro é o termo de pressão. No segundo membro encontram-se os termos de gravidade e atrito.

Para a dedução das equações de Saint-Venant algumas hipóteses simplificadoras foram adotadas:

- ✦ Fluido incompressível; escoamento unidimensional, no qual a velocidade média é representativa da variação espacial na seção e o sentido predominante do escoamento é longitudinal; Isto implica que a velocidade é constante e a superfície da água é horizontal numa secção perpendicular ao eixo longitudinal;

- Distribuição hidrostática de pressão na vertical, desprezando-se eventuais efeitos de escoamento de aceleração vertical;
- Variação gradual das seções transversais e ausência de singularidades como contrações, pilares, pontes, etc;
- A declividade da linha de energia pode ser calculada por uma equação estabelecida para o regime permanente uniforme, como a fórmula de Manning ou Chézy.
- A inclinação do fundo do canal é pequena.

3.5.3 Modelagem Unidimensional Utilizada no HEC-RAS

O HEC-RAS foi desenvolvido em 1964 pelo exército dos EUA - *Corps of Engineers*, com a finalidade de admitir estudos de análise de escoamento de canais e várzeas. Tornou-se rapidamente uma ferramenta de análise hidráulica, ampliado nos anos seguintes para assegurar, entre outras coisas, estudos para projeto de pontes, represa, e análises de bueiros. Embora HEC tenha sido desenvolvido originalmente para uso de computadores mainframe, posteriormente passou a operar em computadores pessoais (em modo DOS) e estações de trabalho.

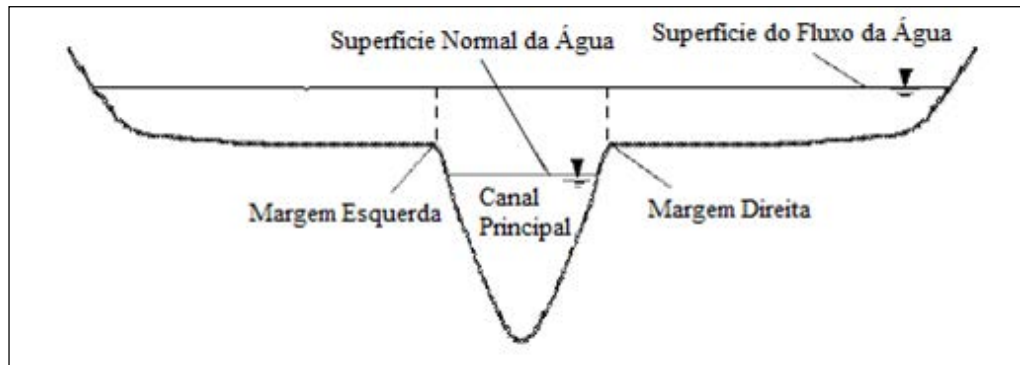
Devido ao aumento do uso de software baseado em ambiente Windows, no início de 1990 o HEC lançou uma contrapartida compatível com Windows para HEC-2 chamado de Sistema de Análise de Rios - RAS. HEC-RAS tem uma interface gráfica programada em Visual Basic, para o qual estão ligados os algoritmos de fluxo de computação programados em FORTRAN, muitas das quais foram derivadas do modelo HEC inicial.

O HEC-RAS é capaz de modelar regimes subcríticos, supercrítico, e escoamento misto de rios. Os resultados do modelo são tipicamente aplicados na elaboração de modelos de inundação (HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 1997).

HEC-RAS utiliza um número de parâmetros de entrada para a análise hidráulica da geometria do canal de fluxo e fluxo de água. Estes parâmetros são utilizados para estabelecer uma série de seções transversais ao longo do escoamento. Em cada seção transversal, são identificados e localizados os dados

de fluxos para se dividir em segmentos de planície esquerda, o canal principal, e planície direita, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – Esquema de fluxo de seção transversal.



Fonte: HEC, 2010.

Em cada seção transversal, o HEC-RAS utiliza vários parâmetros de entrada para descrever a forma, elevação e posição relativa ao longo do rio:

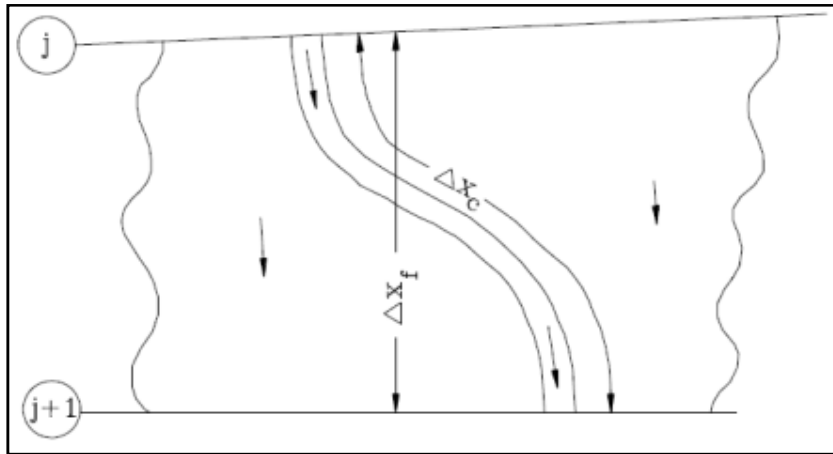
- Número da seção no rio;
- Coordenadas de cada ponto da seção, da esquerda para a direita;
- As coordenadas laterais e de elevação dos pontos do terreno que definem o início das áreas secas ou planícies alagáveis;
- Comprimentos entre seções pela planície esquerda, canal central e planície direita de cada seção transversal adjacente. Os três comprimentos representam o caminho da vazão média através de cada segmento do par de seções transversais;
- Os coeficientes de rugosidade (Manning);
- Os coeficientes de contração e expansão do canal;
- Descrição geométrica de todas as estruturas hidráulicas, tais como pontes, canais e açudes.

As equações básicas para cálculo unidimensional do perfil da água pelo HEC-RAS são apresentadas neste item, com base no manual de referência (1997).

A Figura 8 ilustra as características bidimensionais da interação entre os escoamentos no canal e planície de inundação. Quando o nível do rio está subindo a água move-se lateralmente para fora do canal, inundando a planície lateral e preenchendo as áreas de armazenamento disponíveis. À medida que a profundidade cresce, a planície de inundação começa a conduzir água para jusante, geralmente através de uma trajetória menor que a do canal principal. Quando o nível

da água está descendo, a água move-se do leito maior em direção ao canal, alimentando o escoamento no canal principal.

Figura 8 - Fluxo em canal com planície de inundação.



Fonte: HEC, 2010.

Como a direção principal do escoamento é orientada ao longo do canal, esse campo de escoamento bidimensional pode ser aproximado com precisão por uma representação unidimensional. Áreas de acúmulo fora do canal podem ser modeladas como áreas de armazenamento que trocam água com o canal. Escoamento sobre o leito maior pode ser aproximado como escoamento através de um canal separado.

Perda de carga

A perda de carga h_e entre duas seções transversais é composta por perdas por atrito e perdas por contração ou expansão. A equação para a perda de carga é a seguinte:

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right|$$

23

onde: L = Comprimento do trecho ponderado em vazão;

S_f = declividade da linha de energia entre duas seções;

C = coeficiente de perda por expansão ou contração

O comprimento ponderado do trecho entre duas seções consecutivas, L, é calculado por:

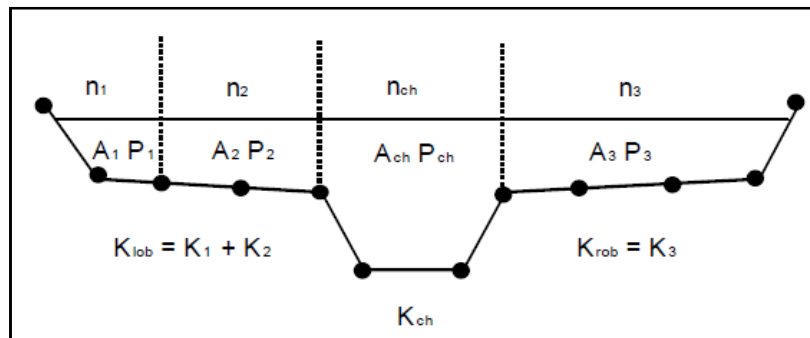
$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad 24$$

Em que L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} são os comprimento dos trechos especificados para escoamento no leito de inundação da margem esquerda, canal principal e leito de inundação da margem direita, respectivamente, e $\bar{Q}_{lob}$, $\bar{Q}_{ch}$, $\bar{Q}_{rob}$ são as médias aritméticas das vazões entre as seções pelo leito de inundação esquerdo, canal principal e leito de inundação direito, respectivamente.

Subdivisão da Seção Transversal para Cálculo do Coef. de Transporte

A determinação do coeficiente de transferência total para uma seção transversal requer a subdivisão do escoamento em unidades nas quais a velocidade é distribuída uniformemente. A abordagem empregada no HEC-RAS é subdividir o escoamento nas áreas de inundação usando pontos de mudança dos valores de n da seção transversal como a base para a subdivisão, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Divisão do escoamento em canal com planície de inundação.



Fonte: HEC, 2010.

O coeficiente de transporte é calculado em cada subdivisão pela equação de Manning:

$$Q = K S_f^{1/2} \quad 25$$

$$K = \frac{1,486}{n} A R^{2/3} \quad 26$$

onde: K = fator de transporte para a subdivisão;
 n = coeficiente de rugosidade de Manning para a subdivisão;
 A = área do escoamento da subdivisão;
 R = raio hidráulico da subdivisão.

O programa soma todos os coeficientes de transferência parciais nas áreas de inundação para obter o fator de transferência para as áreas da margem esquerda e da margem direita. O fator de transferência do canal principal normalmente é calculado como um elemento único. O fator de transferência total é obtido pela soma dos fatores das três subdivisões (esquerda, canal e direita).

Para determinação do n_c o canal principal é dividido em N partes, cada uma com um perímetro molhado conhecido P_i e coeficiente de rugosidade n_i .

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{P} \right]^{2/3} \quad 27$$

Onde: n_c = coeficiente de rugosidade composto ou equivalente

P = perímetro molhado total do canal principal

P_i = perímetro molhado da subdivisão i

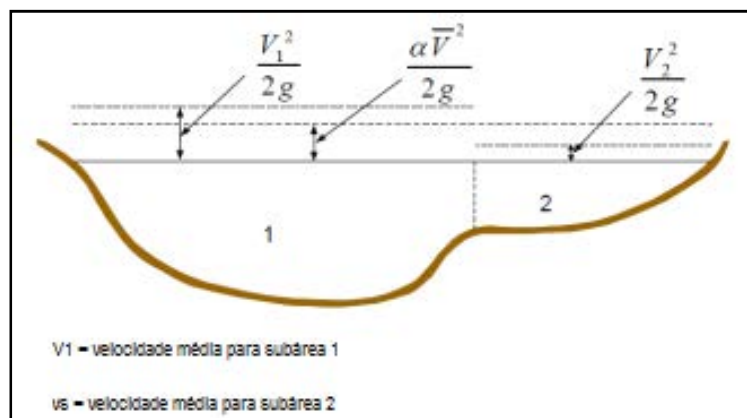
n_i = coeficiente de rugosidade da subdivisão i .

O valor calculado do n_c composto, que deve ser verificado quanto à razoabilidade, é o coeficiente n para o canal principal composto que é mostrado nas tabelas da saída e de resumo.

Avaliação da Carga Cinética Média

Para uma dada elevação da superfície da água, a energia média é obtida pelo cálculo, ponderado pela vazão, da energia das três subseções de uma seção transversal. A Figura 10 mostra como a energia média seria obtida para uma seção transversal com um canal principal e uma área de inundação a direita.

Figura 10 - Exemplo de como a energia é transferida do canal principal para uma das margens.



Fonte: HEC, 2010.

Para calcular a carga cinética média é necessário obter o coeficiente de carga cinética, α , o qual, multiplicado pela energia cinética calculada com a velocidade média deve igualar a soma da energia cinética das subdivisões da seção, como segue:

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \quad 28$$

$$\alpha = \frac{2g \left[Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g} \right]}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2} \quad 29$$

Para um caso geral com N subdivisões:

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{V}^2} \quad 30$$

Cálculo da Perda de Carga

A perda de carga entre duas seções é avaliada no HEC-RAS como o produto de S_f e L (Equação 23), onde S_f é a declividade representativa da linha de energia para o trecho, e L é definido pela Equação 24. A declividade de atrito (declividade da linha de energia) a cada seção transversal é calculada pela equação de Manning, como segue:

$$S_f = \left(\frac{Q}{K} \right)^2 \quad 31$$

O HEC-RAS possui expressões alternativas para a declividade de atrito (S_f) como por exemplo o Fator de Transporte Médio:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad 32$$

Pode-se adotar também a Declividade Média de Atrito e a Média Geométrica da Declividade de Atrito, além de Média Harmônica das declividades de atrito das duas seções consideradas. Detalhes das equações são apresentados no manual de referência do programa.

Avaliação das Perdas de Contração e Expansão

As perdas de contração e expansão são avaliadas no HEC-RAS pela equação seguinte:

$$h_{c,e} = C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad 33$$

onde: C = coeficiente de expansão ou contração

Aplicação das Equações de Escoamento Transiente no HEC-RAS

O problema de canal/planície de inundação tem sido encaminhado de muitas formas diferentes. Uma abordagem comum é ignorar totalmente a condutância (coeficiente de transferência) do leito maior, assumindo que o leito de inundação é usado apenas para armazenamento. Esta hipótese pode ser adequada para grandes rios, como o rio Mississippi onde o canal principal é delimitado por diques e a planície de inundação restante é densamente vegetada ou é uma área de armazenamento extra-canal. Fread (1976) e Smith (1978) abordaram este problema pela divisão do sistema em dois canais separados e escrevendo equações da continuidade e da quantidade de movimento para cada canal. Para simplificar o problema eles assumiram uma superfície da água horizontal em cada seção normal à direção do escoamento; de forma que a troca de quantidade de movimento entre o canal e a planície de inundação era desprezível e que a vazão era distribuída de acordo com a condutância, isto é:

$$Q_c = \phi Q = \frac{K_c}{K_c + K_f} Q \quad 34$$

em que:

Q_c = vazão no canal

Q = vazão total

ϕ = fator de distribuição $K_c / (K_c + K_f)$

K_c = condutância no canal

K_f = condutância na planície de inundação

Com essas hipóteses, as equações unidimensionais do movimento podem ser combinadas num único conjunto:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \quad 35$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial((1-\phi)^2 Q^2 / A_f)}{\partial x_f} + \\ + g A_c \left[\frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + g A_f \left[\frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \end{aligned} \quad 36$$

Em que os subscritos *c* e *f* referem-se ao canal e à planície de inundação, respectivamente.

Essas equações são aproximadas usando diferenças finitas implícitas, e resolvidas numericamente usando técnica iterativa de Newton-Raphson. Oscilações numéricas, entretanto, podem ocorrer quando o escoamento em um dado nó, na fronteira de uma célula de diferenças finitas, está sobre o leito maior e o outro nó não.

Expandindo o trabalho anterior de Fread e Smith, Barkau (1982) manipulou as equações de diferenças finitas do canal e da planície de inundação e definiu um novo conjunto de equações que era computacionalmente mais conveniente. Usando um fator de distribuição de velocidades, ele combinou os termos convectivos. Adicionalmente, pela definição de um trajeto equivalente do escoamento, Barkau substituiu os termos de declividade de atrito por uma força equivalente.

As equações deduzidas por Barkau são a base para a solução em regime transiente no programa HEC-RAS. Estas equações são apresentadas na referência (HEC RAS. 2010), onde se encontra a descrição completa.

Esquema Implícito de Diferenças Finitas

O HEC-RAS emprega o procedimento mais bem-sucedido e aceito para resolver as equações de escoamento transiente unidimensional, que é o esquema implícito de quatro pontos, também conhecido como esquema box. Sob este esquema, derivadas espaciais e valores das funções são avaliados num ponto interior, $(n+\theta)\Delta t$. Então valores em $(n+1)\Delta t$ entram em todos os termos nas equações. Para um trecho de rio, é produzido um sistema de equações simultâneas. A solução simultânea é um aspecto importante deste esquema porque permite a influência da informação de todo o trecho sobre a solução em qualquer ponto. Consequentemente, o passo de tempo pode ser significativamente maior que em esquemas numéricos explícitos.

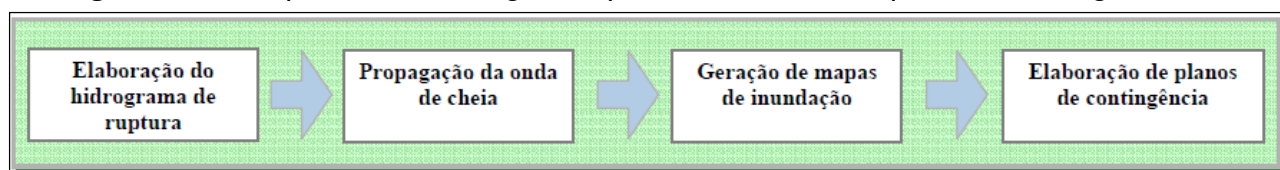
A análise de estabilidade mostra que o esquema implícito é incondicionalmente estável (teoricamente) para $0,5 < \theta \leq 1$, condicionalmente estável para $\theta = 0,5$ e instável para $\theta < 0,5$. Em uma análise de convergência efetuada pelos mesmos autores, foi demonstrado que o amortecimento numérico aumenta à medida que a relação $\lambda/\Delta x$ diminui, onde λ é o comprimento de uma onda no sistema hidráulico. Para problemas de propagação de cheias onde os comprimentos de onda são grandes em relação às distâncias espaciais, a convergência não é um problema sério (HEC-RAS, 2010).

Na prática, segundo o manual de referência, outros fatores também podem contribuir para a instabilidade do esquema de solução. Esses fatores incluem mudanças drásticas nas propriedades da seção transversal do canal, mudanças abruptas na inclinação do canal, características da onda de cheia em si, e estruturas hidráulicas complexas, tais como diques, pontes, bueiros, vertedores e extravasores. De fato, esses outros fatores frequentemente sobrepõem-se a qualquer consideração de estabilidade associada com θ . Devido a esses fatores, o manual recomenda que **“qualquer aplicação do modelo deve ser acompanhada por um estudo de sensibilidade, onde a precisão e a estabilidade das soluções são testadas com vários intervalos de tempo e distância”** (HEC-RAS, 2010, grifo no original).

3.6 Etapas Envolvidas na Análise de Ruptura de Barragem

De acordo com o Boletim 111 do Comitê Internacional de Grandes Barragens (INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS, 1998), uma metodologia de análise de ruptura de barragem pode ser descrita em quatro passos, conforme mostra o esquema da Figura 11.

Figura 11 – Etapas a serem seguidas para a análise de ruptura de barragem.



Fonte: ICOLD – International Commission of Large Dams, 1998.

3.6.1 Hidrograma de Ruptura e Vazão de Pico

Para se determinar o hidrograma de ruptura defluente é necessário inicialmente conhecer as características da brecha; configuração geométrica, dimensões e o tempo de ruptura; fatores que, no seu conjunto, influenciam os valores das vazões, nos níveis e tempos de chegada da onda de ruptura às diferentes zonas da área de inundação, afetando diretamente na elaboração do PAE.

Na região próxima da barragem, a largura da brecha e o respectivo tempo de ruptura influenciam significativamente os valores das vazões de pico e os níveis máximos. Das três características da brecha, a configuração geométrica é a que menos influi no escoamento permanente. Deve-se notar que a definição das características das brechas assume uma maior importância quando se pretende analisar os efeitos da cheia em regiões situadas muito a jusante da barragem; nesses casos, grande parte da atenção deverá concentrar no processo de propagação da onda de cheia, nos efeitos dos coeficientes de rugosidade do leito e do armazenamento nos terrenos marginais, fatores estes que podem provocar uma atenuação da intensidade da cheia.

Dentre todos os fatores relativos à simulação de cheia induzida pela ruptura, a simulação da evolução da brecha no espaço e no tempo e a estimativa dos respectivos parâmetros constituem fontes de grande incerteza.

Para simular o evento de ruptura, é necessário primeiramente elaborar o hidrograma da vazão defluente no momento da ruptura. As características principais a serem determinadas referem-se à forma da brecha e ao tempo de formação da mesma (BRASIL, et al., 2005).

Outro aspecto importante é a determinação da descarga de pico defluente devido à ruptura. Diversos autores estabeleceram expressões matemáticas relacionando a máxima vazão de descarga com características da barragem (altura do barramento, comprimento da crista, volume do reservatório, etc.), como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 - Diferentes formulações empíricas de previsão da vazão de pico.

Autor	Vazão de Pico	Característica
Lou (1981) apud Mascarenhas (1990)	$Q_{max} = 7,683H_d^{1,909}$	Fórmula baseada na análise de 19 diferentes casos de ruptura de natureza diversa
Hagen (1982)	$Q_{max} = 1,205(H_d V)^{0,48}$	Fórmula baseada em observações de valores relativos a casos já ocorridos de ruptura
Saint-Venant (-) apud U.S. Army Corps of Enginners (1997)	$Q_{max} = \frac{8}{27} B \sqrt{g} Y_{médio}^{3/2}$	Fórmula desenvolvida por Saint-Venant para o caso de remoção instantânea e total do barramento
Bureau of Reclamation (1982) apud Bureau of Reclamation (1987)	$Q_{max} = 19 H_d^{1,85}$	Fórmula baseada em dados coletados de vazões de pico históricas e de profundidade da lâmina d'água no reservatório no momento da ruptura
Vertedor de Soleira Espessa (Singh, 1996)	$Q_{max} = 1,7B_b H_b^{3/2}$	De acordo com Singh, o escoamento que passa pela brecha pode ser assumido como análogo ao escoamento que passa por um vertedor retangular de soleira espessa
Wetmore e Fread (1981) apud French (1985)	$Q_{max} = 1,7B_b \left\{ \frac{1,94 \frac{A_t}{B_b}}{T_p + \left[\frac{1,94 A_t}{(B_b \sqrt{H_d})} \right]} \right\}$	Fórmula considerando a formulação de uma brecha retangular, desenvolvendo-se em um intervalo de tempo (t)

Fonte: BRASIL, 2005

As equações da Tabela 11 usam as seguintes notações:

Q_{max} - descarga máxima defluente da barragem em ruptura [m^3/s]; V - volume do reservatório para o NA máximo [m^3]; A_t - área do reservatório para o NA máximo [m^2]; B_b – largura da barragem [m]; H_d - altura da barragem [m]; B_b - largura final da brecha [m]; H_b - altura final da brecha [m]; $Y_{médio}$ - profundidade média no reservatório no instante da ruptura [m]; T_p - tempo para desenvolvimento da brecha [s].

A Tabela 12 apresenta alguns parâmetros propostos para determinar as características da brecha.

Tabela 12 - Diferentes parâmetros para formação de brecha.

País ou pesquisador	Tipo de barragem	Tipo de ruptura	Forma da ruptura	Profundidade da brecha	Largura da brecha
Espanha (Espanha, 2001)	Arco	Instantânea, entre 5 e 10 minutos	Completa admitindo geometria trapezoidal		
	Gravidade e contrafortes	Instantânea, entre 5 e 10 minutos	Retangular	Até o contato com o leito no pé	O maior entre: • 1/3 do comprimento da crista; • 3 blocos .
	Terra e/ou enrocamento	$T(h) = 4,8 \cdot V^{0,5}$ (hm^3)/h(m)	Trapezoidal	Até o contato com o leito no pé	$b(m) = 20(V(hm^3)) \cdot h(m)^{0,25}$
	Barragens mistas	Formular a ruptura de cada um de suas partes, selecionando o modo e o tipo de ruptura que dê lugar à maior vazão de ponta no hidrograma de ruptura			
Estados Unidos, DOE (1992)	Arco	0 a 6 minutos	Completa, igual a parede do vale	H (barr)	Largura total do vale
	Concreto gravidade	6 a 30 minutos	Retangular	H (barr)	Múltiplos inteiros de largura monolíticas
	Terra	0,5 a 4 horas (USACE) 0,1 a 2 horas (NWS)	Vertical a trapezoidal (1:1)	H (barr)	0,5 a 3 vezes a altura da barragem
Brasil (Eletrobrás, 2003)	Arco	Menor do que 0,1 horas	Declividade lateral da brecha entre zero e a declividade do vale		Comprimento da crista
	Contraforte	Entre 0,1h e 0,3h	Declividade lateral da brecha normalmente igual a zero		Múltiplos trechos
	Gravidade	Entre 0,1h e 0,3h	Declividade lateral da brecha normalmente igual a zero		Um ou mais trechos (usualmente menor do que metade do comprimento da crista)
	Terra e enrocamento	Entre 0,1 e 1,0h (compactada) e entre 0,1h e 0,5h (não compactada)	Declividade da brecha entre 0,25 e 1		Entre 1 e 5 vezes a altura da barragem (normalmente entre 2 a 4 vezes)

Fonte: BRASIL, 2005

O tempo de ruptura influencia significativamente na formação do hidrograma de cheia efluente. Conforme citado por Viseu (2006), Singh e Scarlatos (1996), verificaram que em 33 dos 52 casos relatados, o tempo de ruptura varia entre meia e

doze horas. Considerando ainda que diversos autores apresentaram equações de previsão de tempo de ruptura em função das dimensões das brechas, das características das barragens e dos respectivos volumes dos reservatórios, são apresentadas a seguir algumas fórmulas empíricas que poderão ser adotadas durante a análise da sensibilidade para avaliar o tempo de ruptura de uma brecha. A Tabela 13 ilustra as fórmulas empíricas.

Tabela 13 - Diferentes equações empíricas para determinação do tempo de ruptura.

FROEHLICH, 1987. Equação empírica desenvolvida com base nas características de 43 brechas que se desenvolveram em barragens de terra.	$t_{rup} = 0,007 \left(V / H_b^2 \right)^{0,5}$
FROEHLICH, 1995. Equação redefinida tendo por base uma amostra maior de ruptura históricas.	$t_{rup} = 0,00254 \left(V_{hid}^{0,53} / H_b^{0,9} \right)$
Von THUN e GILETTE, 1990. Equação válida para aterros com materiais resistentes à erosão.	$t_{rup} = 0,02H_{hid} + 0,25$
Von THUN e GILETTE, 1990. Equação válida para aterros com materiais facilmente erodíveis.	$t_{rup} = 0,015H_{hid}$
Von THUN e GILETTE, 1990. Equação válida para aterros resistentes.	$t_{rup} = \frac{B_b}{4H_{hid}}$
Von THUN e GILETTE, 1990. Equação válida para aterros facilmente erodíveis.	$t_{rup} = \frac{B_b}{4H_{hid} + 6,10}$
HARTFORD e KARTHA, 1995. Equação válida para barragens de aterro com menos de sessenta metros de altura.	$t_{rup} = 1/30 H_{barr}$

Fonte: VISEU, 2006.

Para representar o tempo de esvaziamento de um reservatório, são utilizados alguns tipos simplificados de hidrograma, tais como o hidrograma triangular simplificado (MASCARENHAS, 1990) e o hidrograma parabólico (BARFIELD, et al., 1981).

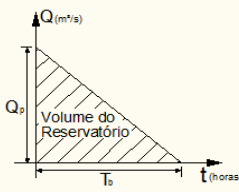
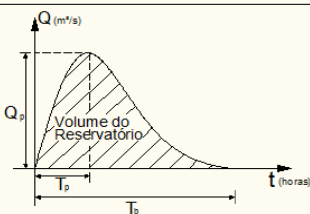
Morris e Galland (2000) mostram que as diferentes abordagens existentes na determinação das vazões de pico e do hidrograma de ruptura podem afetar a taxa

de escoamento da água e o potencial de inundação das áreas a jusante. Verifica-se assim que, para cada barragem, pode-se construir um número elevado de cenários, devido às incertezas inerentes na determinação da formação da brecha e do hidrograma de ruptura.

Viseu e Martins (1997) recomendam que sejam estabelecidos 3 cenários, sendo dois de ruptura hipotética da barragem e um de operação extrema (condição de cheia extrema), associados a uma cheia natural.

A Tabela 14 serve como referência para a concepção do hidrograma de ruptura, também proposta por Brasil (2005). A aplicação destas três tabelas e a seleção dos valores por elas apresentados permitem dar início aos estudos de propagação.

Tabela 14 - Hidrograma de ruptura.

Hidrograma Triangular Simplificado	 $Q_{max} = \frac{2V_r}{T_b}, \text{ para } T_p = 0$
Hidrograma com Decaimento Parabólico	 $Q(t) = Q_{max} - Q_{max} \left(\frac{1-T_p}{T_b-T_p} \right) \text{ para } T_p \neq 0$ $Q(t) = Q_{max} \left[\left(\frac{t}{T_p} \right) e^{\left(\frac{1-t}{T_p} \right)^k} \right]$

Fonte: BRASIL, 2005.

Sendo: Q_b = descarga máxima defluente da barragem em ruptura [m^3/s]; V_r = volume do reservatório da barragem no momento da ruptura [m^3]; T_p = tempo de pico [s]; T_b = tempo de base [s]; K = fator de ponderação, varia entre 1,5 e 5,0.

3.6.2 Geração de Mapas de Inundação

Segundo Espanha (2001), a área de estudo deverá ser delimitada através dos mapas de inundação com 30 minutos, 1 e 2 horas após a ruptura da barragem ou a propagação da onda de cheia, até que se tenha passado o efeito potencial na região a jusante. Recomenda-se que as áreas densamente povoadas sejam demarcadas e tratadas separadamente. Deve se destacar também as áreas industriais, comerciais, pontes, serviços essenciais ou locais de valor significativo ao estudo. Os mapas deverão ser elaborados a partir da cartografia da região em estudo, dessa maneira será possível delimitar as áreas inundáveis a jusante da barragem para as diferentes hipóteses adotadas.

3.6.3 Zoneamento do Risco

O zoneamento do risco consiste na divisão do território potencialmente atingido pela onda de cheia, sendo classificado segundo os riscos envolvidos, a magnitude do dano, a vulnerabilidade e os tempos de alerta envolvidos. Estas informações podem ser utilizadas para estimar os danos econômicos, sociais e ambientais, a fim de que sejam definidos um sistema de alerta e os responsáveis pelo alerta e evacuação.

Estas zonas podem ser representadas através de imagens em mapas cartográficos que compõem os mapas de inundação e tem importância fundamental nos planos de emergência, e que de acordo com a Lei 12.334/2010 devem ser entregues para as Defesas Civas dos municípios impactados, para que esta instituição seja responsável pelo alerta e evacuação da população.

Almeida (2001) propõe as principais características hidrodinâmicas envolvidas em um zoneamento:

- Áreas atingidas (determina quais elementos em risco serão afetados, população, estruturas, etc);
- Cotas máximas dos níveis d'água ou alturas máximas;
- Instante de chegada da onda de cheia;
- Instante de chegada da altura máxima;
- Grau de perigo em função da velocidade e altura ($V \times H$), em m^2/s ;
- Velocidade máxima do escoamento.

Observa-se que os três principais parâmetros fornecidos pelo estudo de propagação necessário para o mapeamento das zonas de risco, são: tempo de chegada da onda de cheia, as profundidades e as velocidades do fluxo.

O tempo entre a identificação da emergência e a chegada da onda de cheia nos locais habitados é o primeiro parâmetro para a classificação da área de risco. O tempo eficaz de aviso permite com que as pessoas preparem a mobilização e a evacuação das zonas mais sensíveis, sendo este o fator primordial para a mitigação do efeito das cheias. Este foi o critério adotado por USBR (1999), conforme Tabela 15, para estimar a perda de vidas em função do tempo de alerta. Importante destacar que as autoridades saibam exatamente o tempo disponível para atuar e que a operação da barragem atue com eficiência para garantir este tempo.

Tabela 15 - Número esperado de vítimas em função do tempo de alerta.

T aviso (min)	Perda de Vidas	Número esperado de vitimas
0 a 15	Significante	NEV= 50% no número de pessoas em risco
15 a 90	Potencialmente significativa	NEV= (número de pessoas em risco) ^{0,6}
Mais de 90	Perda de vidas virtualmente eliminada	NEV= 0.0002*número de pessoas em risco

Fonte: USBR, 1999.

Para definir o grau de perigo, em função da profundidade e da velocidade, ou seja, a importância de submersão se deve à capacidade da cheia de provocar danos às pessoas, edificações e aos bens. Os principais parâmetros para se classificar os danos são: a área atingida, a profundidade da cheia (H) e a sua velocidade de propagação (V). A ameaça provocada por estes fatores combinados corresponde ao Risco Hidrodinâmico, RH, dados em m²/s;

$$RH = H \times V$$

32

Sendo

H = profundidade (m)

V = velocidade do fluxo (m/s)

Segundo Almeida (1999), estudos de inundação estática de casos reais, indicam que, em geral, em profundidades maiores que 3,5 metros, as pessoas atingidas não sobrevivem; para profundidades da ordem de 2,0 metros apenas 5% da população não sobrevive; e profundidades inferiores a 2,0 metros, existe forte probabilidade de sobrevivência. Este autor considera que a regra empírica para o fator $H \times V$ de sobrevivência é menor que $1 \text{ m}^2/\text{s}$.

Diversos estudos foram realizados a fim de estabelecer valores para os quais as cheias provocam danos. Nesses projetos, segundo SYNAVEN *et al.*, 2000, foram realizadas simulações com pessoas e modelos físicos de edificações para tentar obter o grau de perigo de uma inundação. Alguns parâmetros são mostrados na Tabela 16. Viseu (1999) também sugere que o limite para risco hidrodinâmico $H \times V$ é de $1 \text{ m}^2/\text{s}$ para considerar uma zona de perigo alta.

Tabela 16 - Consequências do risco hidrodinâmico.

RH (m^2/s)	Consequências
<0,5	Crianças e deficientes são arrastados
0,5 - 1,0	Adultos são arrastados
1,0 - 3,0	Danos de submersão em edifícios, estruturais em casas fracas
3,0 - 7,0	Danos estruturais em edifícios e possíveis colapsos
> 7,0	Colapso em certos edifícios

Fonte: SYNAVEN *et al.*, 2000.

As Tabelas 17 e 18 apresentam os critérios adotados por Viseu (2006), em Portugal, para graduação do risco em função da profundidade e da velocidade. Considera-se o fato de que na área inundada exista edificações para proteção das pessoas em diferentes profundidades. Este é o princípio de evacuação vertical, em que se considera que as pessoas podem se deslocar para pavimentos superiores na tentativa de evitar a cheia.

Tabela 17 - Graduação do perigo para seres humanos.

Nível	Classe	Inundação Estática (H)	Inundação Dinâmica (HxV)
Reduzido	Verde	$H < 1 \text{ m}$	$HxV < 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$
Médio	Amarelo	$1 \text{ m} < H < 3 \text{ m}$	$0,5 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 0,75 \text{ m}^2/\text{s}$
Importante	Laranja	$3 \text{ m} < H < 6 \text{ m}$	$0,75 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 1,0 \text{ m}^2/\text{s}$
Muito Importante	Vermelho	$H > 6 \text{ m}$	$HxV > 1,0 \text{ m}^2/\text{s}$

Fonte: VISEU, 2006.

Tabela 18 - Nível de perigo para edificações.

Nível	Classe	Inundação Dinâmica (HxV)	Velocidade (V)
Reduzido	Verde	$HxV < 3,0 \text{ m}^2/\text{s}$	$V < 2,0 \text{ m/s}$
Médio	Amarelo	$3,0 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 5,0 \text{ m}^2/\text{s}$	$2,0 \text{ m/s} < V < 4,0 \text{ m/s}$
Importante	Laranja	$5,0 \text{ m}^2/\text{s} < HxV < 7,0 \text{ m}^2/\text{s}$	$4,0 \text{ m/s} < V < 5,5 \text{ m/s}$
Muito Importante	Vermelho	$HxV > 7,0 \text{ m}^2/\text{s}$	$V > 5,5 \text{ m/s}$

Fonte: VISEU, 2006.

3.7 Exemplos de Propagação de Ondas de Ruptura de Barragens

3.7.1 Barragem Rio de Pedras

BRASIL, et al. (2005) analisou a Usina Hidrelétrica de Rio de Pedras, localizada na bacia do alto rio das Velhas, no município de Itabirito – Minas Gerais (área de drenagem de 542 km² e 40 km a sudeste da cidade de Belo Horizonte).

A área de estudo tem uma extensão média de 82 km² e corta as áreas urbanas de Rio Acima, Raposos e Sabará, bem como dois bairros de Nova Lima: Honório Bicalho e Santa Rita. A (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG/UFMG, 2004), definiu para o estudo 100 seções topobatimétricas no rio das Velhas e 2 ou 3 seções topobatimétricas em cada um dos 8 afluentes considerados (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG/MURILO TOPOGRAFIA, 2004).

Dados históricos de registros realizados na barragem definiram que a vazão afluente foi estimada em 367 m³/s, tendo o hidrograma defluente apresentado um

pico de 322 m³/s. Esse evento provocou uma série de danos graves às cidades de Nova Lima, Rio Acima, Itabirito, Raposos, Sabará, Caeté, Santa Luzia, Vespasiano, Lagoa Santa e demais áreas da bacia do alto rio das Velhas.

Para a análise de sensibilidade, utilizaram-se três vazões de pico: 5000, 10000 e 17000 m³/s. Cada vazão de pico foi associada aos dois hidrogramas de ruptura adotados. Para essa análise, a onda de ruptura foi propagada nos primeiros 12 km de curso d'água. Nesse trecho foram utilizadas 15 seções topobatimétricas provenientes do levantamento executado em outubro e novembro de 2004 (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG, 2004).

A propagação da onda de ruptura foi realizada com o modelo unidimensional FLDWAV. Adotou-se como intervalo de tempo computacional (Δt) o valor de 0,0005 hora. O intervalo de distância computacional (Δx) foi de 10,0 m. O coeficiente de rugosidade adotado para o canal principal foi de 0,04, para a planície de inundação esquerda de 0,08 e para a planície direita de 0,1. Eles foram escolhidos a partir das simulações realizadas anteriormente pela Companhia Energética de Minas Gerais e pela análise da área de estudo com as visitas de campo realizadas (COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS – CEMIG, 2004).

O amortecimento da onda de ruptura ocorreu de forma preponderante ao longo dos primeiros 2,5 km do curso d'água. Nesse trecho, as descargas de pico iniciais caem para valores em torno da metade do seu valor inicial. Quanto aos dois tipos de hidrogramas utilizados, o parabólico demonstrou uma estabilidade maior na discretização das vazões ao longo do tempo do que o triangular simplificado.

3.7.2 Barragem do Manso

A Barragem do Manso localiza-se no rio Manso, principal afluente do rio Cuiabá. Tem altura de 73,00 metros e capacidade de armazenamento de 7.337 hm³. A barragem tem comprimento total de 3.680 m, sendo 140 m em concreto tipo gravidade, 3.120 m em solo compactado e 420 m em enrocamento.

PALMIER et al. (2005) estudaram a ruptura hipotética da barragem do Manso, obtendo em vários cenários para as vazões de pico, com limite máximo superior a 100.000 m³/s. Entretanto, a propagação do hidrograma, executada com o modelo FLDWAV, apresentou erros numéricos. A convergência só foi conseguida para a vazão de pico de 23.500 m³/s.

Levando em consideração os casos históricos, admitiu-se que a máxima defluência ocorre após 9 horas do início do processo de ruptura. Foi possível concluir que somente o defluente do volume do reservatório da barragem do Manso é suficiente para causar grandes elevações de nível d'água nos municípios localizados ao longo do rio Cuiabá.

JESUS & PALMIER (2013) retornaram ao problema com a utilização do software HE-RAS. O levantamento topográfico pode ser refinado no trabalho mais recente. Como observado por Morris e Galland (2000, apud Jesus e Palmier, 2013), os dados topográficos devem descrever tão bem quanto possível a região pela qual escoará o hidrograma de ruptura e o levantamento topográfico foi a maior limitação no trabalho inicial. Para a nova simulação foram levantadas 29 seções transversais ao longo dos rios Manso, Cuiabazinho e Cuiabá, num trecho de aproximadamente 300 km a jusante da barragem.

O amortecimento da vazão ao longo do trecho em estudo não foi totalmente conclusivo. As vazões amortecidas foram ainda muito superiores às vazões das cheias naturais. Apesar disso, Jesus e Palmier (2013) afirmam que nenhum dos resultados pode ser descartado, pois não há indícios de que a ruptura da barragem de um reservatório de grande magnitude não provoque fluxos tão elevados, mesmo numa seção 300 km a jusante. Além disso, não se sabe se o elevado volume armazenado exerce influência na distância necessária para que as vazões propagadas sejam amortecidas. A inexistência de casos de ruptura de reservatórios com capacidade de armazenamento similar induz à dúvida quanto ao comportamento mais provável da onda de ruptura.

Apesar de a simulação ter sido realizada com sucesso no HEC-RAS, os autores realçaram como limitação do estudo a grande incerteza nos parâmetros da brecha de ruptura e do hidrograma afluente.

3.7.3 Barragem de Peti

Balbi (2008) discutiu e propôs metodologias para elaboração de PAE e apresentou estudo de caso com a Barragem de Peti, localizada no leste do estado de Minas Gerais, no vale do Rio Santa Bárbara, no município de São Gonçalo do Rio Abaixo. É uma barragem de concreto em arco, com altura da ordem de 40,0 metros e comprimento de 85,0 metros a uma elevação de 713,86 acima do nível do

mar. O controle de vazão da barragem é realizado através de 6 comportas tipo vagão com dimensões de 6,60 x 5,17 e capacidade de descarga da ordem de 1008 m³/s. O volume do reservatório é de 43,58 hm³, numa área de 780,0 km².

O estudo de propagação se deu até uma extensão de 79,6 km, com a utilização do modelo de propagação unidimensional FLDWAV do “National Weather Service” dos Estados Unidos (NWS). Balbi (2008) valeu-se de estudos realizados pela Companhia de Energia Elétrica de Minas Gerais, CEMIG, 2007, que apresentaram diversas vazões de pico através de formulações empíricas. A Tabela 19 apresenta as vazões obtidas.

Tabela 19 - Vazões de pico obtidas pelas formulações empíricas.

Autor	Vazão de Pico
Lou	8373 m ³ /s
Hagen	32476 m ³ /s
Saint-Venant	2349 m ³ /s
Schoklistch	1965 m ³ /s
Bureau of Reclamation	16769 m ³ /s
Vertedouro de Soleira Espessa	15651 m ³ /s
Wetmore e Fread	11274 m ³ /s

Fonte: BALBI, 2008

Segundo a Companhia de Energia Elétrica de Minas Gerais – CEMIG (2007) foram adotados os hidrogramas de ruptura em dia seco, sem chuva considerando o colapso total da barragem.

Cenário 1 – 20 minutos para colapso total da barragem

Hidrograma parabólico de ruptura

Vazão de pico – 16.000 m³/s

Tempo de ruptura 20 minutos – 0,33 hs

Cenário 2 - 30 minutos para colapso total da barragem

Hidrograma parabólico de ruptura

Vazão de pico – 8.000 m³/s

Tempo de ruptura 30 minutos – 0,50 h.

A propagação da onda de ruptura ao longo do rio Santa Bárbara foi realizada com o emprego do modelo FLDWAV, justificado pela sua conhecida robustez e por ser de domínio livre (Balbi, 2008). Como resultado foi possível apresentar mapas com as manchas de inundação no município de São Gonçalo considerando o tempo de chegada da onda de ruptura, a profundidade máxima da inundação, a velocidade máxima e o produto destas duas variáveis. Balbi apresentou as manchas com escala de cores e transparência de 50% para facilitar a visualização das áreas atingidas.

Como conclusão final a CEMIG informa que o proprietário deve estar constantemente orientado para garantir a segurança de suas estruturas, e em uma situação de crise, seu foco deve estar no restabelecimento de sua segurança de forma a evitar ou minimizar uma catástrofe maior (BALBI, 2008).

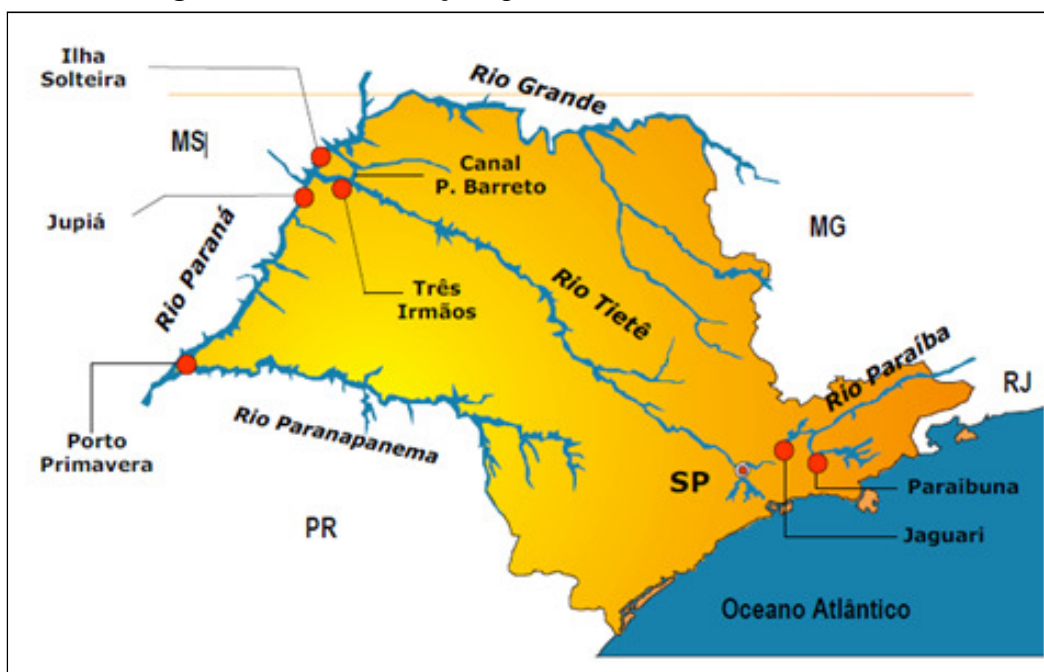
4 DESCRIÇÃO DA BARRAGEM DE TRÊS IRMÃOS

4.1 Dados Gerais

A Usina está localizada na bacia do rio Tietê, à altura do seu km 28, no município de Pereira Barreto (SP). A montante da usina encontra-se a usina Nova Avanhandava, no mesmo rio.

O acesso rodoviário à Usina, a partir da capital do Estado, poderá ser realizado, observando-se a sequência, SP-348 (Rodovia dos Bandeirantes) ou SP-330 (Rodovia Anhangüera), SP-310 (Rodovia Feliciano Salles da Cunha), SP-563 (Rodovia Euclides de Oliveira Figueiredo) até a Usina. A Figura 12 apresenta a localização das usinas hidrelétricas da CESP.

Figura 12 – Localização geral das usinas hidrelétricas.



Fonte: Companhia Energética de São Paulo – CESP, 2012

São apresentados a seguir, dados de interesse para a operação hidráulica da Usina Hidrelétrica Três Irmãos.

a) Condições de Montante

Área da bacia hidrográfica	69.900 km ²
Área do espelho d'água no N.A. 328,40 m	785 km ²
Área da bacia intermediária TRI - NAV	7.600 km ²

Volume morto	$10.000 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume útil	$3.450 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume reservado para cheia de projeto	$350 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume total	$13.800 \times 10^6 \text{ m}^3$

Barragem tipo gravidade

Comprimento no coroamento	3.640,00 m
Altura máxima	62,00 m

Cota no coroamento

Concreto	331,40 m
Terra	332,40 m
N.A. máximo maximorum	328,40 m
N.A. máximo útil	328,00 m
N.A. mínimo útil	323,00 m
Vazão média a longo termo (MLT - período 1931/1998)	$757 \text{ m}^3/\text{s}$
Vazão máxima média diária observada (05/06/83)	$6.575 \text{ m}^3/\text{s}$

b) Condições de Jusante

N.A. máximo maximorum	284,75 m
N.A. máximo	282,40 m
N.A. mínimo	279,00 m
Vazão máxima dos descarregadores no N.A.328,00 m	$9.500 \text{ m}^3/\text{s}$
Vazão turbinada nominal total (5 máquinas)	$2.040 \text{ m}^3/\text{s}$

c) Unidades Geradoras

Turbinas

Tipo	Francis
Número de unidades	5
Potência nominal unitária	165.000 kW
Queda mínima	40,75 m
Queda nominal	45,80 m
Queda máxima	50,60 m
Engolimento nominal (por máquina)	$408 \text{ m}^3/\text{s}$

Geradores

Tipo ABB/SIEMENS/ALSTHOM

Potência nominal 161.500 kW

Potência nominal total instalada 807.500 kW

Órgãos de Descarga

Número de comportas de superfície 4

Dimensões do vão 15,00 x 18,00 m

Cota da soleira 310,50 m

Cota de topo da comporta (parte central) 329,00 m

Cota de topo da comporta (junto aos pilares) 329,50 m

Descarga máxima por vão no N.A. 328,00 m 2.249 m³/s

Descarga máxima por vão no N.A. 328,40 m 2.375 m³/s

4.2 Sobre a Operação do Reservatório

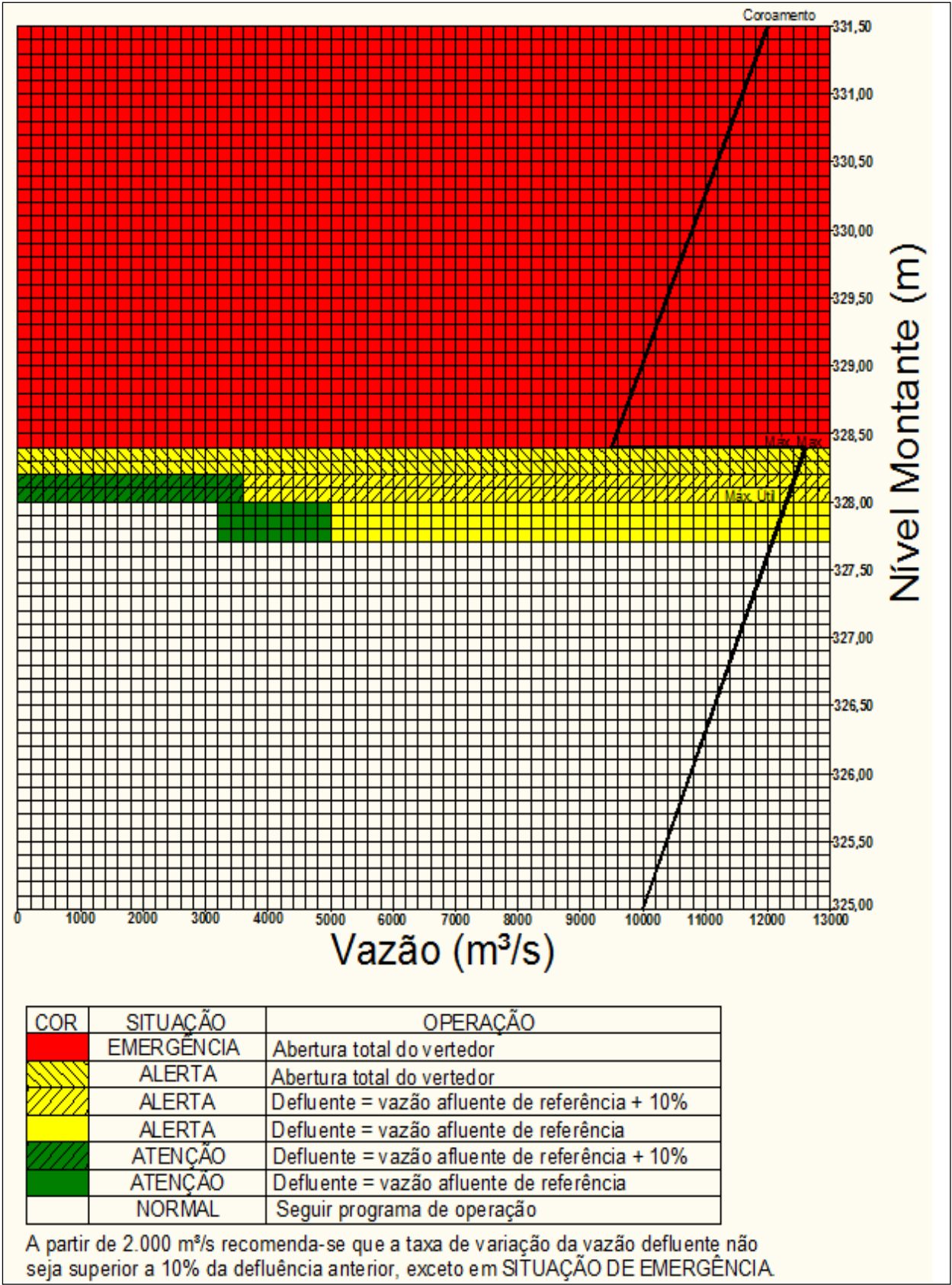
A Figura 13 mostra um gráfico com divisão em regiões feita com a finalidade de orientar as decisões operacionais e administrativas a serem adotadas em função do Estado Hidráulico do Reservatório, com o objetivo de causar o mínimo de danos a jusante.

O "Estado Hidráulico de um Reservatório" corresponde a um determinado instante que é definido pelo par de valores: - nível montante e vazão afluente de referência, definidos e calculados por rotinas pré-definidas.

A finalidade da Curva Referencial para Operação é permitir uma visualização da situação em que se encontra a Usina sob o ponto de vista de segurança, relacionado com fenômenos hidrológicos, bem como indicar resumidamente, os procedimentos operacionais a serem seguidos. A Figura 13 mostra a curva referencial para operação fornecida pela CESP.

A adoção da Curva Referencial para Operação, além dos propósitos supracitados, visa a segurança do aproveitamento, evitando que o nível máximo maximorum operacional admitido (coincidentemente ou não com o nível máximo maximorum de projeto) seja ultrapassado, na hipótese da ocorrência da cheia crítica prevista, estando o reservatório no início do evento no nível máximo útil, ou numa outra cota de partida definida pelos estudos hidrológicos.

Figura 13 – Curva referencial para operação fornecida pela CESP.



Fonte: CESP, 2012.

5 METODOLOGIA PARA PROPAGAÇÃO DE ONDAS

A metodologia utilizada para a propagação da onda sobre a calha do rio Tietê foi realizada com o emprego do modelo HEC RAS, em simulação unidimensional, a partir de revisão bibliográfica de literatura Nacional e Internacional.

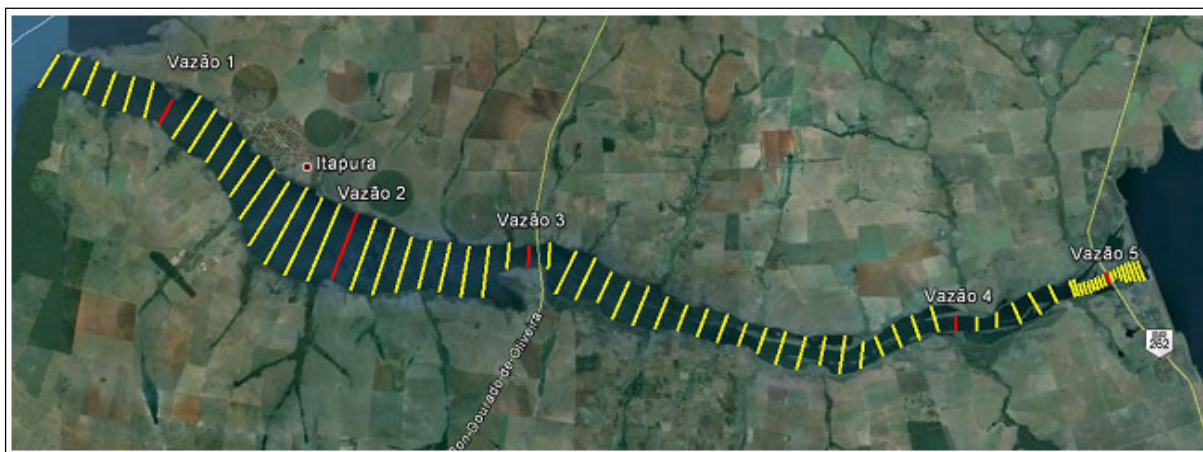
5.1 Levantamento Batimétrico e Topográfico

O planejamento das seções a serem levantadas através de batimetria foi definido 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 georreferenciadas para ambas as margens.

No trecho compreendido entre a foz do Rio Tietê até a saída do canal da eclusa, a batimetria foi realizada transversalmente em seções equidistantes de 500 metros, da saída do canal até a barragem a cada 100 metros de distância. Destacam as 5 seções selecionadas para medição de vazão, que totalizam noventa e duas seções.

A Figura 14 mostra o trecho do rio com a representação esquemática dos pontos de realização da batimetria e de medição de vazão.

Figura 14 – Rio Tietê com as Seções Definidas para o Levantamento Batimétrico e Medida de Vazão



Fonte: FEPISA, 2012

O método utilizado para realização do levantamento batimétrico foi o de perfilador acústico (*Acoustic Doppler Current Profiler* – ADCP), configurado para amostragens dos valores de profundidade com alcance de 40 metros (FEPISA 2012)

Para a realização do levantamento de campo foram utilizados os seguintes equipamentos:

- ADCP, Acoustic Doppler Current Profiler - *Workhorse* Sentinel 1200 KZ;
- GPS, Geographic Position System – Smart Rover Leica 1200;
- AGPS, Geographic Position System Assisted - Samsung Galaxy SII.

Na obtenção dos valores de corrente para o cálculo de vazão, foram utilizadas células de 25 cm na estratificação vertical das velocidades. O percurso foi realizado com resolução temporal constituída de dois perfis verticais por segundo, compondo a malha de dados em toda a extensão das seções.

As seções transversais definidas foram seguidas com o auxílio de um Sistema Global de Posicionamento Diferencial - DGPS associado ao software de visualização para controle do percurso.

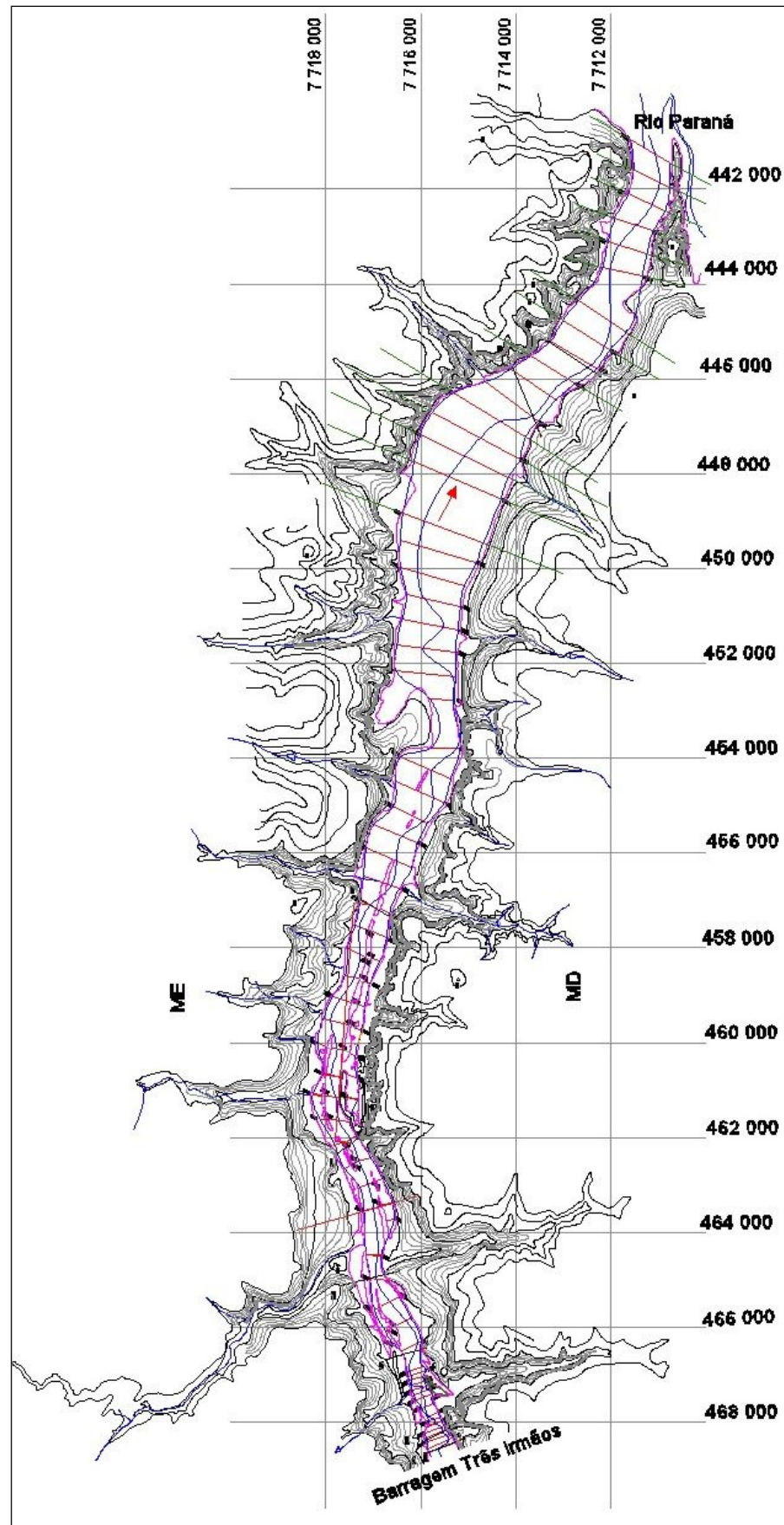
Paralelamente, na fase de obtenção dos dados de corrente foi utilizado um Sistema Global de Posicionamento – GPS acoplado a um software, permitindo registrar o posicionamento georreferenciado dos perfis de amostragem das correntes a um Sistema Global de Posicionamento Assistido - AGPS embarcado para auxílio do percurso conforme as travessias programadas.

Para a realização do levantamento topográfico das margens do rio Tietê, foi utilizado nivelamento geométrico pelo método “visadas iguais”, onde não há a necessidade de alinhamento entre as miras e o nível. O levantamento topográfico consistiu em nivelar 8 seções nas margens esquerda e direita do rio Tietê, em trechos equidistantes entre a barragem e a foz do Tietê. O trecho das seções compreendeu desde o N.A. até a cota 300,00 m.

Cabe destacar que a CESP forneceu as curvas de desapropriação (cota 283,00 m) das margens direita e esquerda, e as curvas da região situada desde a barragem até uma distância da ordem de 500 m para jusante. Todas estas informações foram disponibilizadas para o estudo a partir de uma carta do Instituto de Geografia e Cartografia - IGC na escala 1: 50.000. Este mapa foi digitalizado, e vetorizado pela CESP. Cabe destacar que os marcos da cota 283,00 estão materializados no campo.

Com a utilização do software autoCAD foi possível sobrepor as curvas de nível do IGC sobre as cotas do levantamento de campo, permitindo a calibração, interpolação e o traçado de novas curvas de nível intermediárias. O desenho final foi utilizado como base de dados para a elaboração do modelo digital de terreno – MDT. A Figura 15 apresenta o trecho em estudo com as curvas de nível de 2,00 em 2,00 metros.

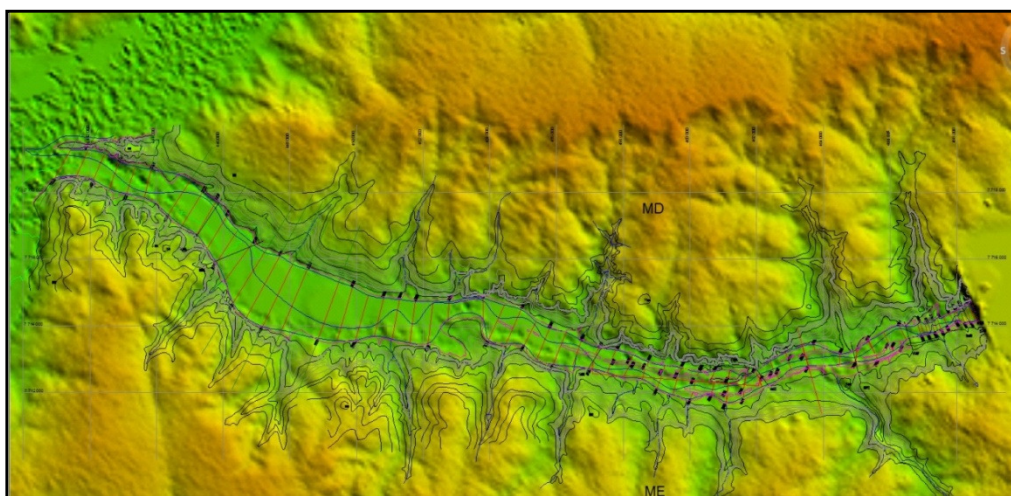
Figura 15 – Trecho do rio Tietê com a locação das curvas de nível.



Fonte: CESP, 2012

De posse dos levantamentos batimétricos e topográficos, foram sobrepostas as seções a partir das coordenadas georreferenciadas, obtendo-se o perfil seco e molhado para cada seção. Os resultados de cálculo dos perímetros e das áreas para as seções secas e molhadas serão transportados para uma planilha no Excel, que servirá como base de dados para aplicação no modelo de propagação de ondas HEC RAS. A Figura 16 apresenta um mapa de satélite da Base Google/EMBRAPA com as curvas de nível.

Figura 16 – Mapa de satélite da base Google/EMBRAPA com as curvas de nível.



Fonte: Base Google / EMBRAPA, 2012

5.2 Levantamento de Interferências nas Áreas de Inundação

A partir do mapa de satélite da base Google, conforme pode se observar na Figura 17, foi elaborado um mapa temático com as áreas relevantes localizadas dentro da faixa de inundação. Estes pontos foram lançados em planilha e em mapa, juntamente com suas coordenadas cartográficas, obtidas em campo. Cabe destacar que grande parte das informações foi obtida diretamente com a CESP através de documentos internos chamados Relatório de Inspeção Ambiental e Patrimonial - RIAP. Os RIAP's apresentam as coordenadas UTM-DATUM das edificações existentes dentro da zona de inundação, .

Figura 17 – Mapa de satélite da base Google com anotação dos locais a serem estudados.



Fonte: Base Google, 2012

Na tabela 20 estão apresentados os locais de interesse no estudo em suas respectivas seções topobatimétricas.

Tabela 20 - Locais de interesse no estudo e suas respectivas seções batimétricas.

Locais de estudo	Seção	Distância (m)
Cidade Itapura	8	26.780,00
Ponte Itapura	24	16.380,00
Vila Timboré	36	10.240,00
Ponte Três Irmãos	78	1.020,00

Fonte: próprio autor

5.3 Simulação de Ondas de Cheia

Segundo Viseu (2006), o cálculo da cheia induzida baseia-se essencialmente na utilização de modelos de simulação do processo de propagação de cheias induzidas pela ruptura de barragens. Estes modelos constituem aplicações particulares dos modelos gerais de propagação de cheias e permitem reproduzir condições de escoamento não permanentes. Existem numerosos exemplos de aplicação deste tipo de modelos de simulação do escoamento, sendo que cada vez mais são tidos em consideração os aspectos dinâmicos do escoamento. A

formulação matemática de base dos escoamentos em superfície livre (dinâmicos e variáveis) é obtida a partir das equações de Saint-Venant.

As características hidrodinâmicas da cheia induzida dependem dos órgãos de descarga, porém, as das cheias provocadas pela ruptura de uma barragem dependem da característica da brecha e de sua evolução. A relativa indefinição, motivada pelo caráter aleatório de alguns destes fatores, obriga a adoção dos chamados cenários de simulação, onde serão definidos valores às diversas variáveis.

Devido às incertezas inerentes na determinação da formação da brecha e do hidrograma de ruptura, Viseu e Martins (1997) recomendam que sejam estabelecidos no mínimo três cenários, sendo dois de ruptura hipotética da barragem e um de operação extrema (condição de cheia extrema), associados a uma cheia natural.

Com objetivo de uniformizar os critérios para a simulação da onda de inundação provocada pela ruptura hipotética da barragem de Três Irmãos, foi adotada a seguinte condição inicial:

- nível d'água na cota 328,40 m (máximo maximorum);
- volume de armazenamento de $13.800 \times 10^6 \text{ m}^3$, propagando pela calha a jusante;

A Tabela 21 apresenta os resultados das descargas de pico determinadas a partir de formulações matemáticas baseadas nas equações empíricas de previsão proposta por diversos autores.

Tabela 21 - Vazões de pico previstas para a barragem de Três Irmãos.

Autor	Vazão (m³/s)
Lou (1981) apud Mascarenhas (1990)	$Q_{max} = 20.915,68 \text{ m}^3/\text{s}$
Saint-Venant (-) apud U.S Army Corps of Engineers	$Q_{max} = 8.198,50 \text{ m}^3/\text{s}$
	$Q_{max} = 15.225,78 \text{ m}^3/\text{s}$
	$Q_{max} = 30.451,56 \text{ m}^3/\text{s}$
Scholistch (1917) apud ICOLD (1998)	$Q_{max} = 21.532,51 \text{ m}^3/\text{s}$
Bureau of Reclamation	$Q_{max} = 40.507,33 \text{ m}^3/\text{s}$
Vertedor de Soleira Espessa (Singh, 1987)	$Q_{max} = 36.314,00 \text{ m}^3/\text{s}$
	$Q_{max} = 72.628,00 \text{ m}^3/\text{s}$

Fonte: próprio autor

A vazão de 72.628,00 m³/s foi desconsiderada por não ser aplicável às características da barragem Três Irmãos. Para o presente estudo serão considerados os seguintes cenários:

Cenário 1 - maior cheia registrada: Cenário com a defluência máxima registrada na Barragem - vazão de 4.600 m³/s, onde o nível d'água registrado na régua de jusante foi de 282,40 m. Os resultados do estudo obtidos a partir desta vazão permitem calibrar o modelo, a partir de registro dos níveis d'água atingidos em alguns pontos relevantes situados nas margens direita e esquerda do rio durante esta defluência;

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 m³/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 m³/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 m³/s.

A Tabela 22 apresenta os resultados estimados dos tempos de rupturas da barragem Três Irmãos segundo as formulas empíricas de previsão.

Tabela 22 - Tempo de ruptura estimado para a barragem Três Irmãos.

AUTORES	Tempo de ruptura (hs)
FROEHLICH, 1995	13 – 14
Von THUN e GILETTE	1 - 3
HARTFORD e KARTHA	2

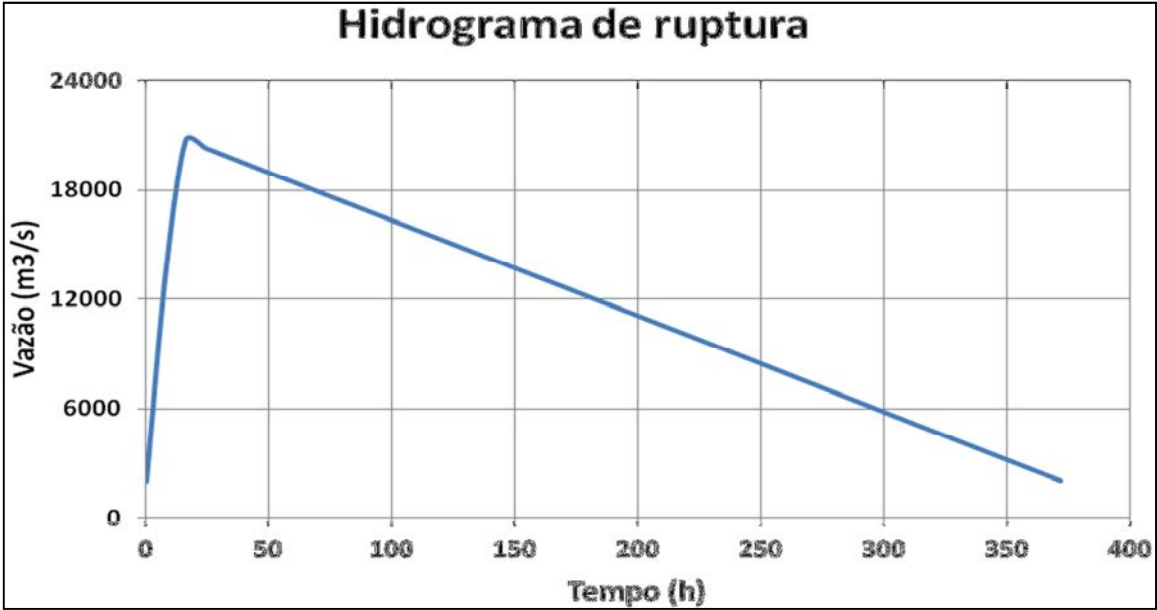
Fonte: próprio autor

Para o presente estudo serão estudados tempos de ruptura que variam entre 1 a 14 horas.

5.4 Hidrogramas de Ruptura

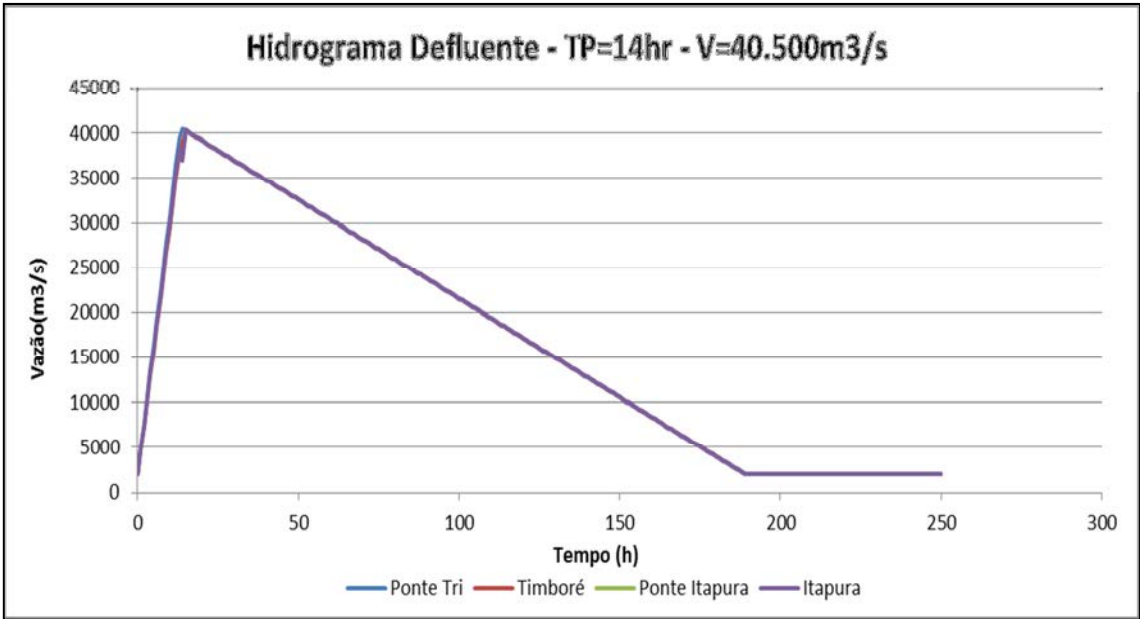
Para um dos cenários estudados ($V = 20.915 \text{ m}^3/\text{s}$) admitiu-se que a defluência máxima ocorre após 14 horas do início do processo de ruptura. Após o pico considerou-se diminuição linear da vazão devido ao esvaziamento do reservatório. O hidrograma na Figura 18 representa a defluência decorrente do processo de ruptura hipotético adotado no cenário 3. A Figura 19 ilustra o processo de ruptura para o cenário 4.

Figura 18 – Hidrograma de ruptura adotado no cenário (3).



Fonte: próprio autor

Figura 19 – Hidrograma de ruptura adotado no cenário (4).



Fonte: próprio autor

5.5 Definição das Áreas de Inundação

Segundo Balbi (2008) após os dados obtidos no modelo hidráulico, deve se utilizar ferramentas de geoprocessamento para gerar os mapas com as manchas de inundação associadas à cartografia da região para cada um dos cenários estudados. Para o estudo em questão serão utilizados mapas fornecidos pela CESP.

De posse dos dados da simulação e software de geoprocessamento a ser utilizado, seguiu-se a etapa de confecção dos mapas. Eles devem indicar numa forma simples e em escala adequada, os níveis da lâmina d'água e o risco que a cheia oferece às comunidades a jusante dentro da zona de inundação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

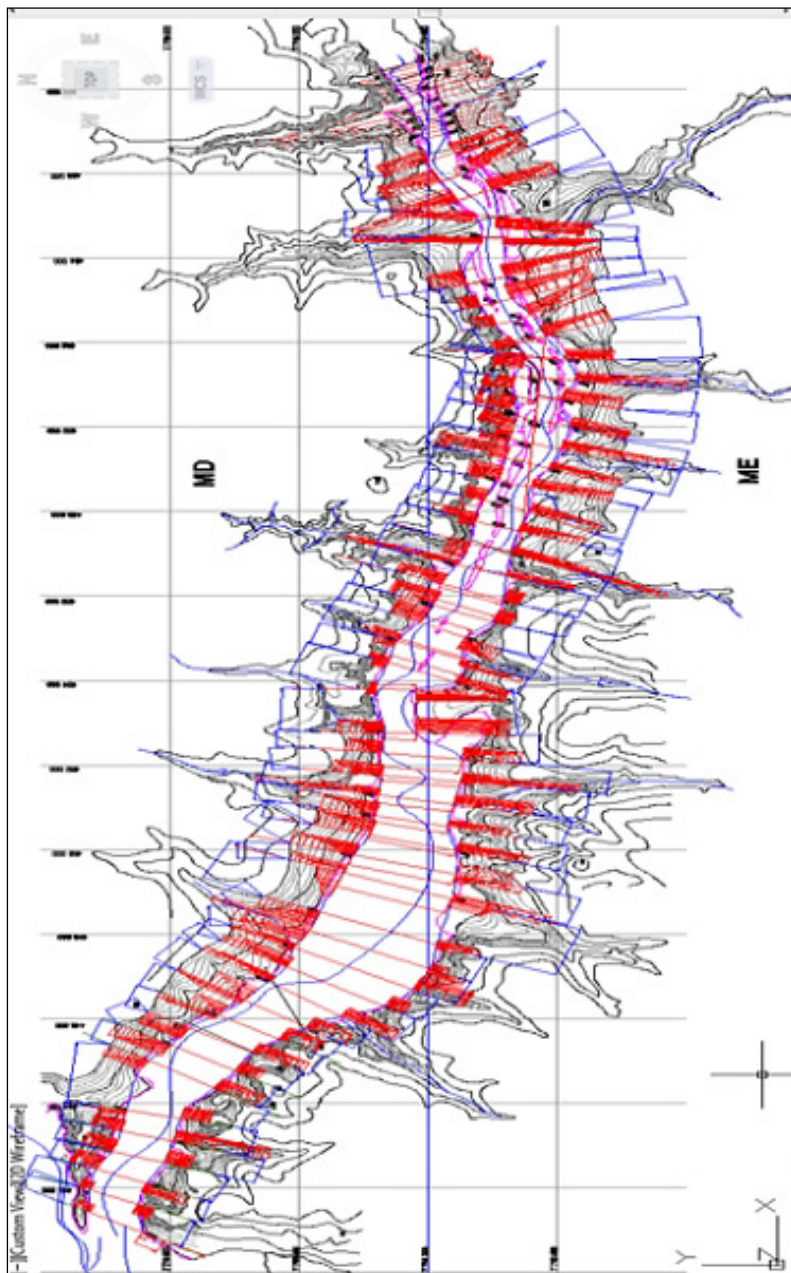
6.1 Entrada de Dados

A partir do desenho georreferenciado com a topobatimetria e utilização do software autoCAD foi possível determinar as cotas e distâncias de cada ponto das seções, conforme os seguintes passos:

- Traçar uma linha prolongando o alinhamento das seções batimétricas sobre as curvas de nível.
- Determinar o perfil correspondente a cada seção através do autoCAD.
- Identificar as distâncias e cotas no perfil, lançando em uma planilha do excel.
- Inserir estes dados no HEC-RAS.

A Figura 20 apresenta a carta para utilização no modelo.

Figura 20 – Carta utilizada na modelagem com o georreferenciamento das cotas e distâncias de cada curva de nível.



Fonte: próprio autor

A Tabela 23 apresenta uma planilha com informações topográficas das distâncias e cotas obtidas nas margens direita, esquerda e das informações batimétricas obtidas no leito do rio, para uma das seções em estudo. Estas informações foram transferidas para o software HEC-RAS.

Tabela 23 - Seção 22, base de dados para elaboração do modelo geométrico.

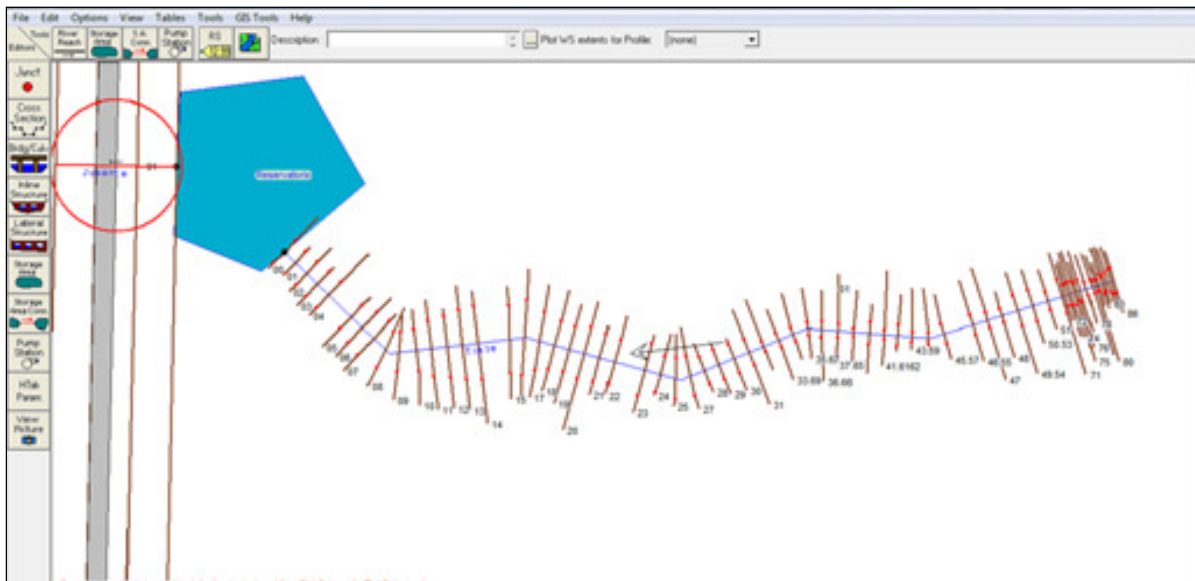
Seção 22			
Topografia		Batimetria	
Distância	Cota	Distância	Cota
-540.19	300	-140.00	277.95
-479.87	298	-130.00	277.3
-427.5	296	-123.50	277.3
-364.31	294	-120.00	276.9
-311.26	292	-110.00	276.4
-276.78	290	-100.00	276.05
-239.92	288	-96.00	275.9
-196.4	286	-90.00	275.9
-177.51	284	-80.00	275.85
-151.59	282	-70.00	275.95
-145.66	280	-60.00	275.75
		-50.00	275.3
		-40.00	275.35
86.73	280	-30.00	275
111.47	282	-20.00	275.05
128.74	284	-10.00	275.2
211.79	286	0.00	275
316.62	288	10.00	275.15
522.51	290	20.00	275.6
570.19	292	30.00	275.8
623.13	294	40.00	275.85
709.29	296	50.00	275.85
786.88	298	60.00	275.85
902.64	300	70.00	276.05
		80.00	276.25

Fonte: próprio autor

6.2 Implantação do Modelo Digital Geométrico

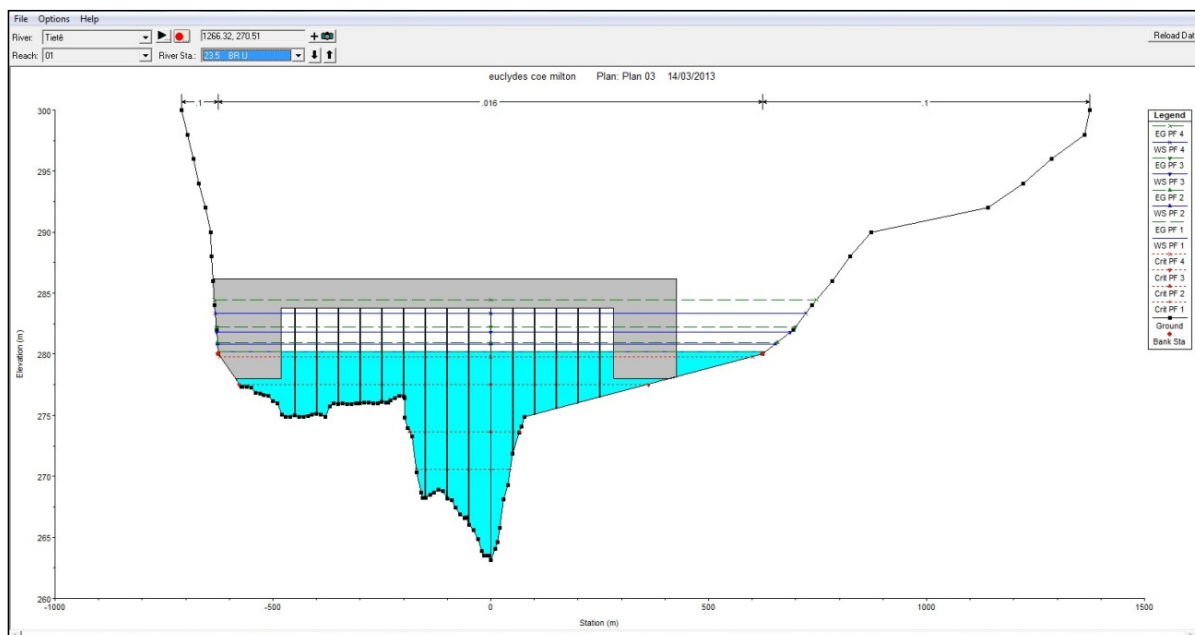
A Figura 21 ilustra o trecho do rio modelado no software HEC-RAS, destacando a inserção do reservatório da UHE Jupia, a barragem Jupia e seus órgãos de descarga (4 vertedouros de superfície e 37 descarregadores de fundo). A Figura 22 ilustra a inserção de uma das pontes sobre o rio Tietê.

Figura 21 – Trecho do rio Tietê modelado no HEC RAS.



Fonte: próprio autor

Figura 22 – Ponte sobre o rio Tietê inserida no modelo digital geométrico.



Fonte: próprio autor

6.3 Calibração do Modelo: Coeficientes de Rugosidade e Perdas Localizadas

O modelo HEC RAS foi calibrado utilizando as cotas de nível d'água históricas da barragem Três Irmãos, obtidas do SGHIm (Sistema de Geração e Hidrologia Integrado a Medição) da CESP, onde buscou-se variar os coeficientes de rugosidade (Manning) do canal principal e os coeficientes de perda de carga localizados em duas seções com interferência das pontes. Os coeficientes de rugosidade das margens foram adotados com base em valores da bibliografia a partir do uso e ocupação do solo aferido em visita de campo.

O estudo de sensibilidade para definir o coeficiente de rugosidade no canal principal do rio foi realizado a partir de vazões históricas e leituras visualizadas em duas réguas. A primeira instalada no canal de fuga da UHE Três Irmãos e a segunda na barragem de Jupia a jusante, no Rio Paraná. O estudo consistiu na variação do coeficiente de rugosidade entre 0,01 e 0,1 até se obter um valor numérico de nível d'água próximo ao real na seção mais próxima a UHE Três Irmãos. No decorrer destas simulações verificou-se que com o coeficiente de rugosidade de 0,028 os níveis obtidos na modelagem apresentavam-se próximos aos níveis visualizados na régua, apresentando os menores erros entre simulação e vazão real. Este coeficiente de rugosidade de 0,028 foi definido para o canal principal. A Tabela 24 ilustra o erro obtido para o coeficiente adotado/calibrado de 0,028.

Tabela 24 - Resultado do processo de calibração do modelo HEC-RAS.

NA – régua UHE Jupia (m)	Vazões históricas (m³/s)	NA – régua UHE Três Irmãos (m)	Simulação HEC-RAS (m)	Erro (%)
279,56	2000,46	280,518	280,520	0,0006
279,13	3099,75	281,658	281,150	0,1805
279,70	3529,67	281,905	281,590	0,1116
279,81	3962,58	282,088	281,870	0,0772
279,79	4542,21	282,400	282,220	0,0637

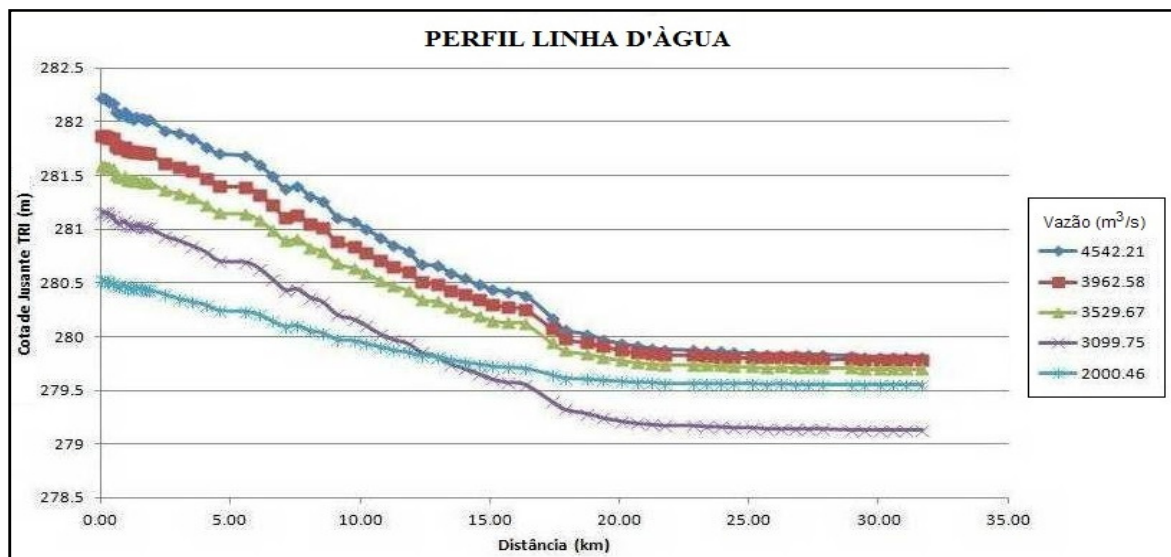
Fonte: próprio autor

Com base no tutorial do HEC RAS foram adotados também, os coeficientes de estrangulamento de 1,05 (ponte Itapura), 1,20 (ponte TRI), para a seção 24 coeficiente de contração de 0,5 e expansão de 0,3; para a seção 23 coeficiente de contração de 0,5 e expansão de 0,5. Os coeficientes adotados para as margens

foram de 0,06 a 0,1 para matas e canavial, 0,04 a 0,06 para enrocamento e 0,03 a 0,035 para terra gradeada e pastos.

A Figura 23 apresenta os dados obtidos através da simulação com base nos dados históricos de vazões observadas na UHE Três Irmãos e níveis d'água obtidos na régua da UHE Jupia. Observa-se que os efeitos hidrodinâmicos do escoamento no canal predominam nos primeiros 20 km. A partir daí praticamente não há variação do nível d'água devido à grande área inundada e as baixas velocidades resultantes da represa da UHE Jupia.

Figura 23 – Perfis da linha d'água com vazões históricas utilizadas na calibração.

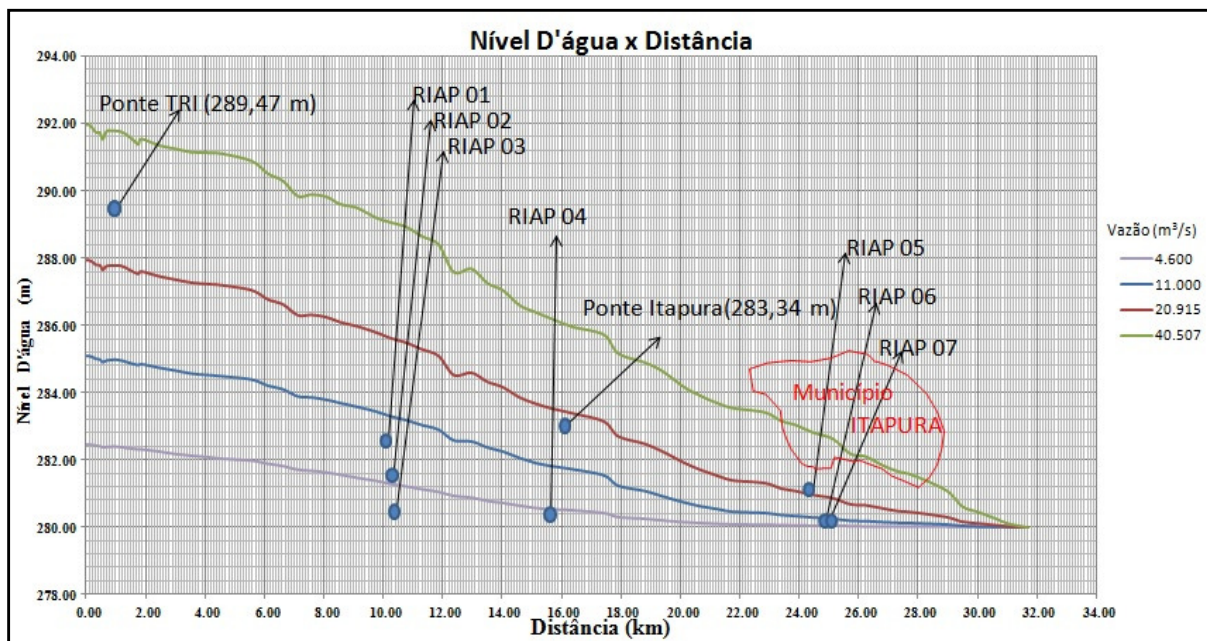


Fonte: próprio autor

6.4 Ensaios em Regime Permanente

A Figura 24 apresenta os perfis da linha d'água obtidos com os cenários simulados, que consistem de operação com vazões extremas controladas pelos dispositivos descarregadores em Três Irmãos e Jupia. (Vazões de 4.600, 11.000, 20.915 e 40.507 m³/s). A onda foi propagada em uma extensão de 32 km desde a usina até a confluência com o rio Paraná

Figura 24 – Ensaio em regime permanente. Perfis da linha d'água com cenários de vazões extremas controladas e cotas de pontos de interesse (RIAP's).



Fonte: próprio autor

A Figura 24 mostra que foi adotado o mesmo nível d'água inicial no reservatório de Jupirá para todas as vazões extremas controladas. Isto ocorre porque a usina de Jupirá opera a fio d'água, sendo possível controlar vazões até cerca de 50.000 m³/s com manobras dos órgãos extravasores, mantendo o nível d'água no máximo operacional.

Os resultados das simulações em regime permanente para o cenário 1 - Vazão de 4.600 m³/s, máxima vazão registrada na UHE Três Irmãos, mostra que as edificações dos RIAP's 3, 4, 6 e 7 seriam atingidas pela lâmina d'água, com alturas inferiores a 1,00 m.

Os resultados das simulações em regime permanente para o cenário 2 - Vazão de 11.000 m³/s, capacidade máxima dos órgãos de descarga da UHE Três Irmãos, mostra que as edificações dos RIAP's 1, 2, 3, 4, 6 e 7 seriam atingidas pela lâmina d'água. Para este cenário a edificação do RIAP 3 seria atingida por uma lâmina d'água da ordem de 2,00 m.

Para esta defluência, os tabuleiros das pontes de Itapura e Três Irmãos não seriam atingidos, porém, é recomendável que se instale semáforos de alerta nas extremidades das pontes e que as mesmas sejam inspecionadas pela defesa civil dos municípios para a liberação de fráfego sobre elas, após estas defluências.

Os resultados das simulações em regime permanente para o cenário 3 - Vazão de 20.915 m³/s, provocada pela ruptura da barragem mostra que as edificações dos RIAP's 1 a 7 estariam submersas com profundidades variando de 0,20 a 5,50 m respectivamente, e para esta condição a ponte de Itapura, que se encontra na cota 283,34 m também estaria submersa, com uma lâmina d'água da ordem de 0,50 m.

Para este cenário o município de Itapura não seria atingido, nem mesmo o tabuleiro da ponte três Irmãos, por estar na elevação 289,47 m.

Os resultados das simulações em regime permanente para o cenário 4 - Vazão de 40.507m³/s, provocada pela ruptura da barragem Três Irmãos, mostra que as edificações dos RIAP's 1 a 7 estariam submersas com profundidades variando de 0,20 a 8,50 m respectivamente. A ponte de Itapura estaria submersa, com uma lâmina d'água da ordem de 3,00 m e a ponte Três Irmãos submersa com uma lâmina da ordem de 2.20 m. Para este cenário o município de Itapura seria atingido apenas na região delimitada pela margem do rio Tietê, tendo 9 edificações atingidas pela lâmina d'água com profundidades inferiores a 1,00 m. A fim de orientação para a defesa civil, o nível superior ao piso da Igreja Católica não seria atingido pela lâmina d'água.

A Figura 25 ilustra um mapa da cidade de Itapura com as áreas de armazenamento e as respectivas edificações dos RIAP's que seriam atingidas pela Lâmina d'água.

Figura 25 – Mapa de inundação do município de Itapura a partir de estudos em regime permanente, para as vazões de 20.915 e 40.500 m³/s.



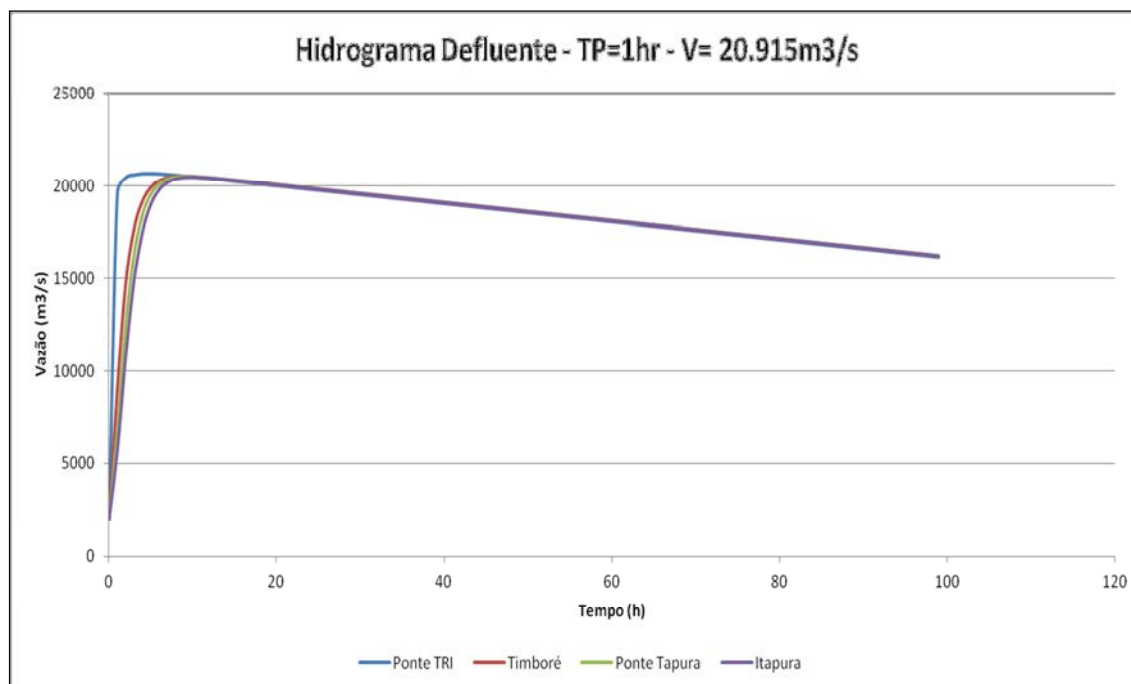
Fonte: próprio autor

Essas informações serão reunidas no Plano de Ação Emergencial a ser entregue para as Prefeituras e Defesa Civil dos municípios envolvidos.

6.5 Ensaio em Regime Variável

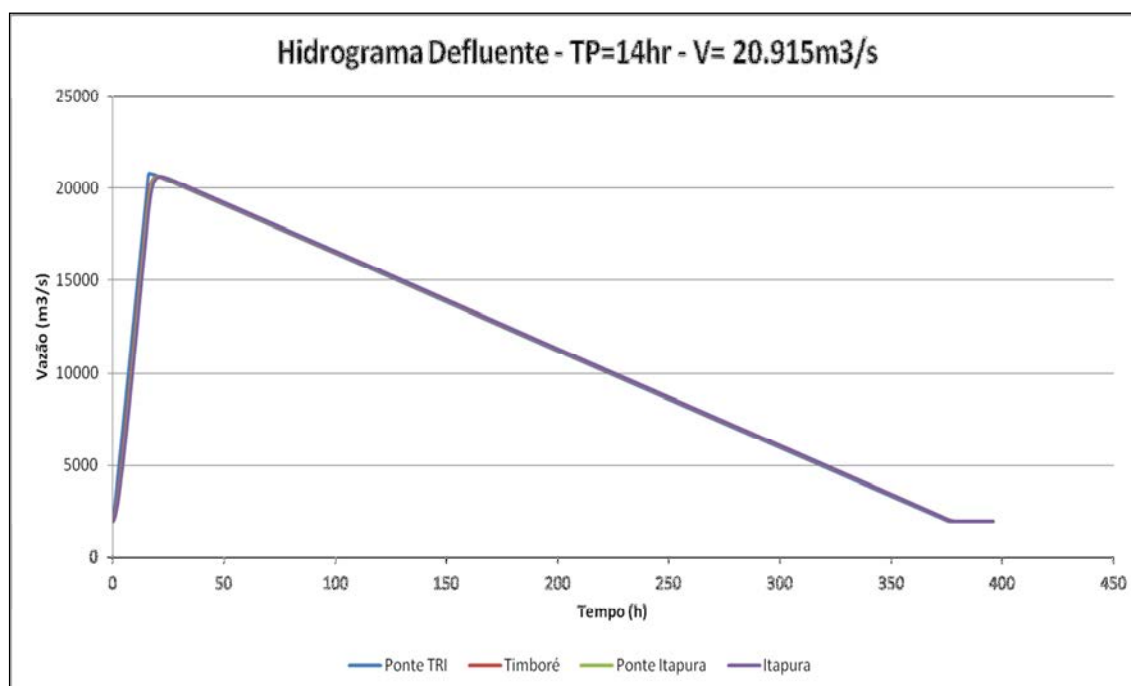
Os resultados obtidos em regime variável são apresentados nas Figuras 26 a 29, em termos de hidrograma defluente para tempos de pico de 1 e 14 horas e para as vazões de 20.915 e 40.500 m³/s. Foram traçados os hidrogramas para os pontos de interesse (Ponte Três Irmãos, Vila Timboré, Ponte Itapura e cidade de Itapura). Os valores para a vazão e o tempo foram obtidos diretamente do protótipo.

Figura 26 – Hidrograma defluente para tempo de pico de 1 hora e vazão de 20.915 m³/s.



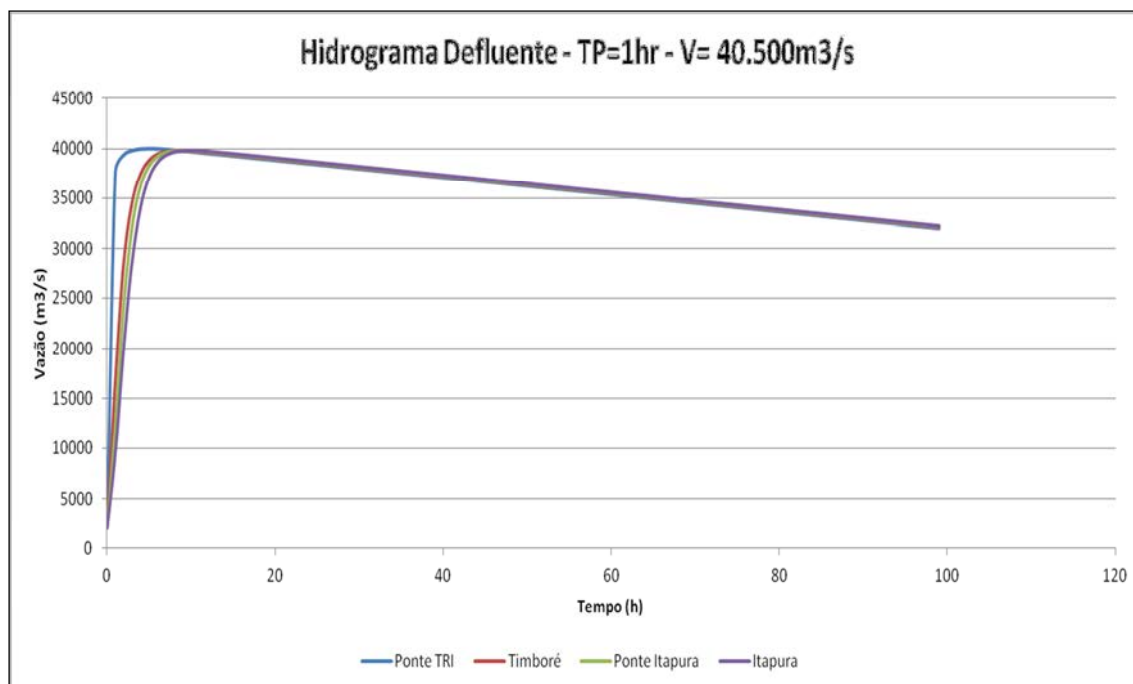
Fonte: próprio autor

Figura 27 – Hidrograma defluente para tempo de pico de 14 horas e vazão de 20.915 m³/s.



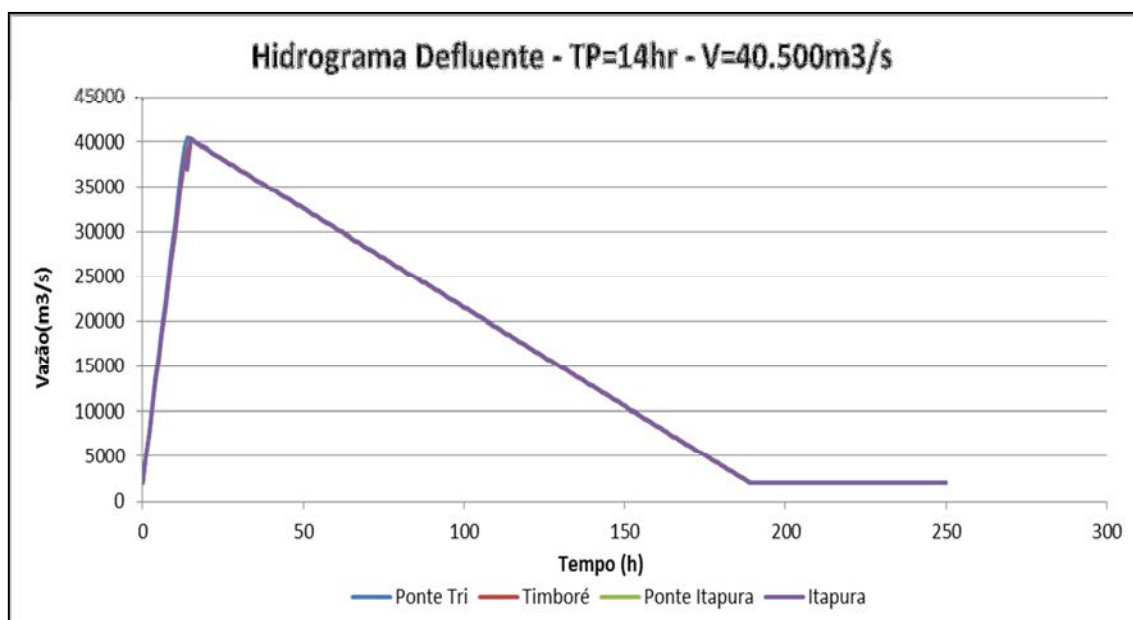
Fonte: próprio autor

Figura 28 – Hidrograma defluente para tempo de pico de 1 hora e vazão de 40.500 m³/s.



Fonte: próprio autor

Figura 29 – Hidrograma defluente para tempo de pico de 14 horas e vazão de 40.500 m³/s.

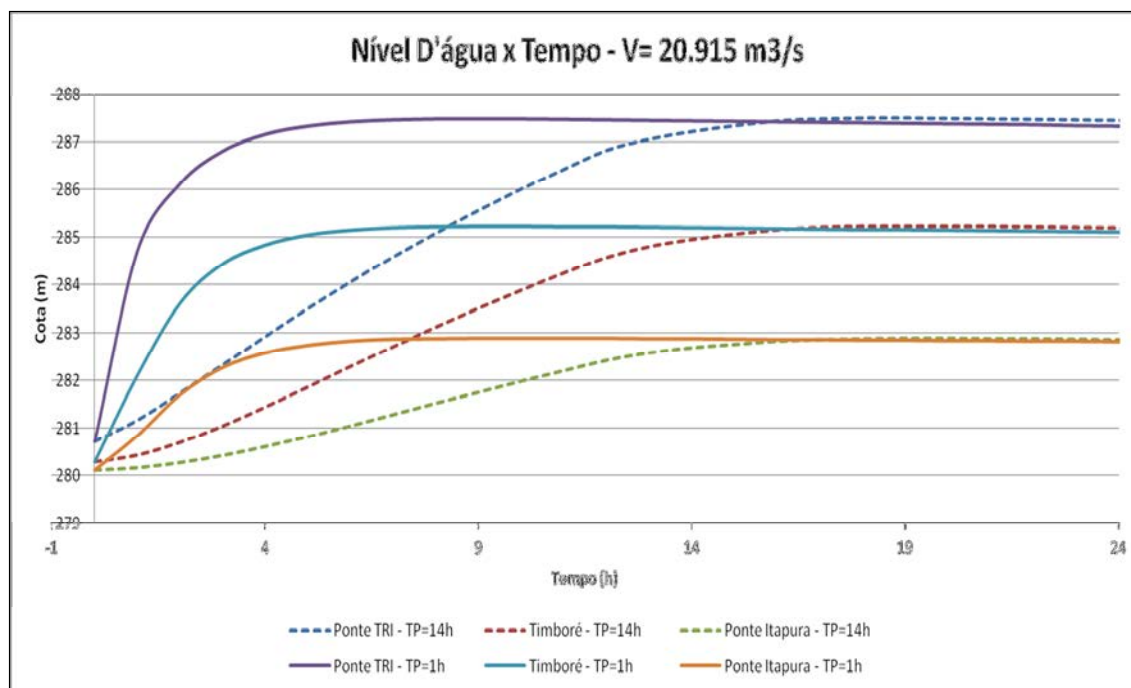


Fonte: próprio autor

A diferença entre os resultados correspondentes entre uma ruptura lenta (14 horas) e uma ruptura rápida (1 hora) pode ser observada nas Figuras 30 e 31. O comportamento do regime variável pode ser facilmente observado neste conjunto de

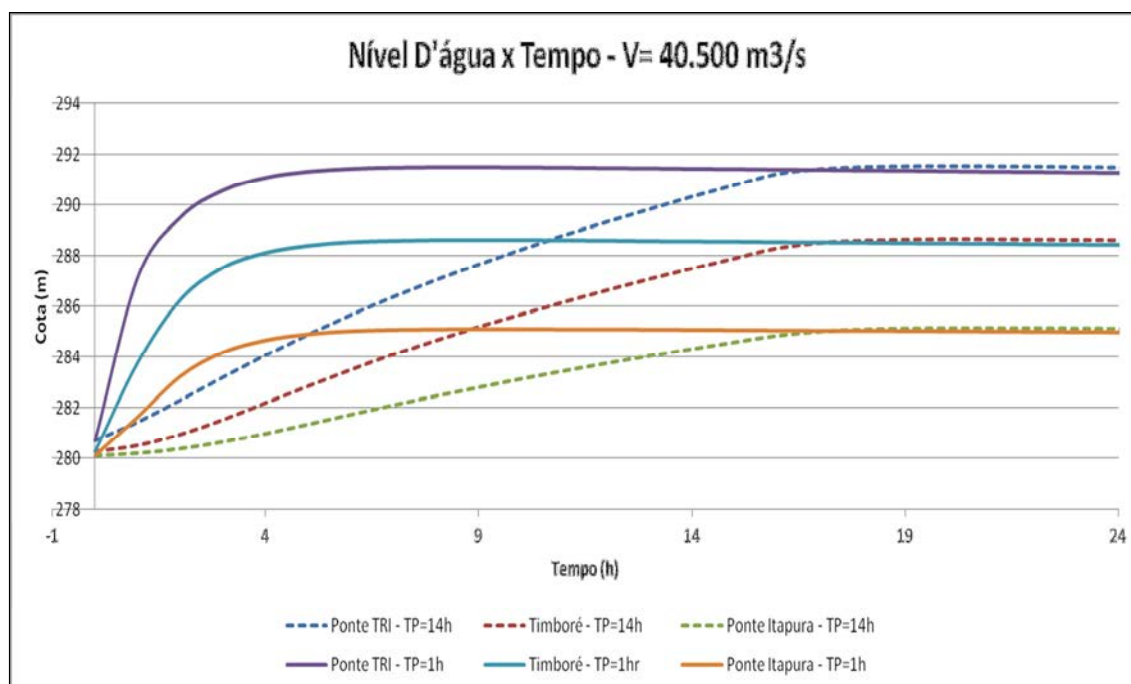
figuras onde praticamente não existe influência do tempo de pico nas máximas vazões registradas.

Figura 30 - Comparativo entre os tempos de pico de 1 e 14 horas na ponte Três Irmãos, Vila Timboré e Ponte Itapura, para vazão de 20.915 m³/s.



Fonte: próprio autor

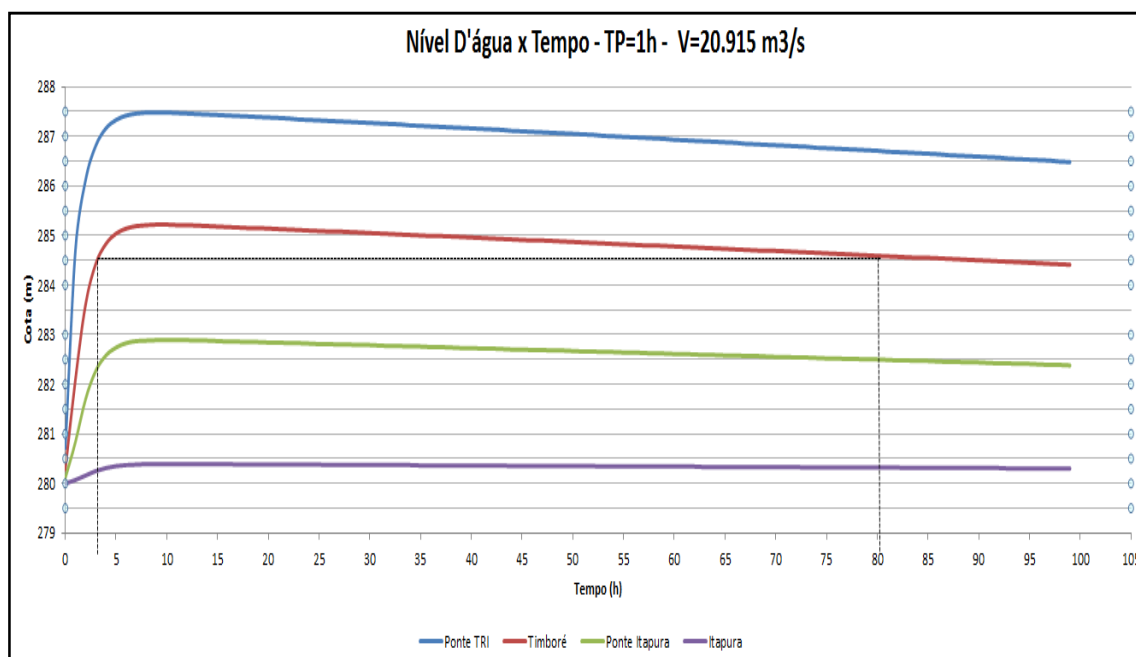
Figura 31 – Comparativo entre os tempos de pico de 1 e 14 horas na ponte Três Irmãos, Vila Timboré e Ponte Itapura, para vazão de 40.500 m³/s.



Fonte: próprio autor

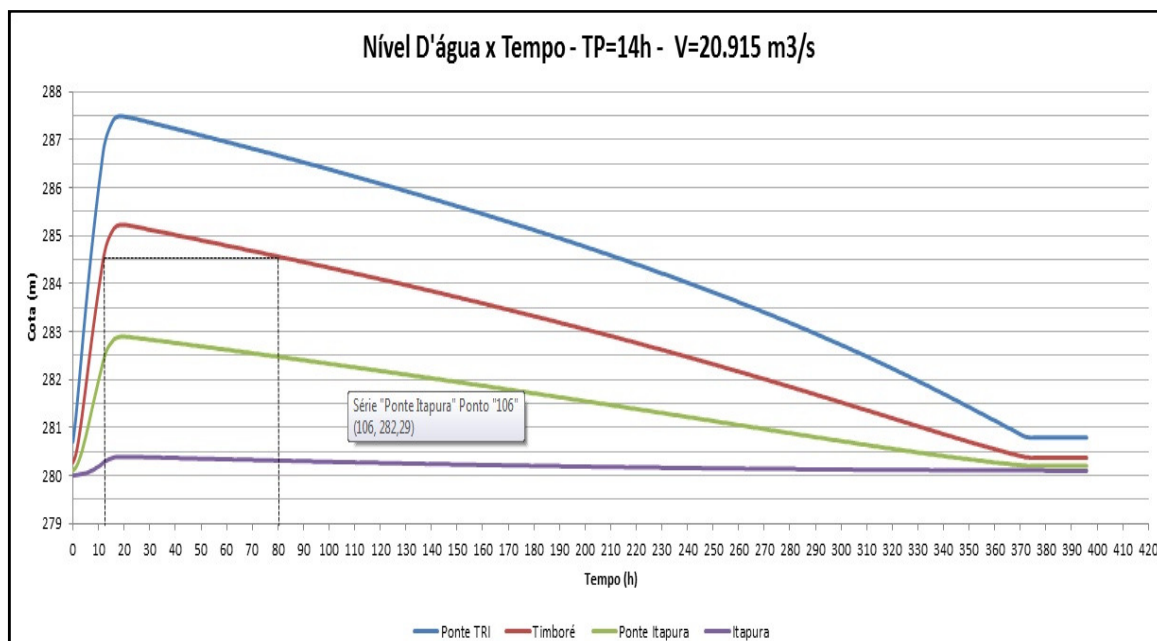
As Figuras 32 e 33 ilustram o tempo que as edificações da Vila Timboré permanecerão inundadas. Para os tempos de pico de 1 ou 14 horas e vazão de $20.915 \text{ m}^3/\text{s}$ estas edificações permanecerão inundadas por cerca de 80 horas. Em ambos os casos o rio voltaria a condição inicial após cerca de 370 horas.

Figura 32 – Tempo que as edificações da Vila Timboré permanecerão inundadas, para as rupturas lentas e rápidas com vazão de $20.915 \text{ m}^3/\text{s}$ e TP de 1 hora.



Fonte: próprio autor

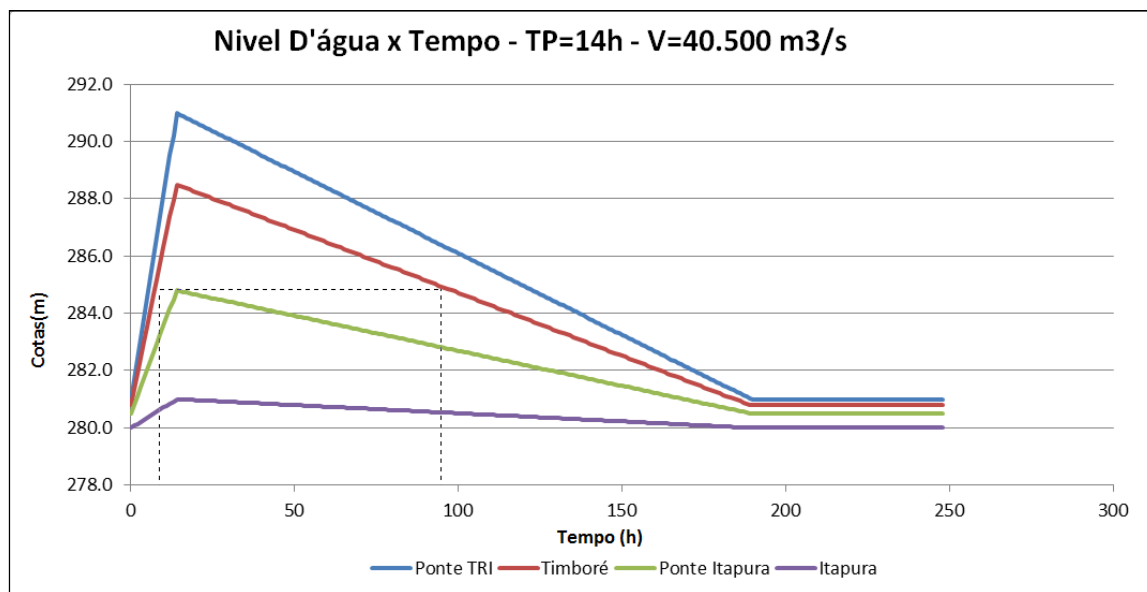
Figura 33 – Tempo que as edificações da Vila Timboré permanecerão inundadas, para as rupturas lentas e rápidas com vazão de $20.915 \text{ m}^3/\text{s}$ e TP de 14 horas.



Fonte: próprio autor

A Figura 34 ilustra o tempo que as edificações da Vila Timboré permanecerão inundadas. Para os tempos de pico de 1 ou 14 horas e vazão de 40.500 m³/s estas edificações permanecerão inundadas por cerca de 90 horas. Em ambos os casos o rio voltaria a condição inicial após cerca de 189 horas.

Figura 34 – Tempo que a edificação da Vila Timboré permanecerá inundada, para as rupturas lentas com vazão de 40.500 m³/s.



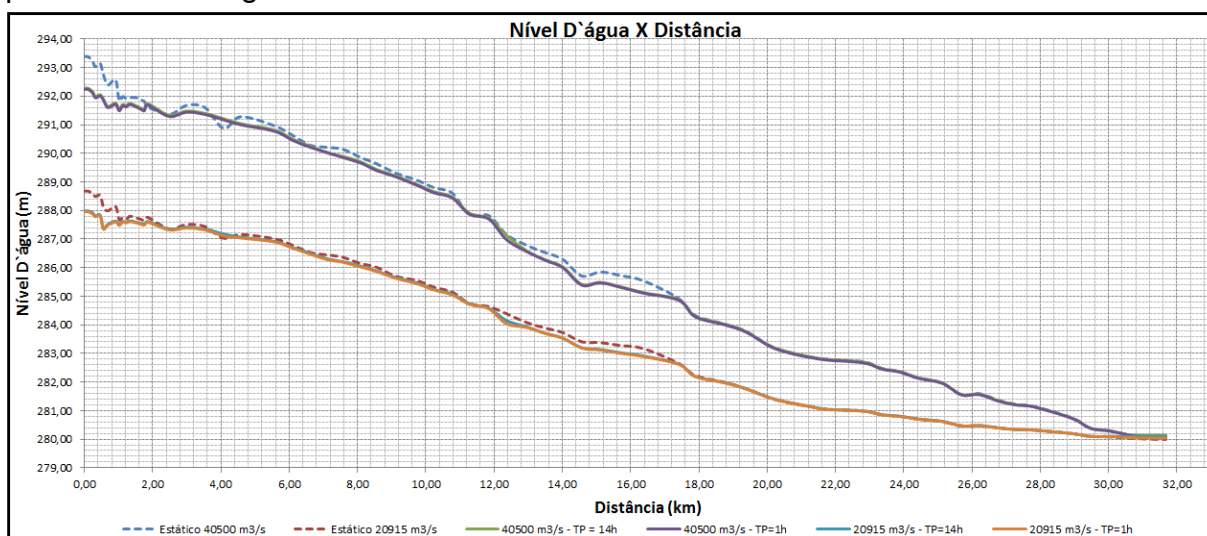
Fonte: próprio autor

A Figura 35 ilustra uma comparação entre os cenários da simulação dos ensaios realizados em regime permanente e regime variável. Nota-se que existe muito pouca diferença entre as curvas das duas situações, embora a curva de níveis máximos da simulação dinâmica fique consistentemente abaixo do perfil estático, pelo menos no trecho inicial até cerca de 18,0 Km. Isto significa que haveria pouco erro em estimar as áreas inundadas a partir dos resultados da simulação estática.

Este resultado ocorreu devido ao grande volume de água armazenado no reservatório, que levou a hidrogramas de ruptura com variações lentas de vazão. Com isso o hidrograma de ruptura causou um escoamento próximo ao da modelagem em regime quase-permanente. Este resultado sugere que os termos de inércia são muito pequenos em relação aos demais termos da equação de Saint Venant, levando a onda a assumir características de propagação de onda cinemática.

Além disso, em relação aos problemas clássicos de propagação de cheias em rios, há relativamente pouco amortecimento derivado do armazenamento nas áreas de inundação. Essa característica deve-se a que a maioria das planícies de inundação do trecho a jusante já estão submersas pelo remanso causado com a Barragem de Jupia.

Figura 35 – Perfil da linha d'água para os cenários de simulação em regime permanente e regime variável.



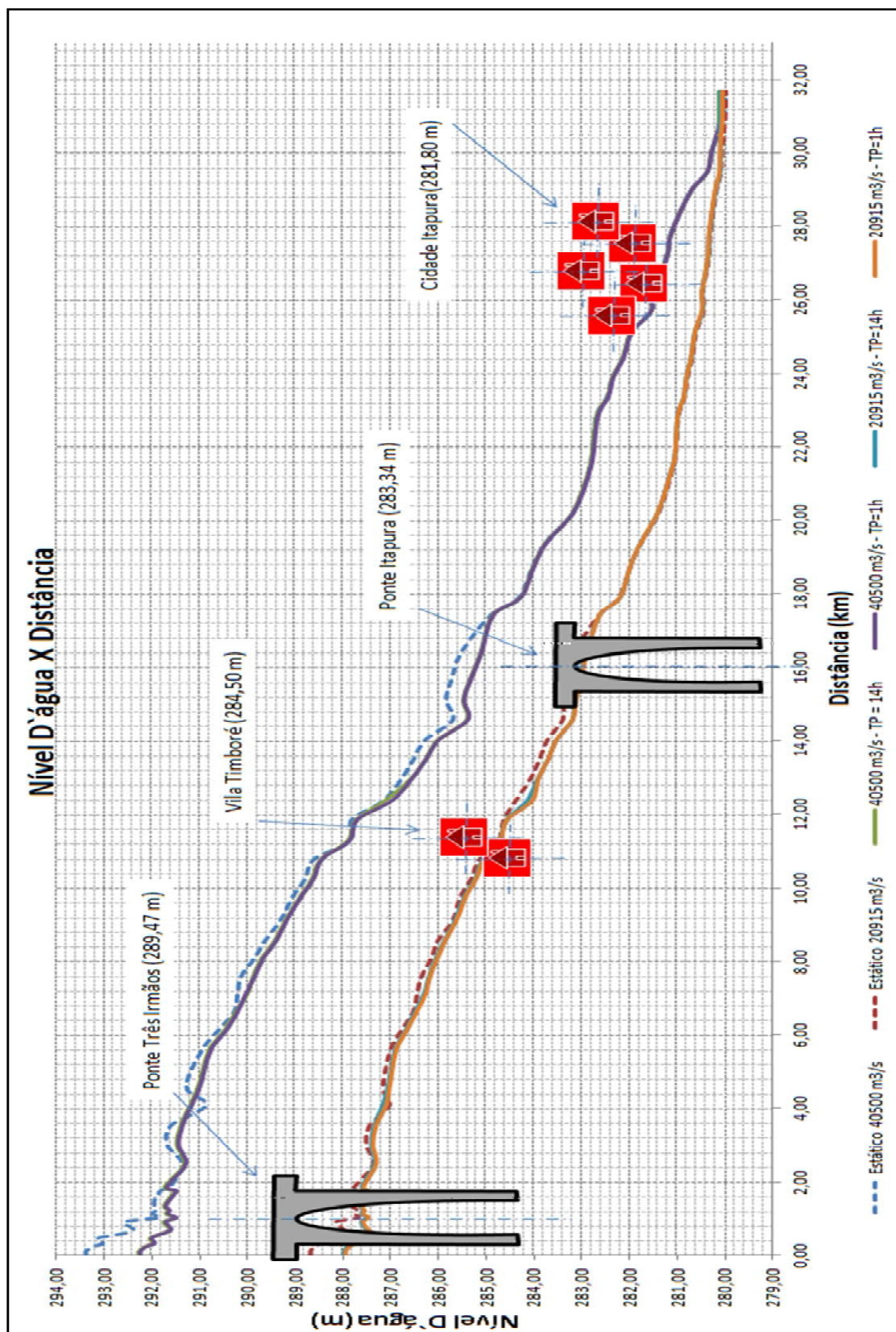
Fonte: próprio autor

A Figura 36 apresenta a linha d'água no trecho de estudo para os regimes permanentes e variáveis para vazões de 20.915 m³/s e 40.500 m³/s e tempos de pico de 1 e 14 horas respectivamente. Foram lançados os pontos de interesse no estudo com suas respectivas cotas topográficas.

A Tabela 25 apresenta os resultados do comportamento das ondas de cheia geradas por vazões induzidas e por vazões de ruptura hipotética da barragem. Para os locais de interesse foram determinados o tempo de chegada da onda, suas velocidades e a altura da lâmina d'água. Na última coluna foi determinado o grau de perigo em função da capacidade da cheia de provocar danos às pessoas, edificações e bens, através do Risco Hidrodinâmico.

As Figuras 37 a 48 apresentam os mapas de inundação para os diversos cenários estudados.

Figura 36 – Perfil da linha d'água para os cenários de simulação em regime permanente e regime variável com as cotas topográficas dos locais de interesse.



Fonte: próprio autor

Tabela 25 - Comportamento das ondas de cheia simulada.

Cenário	Vazão Máx (m ³ /s)	Local	Dist. (m)	Cota local (m)	Cota máxima (m)	H Lâmina (m)	Tempo Chegada (min)	Vel. (m/s)	Risco Hidrodin. (m ² /s)
1	4.600,0	Ponte Três Irmãos	1.020,00	289,47	282,11		13,28	1,28	
		Vila Timboré	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 Timboré	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 Timboré	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 Timboré	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 Timboré	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 Timboré	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

Fonte: próprio autor

Figura 37 – Ponte Três Irmãos. Mapa de inundação para a ruptura hipotética com vazão de $20.915 \text{ m}^3/\text{s}$.



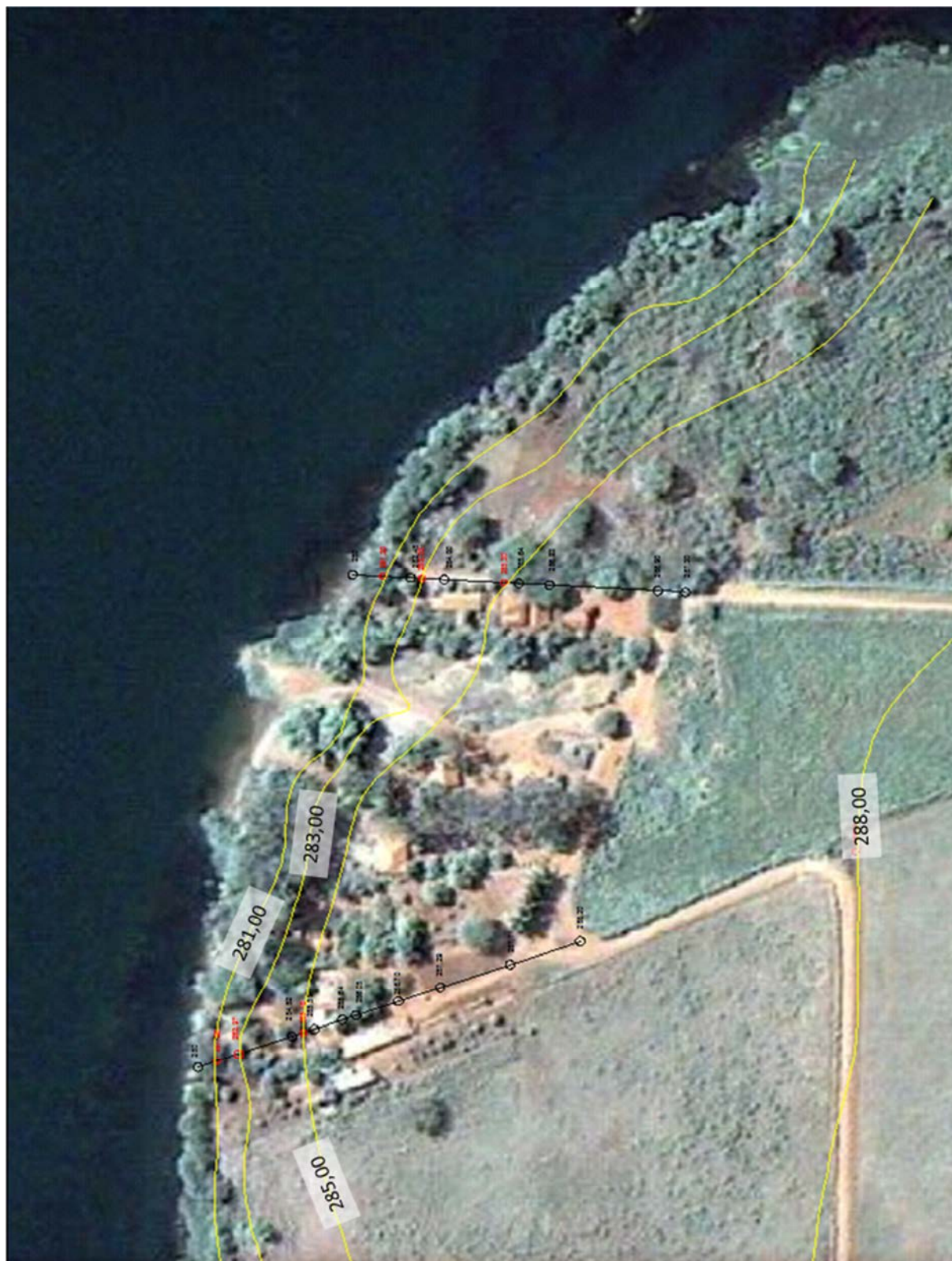
Fonte: próprio autor

Figura 38 – Ponte Três Irmãos. Mapa de inundação para a ruptura hipotética com vazão de $40.500 \text{ m}^3/\text{s}$.



Fonte: próprio autor

Figura 39 – Vila Timboré. Mapa com as curvas de nível.



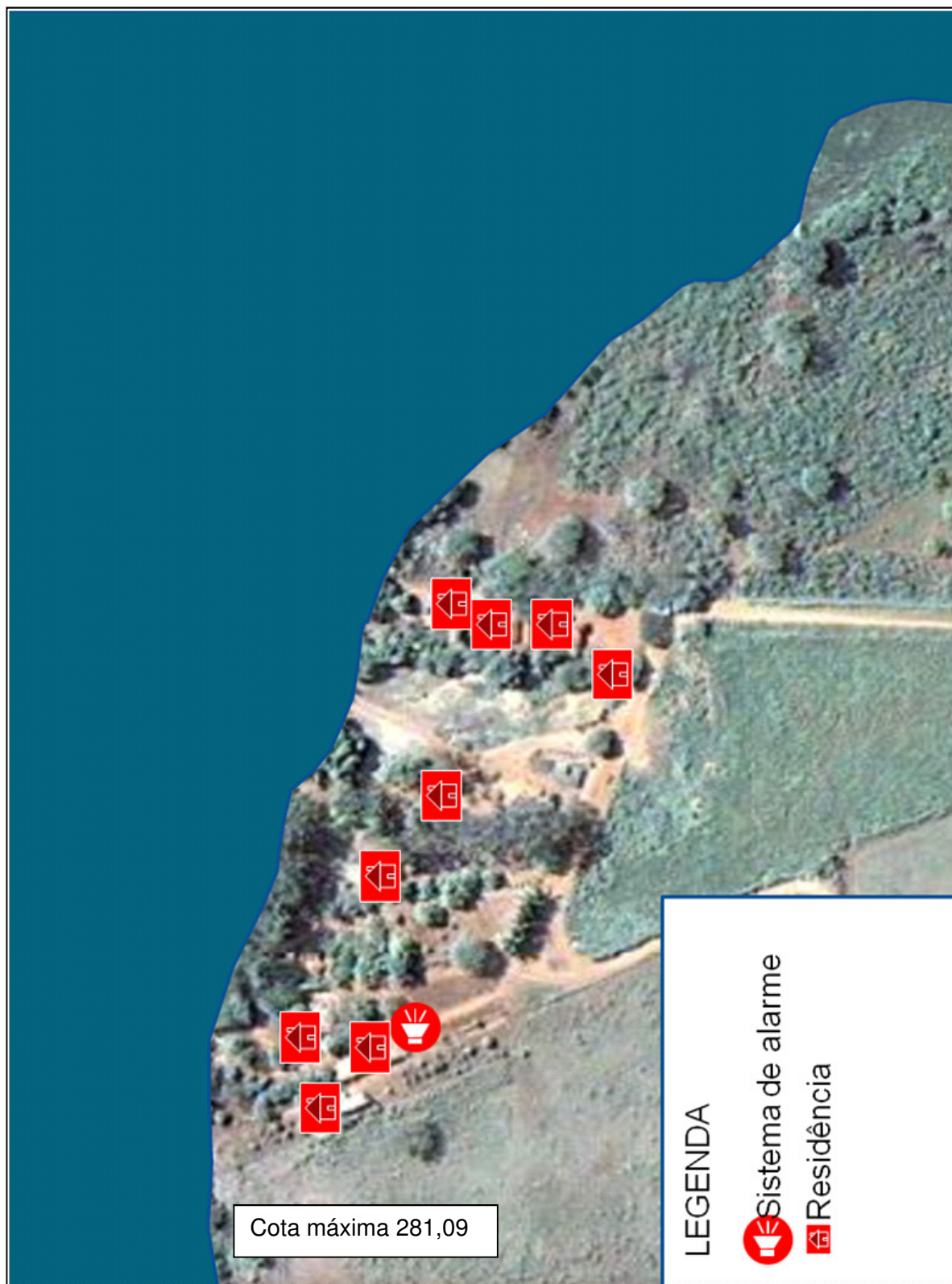
Fonte: próprio autor

Figura 40 – Vila Timboré. Mapa com as edificações.



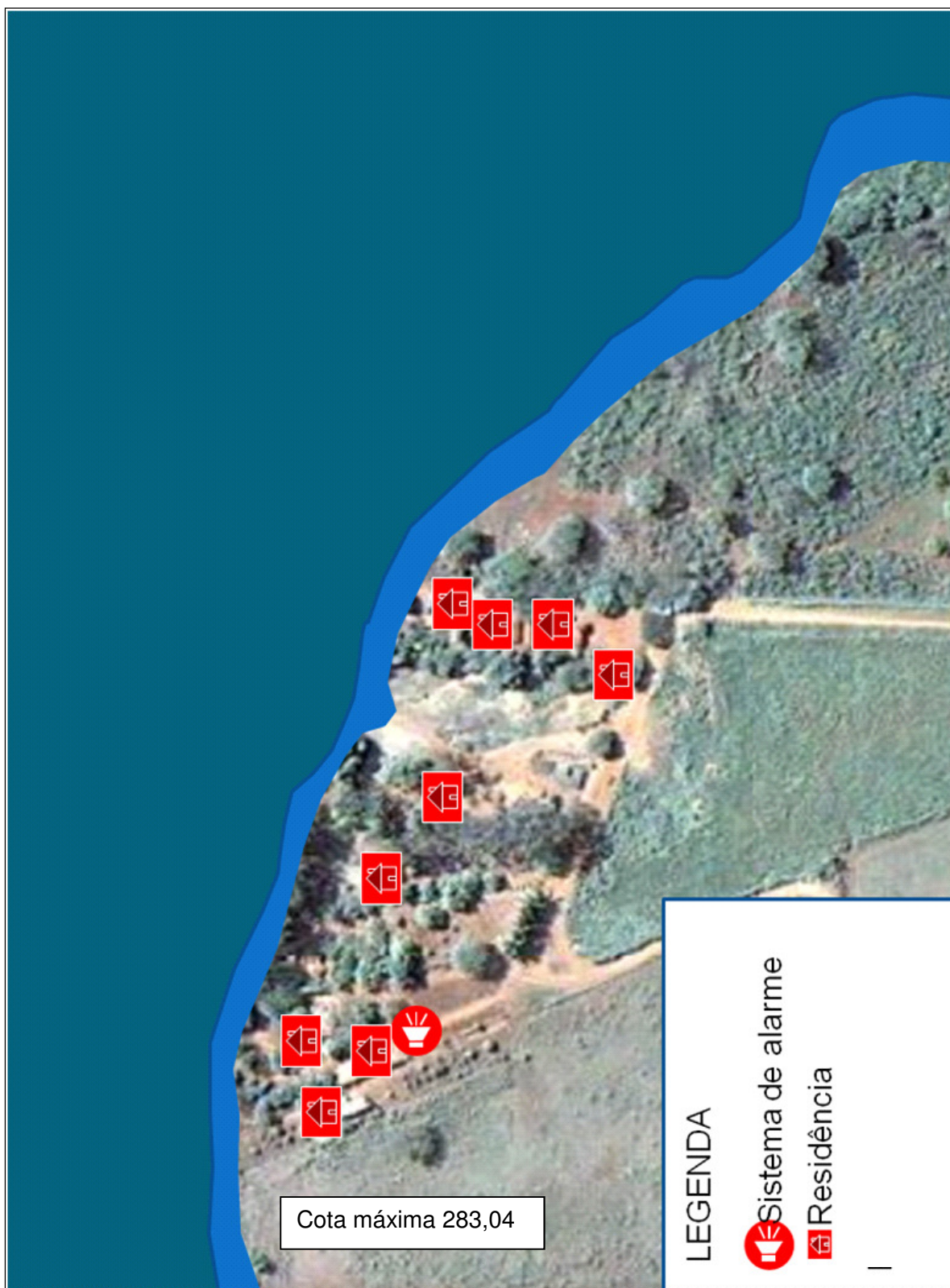
Fonte: próprio autor

Figura 41 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência induzida de 4.600 m³/s.



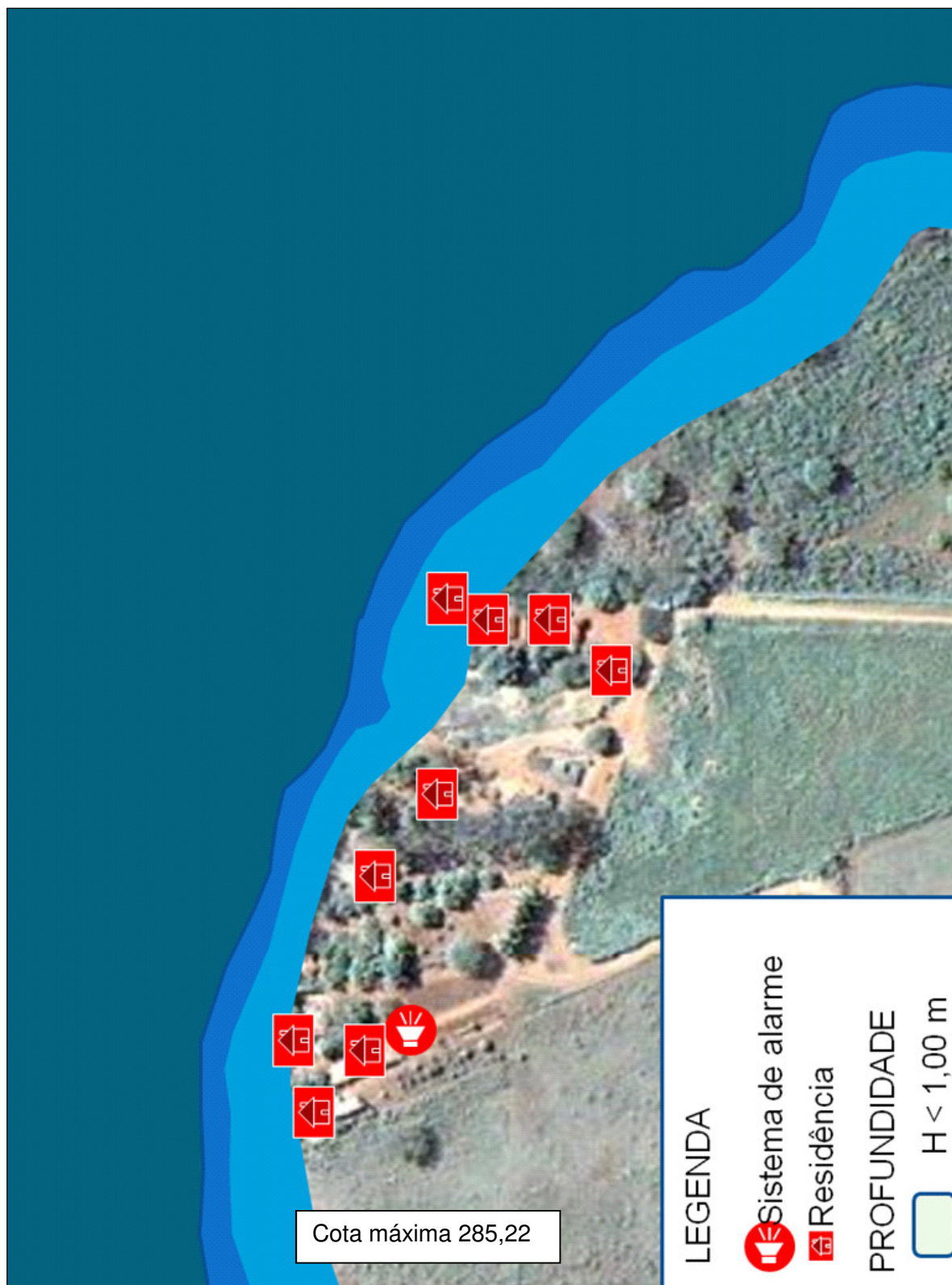
Fonte: próprio autor

Figura 42 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência induzida de 11.000 m³/s.



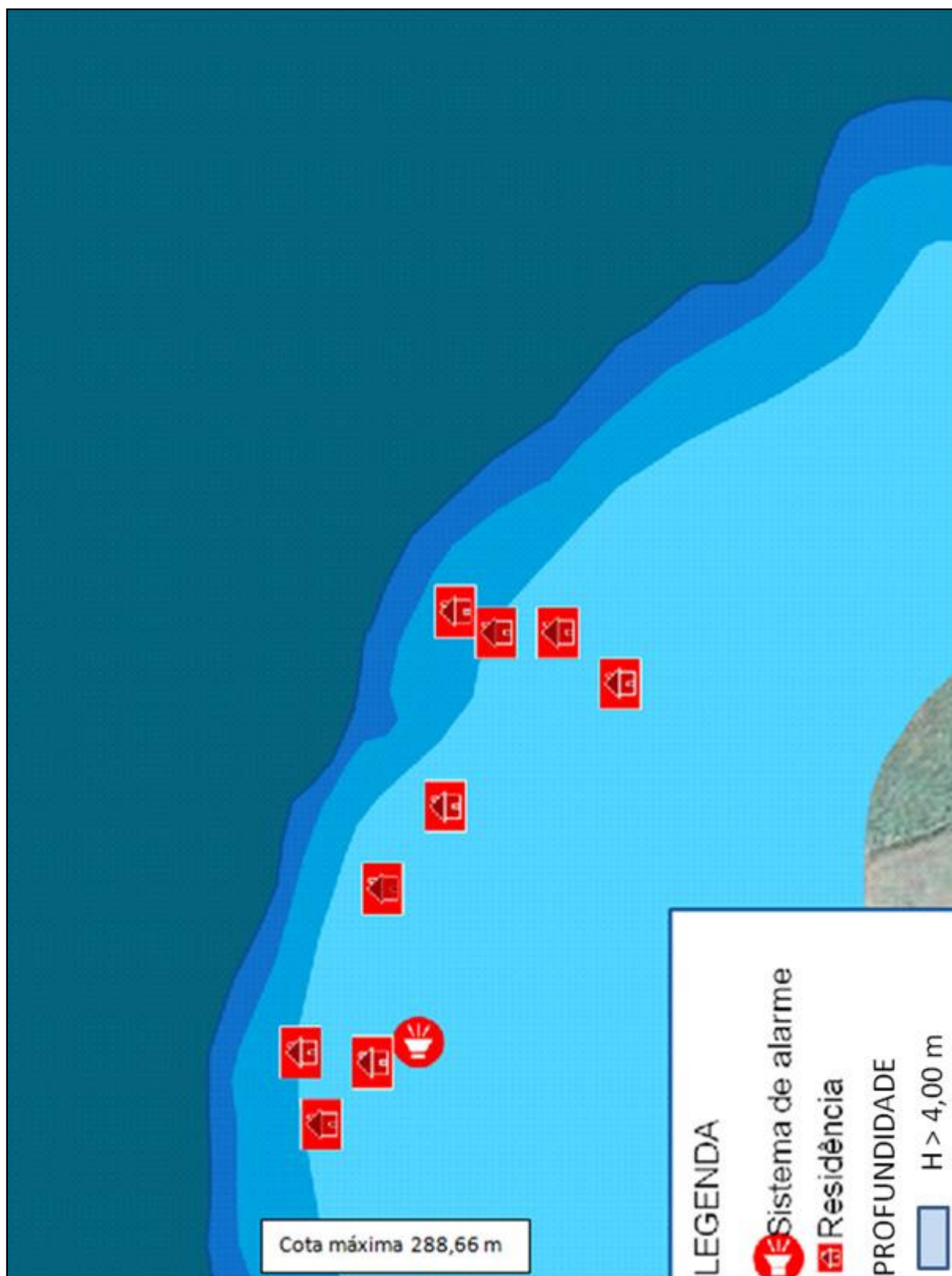
Fonte: próprio autor

Figura 43 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência de 20.915 m³/s.



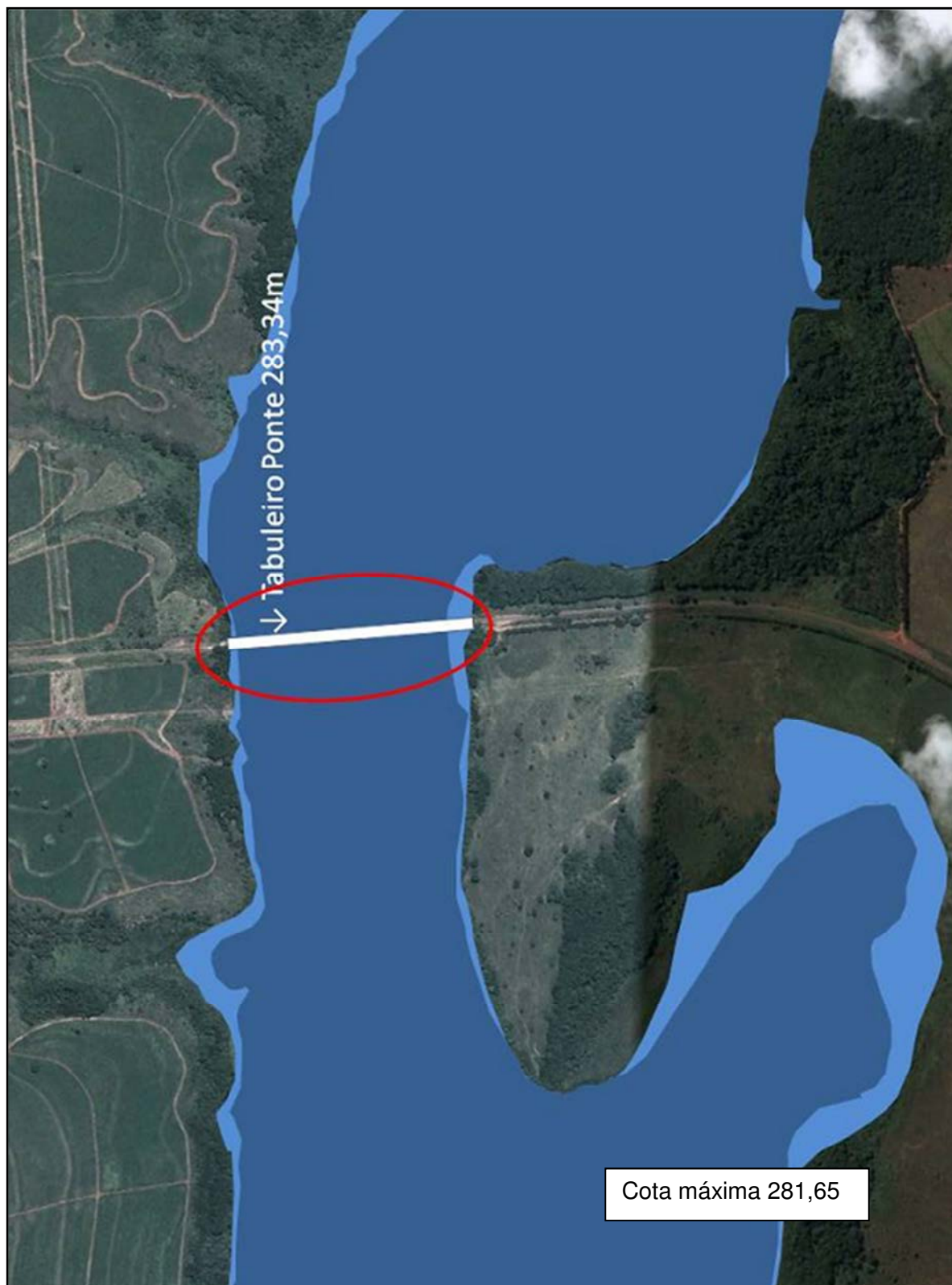
Fonte: próprio autor

Figura 44 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência de 40.500 m³/s.



Fonte: próprio autor

Figura 45 – Ponte Itapura. Mapa de inundação com defluência induzida de 11.000 m³/s.



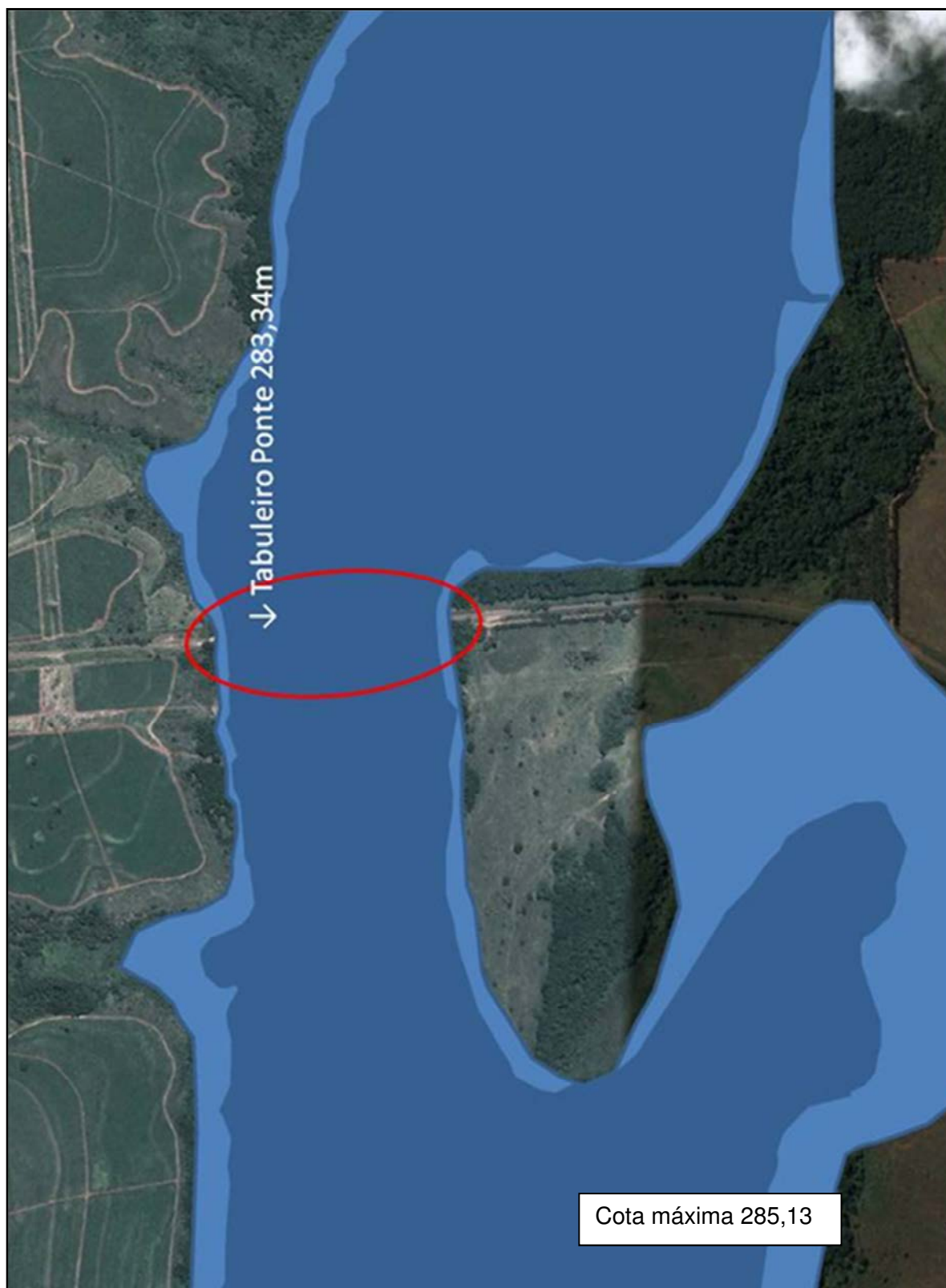
Fonte: próprio autor

Figura 46 – Ponte Itapura. Mapa de inundação com defluência de 20.915 m³/s.



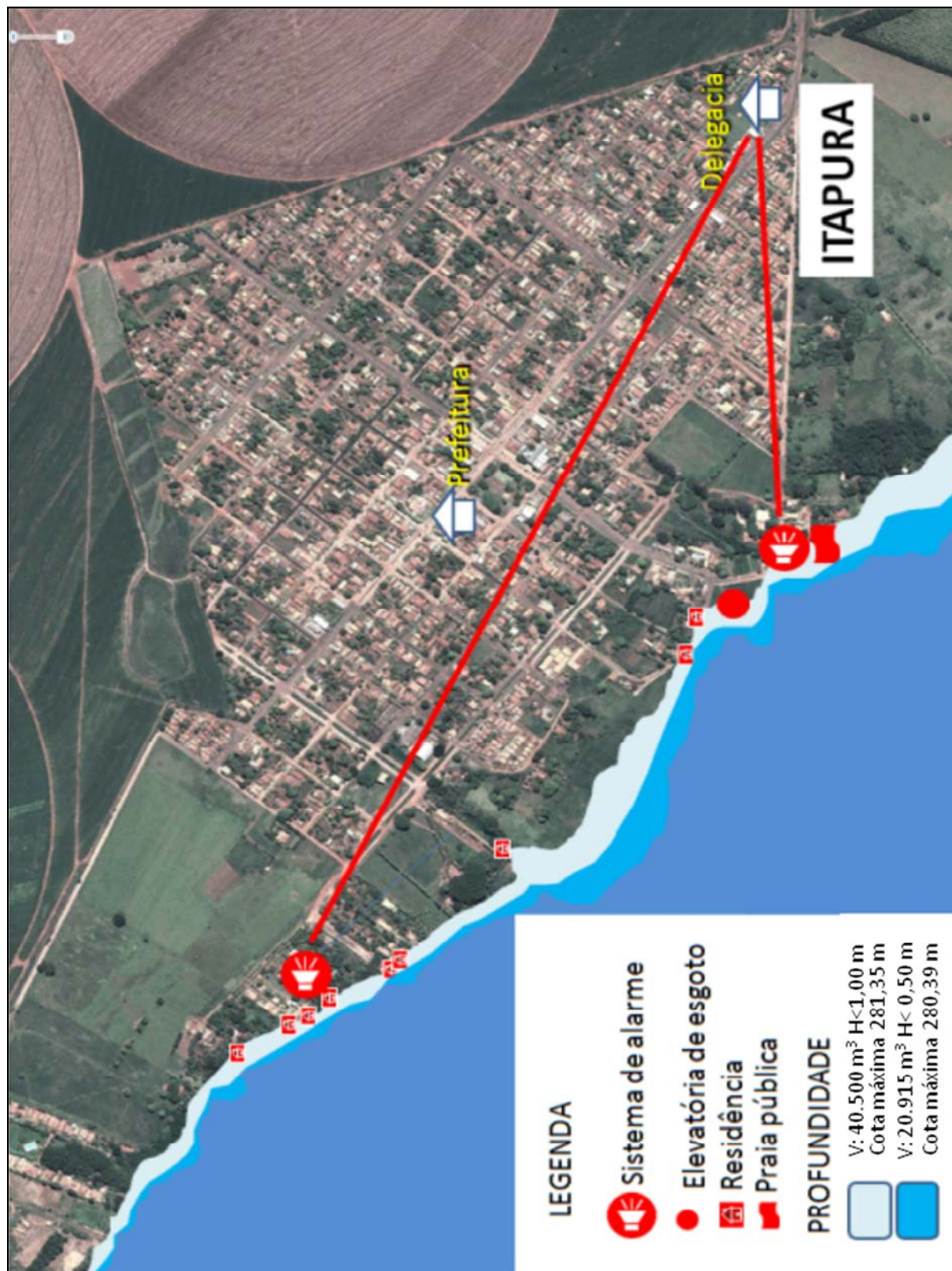
Fonte: próprio autor

Figura 47 – Ponte Itapura. Mapa de inundação com defluência de 40.500 m³/s.



Fonte: próprio autor

Figura 48 – Cidade Itapura. Mapa de inundação com defluência de 20.915 e 40.500 m³/s.



Fonte: próprio autor

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho faz parte de um assunto de significativa importância, não apenas pelo interesse científico para atender diretrizes da Legislação Nacional envolvendo assuntos regulatórios de barragens, mas também, como uma proposta de ferramenta de apoio para as decisões no domínio da Segurança de Barragens, com objetivo de dar uma resposta às necessidades impostas pela sociedade moderna.

Os cenários apresentados neste estudo, que tiveram por objetivo avaliar o comportamento das ondas de cheias geradas por vazões induzidas e vazão de ruptura hipotética da barragem da usina hidrelétrica de Três Irmãos, da CESP Companhia Energética de São Paulo, subsidiaram a elaboração de um Plano de Ação Emergencial de Barragens com objetivo de atender às disposições dos artigos 7º, 8º, 11º e 12º da Lei Federal 12.334/2010, conforme ilustrado no anexo.

Ressalta-se que a barragem de Três Irmãos é bastante segura e possui rotina adequada de monitoramento, contando com instrumentos de auscultação, execução de inspeções rotineiras e periódicas, documentação técnica com registro dessas inspeções e programa anualizado de manutenção.

A barragem Souza Dias (Jupia), situada a jusante da barragem Três Irmãos, no rio Paraná, possui um plano anual de inspeção e manutenção nos órgãos de descarga, com capacidade de controlar vazões até cerca de 60.000 m³/s com manobras dos órgãos extravasores.

As simulações para o cenário 1 - (4.600 m³/s) mostra que os locais de estudo apresentaram situações confortáveis, uma vez que o volume lançado a jusante da barragem se encaixou na calha do rio e planícies de inundação, não atingindo a cidade de Itapura e a Vila Timboré. Os pilares das pontes de Três Irmãos e Itapura apresentaram riscos hidrodinâmicos baixos devido às baixas velocidades da água, não oferecendo risco ou necessidade de sugerir intervenção no trânsito.

As simulações para o cenário 2 - (11.000 m³/s) não indicam risco para os moradores da Vila Timboré e da cidade de Itapura, porém indicam que os riscos hidrodinâmicos nas pontes de Itapura e Três Irmãos são mais altos que o admissível. Para vazões desta magnitude é aconselhável que a ponte seja interditada para o tráfego tendo sua liberação somente após inspeções visuais em

suas estruturas (transversinas, longarinas, pilares, tabuleiros e aparelhos de apoio). Aconselha-se também a realização de inspeções subaquáticas nas estruturas submersas.

As simulações para o cenário 3 – (20.915 m³/s), tanto para o tempo de pico de 1 ou 14 horas, levam a inundação de algumas edificações da Vila Timboré com risco hidrodinâmico da ordem de 2,31 m²/s, o que é considerado alto, podendo levar estas edificações à ruína. Para as pontes de Três Irmãos e Itapura são recomendadas as mesmas medidas de segurança que as adotadas para vazões de 11.000 m³/s.

As simulações para o cenário 4 - (40.500 m³/s), tanto para o tempo de pico de 1 ou 14 horas, leva a inundação de todas as casas da Vila Timboré, de 9 edificações da cidade de Itapura e dos tabuleiros das ponte Três Irmãos e ponte Itapura. O grau de perigo para este cenário é considerado alto, em função dos riscos hidrodinâmicos elevados, com consequências catastróficas, conforme pode se observar na Tabela 25.

8 RECOMENDAÇÕES

Modelagem hidráulica

Que se efetuem novos estudos levando em consideração o impacto da redução do número de seções topobatimétricas nos resultados finais, considerando o custo elevado destas atividades no campo.

Devido a dificuldade dos estudos na integração da base de dados para a elaboração do modelo digital de terreno (MDT), recomenda-se novas tentativas para a integração com o HEC RAS.

Plano de Ação Emergencial (PAE)

Como medida de mitigação do risco após o estudo de simulação de ondas de cheia e com base nos resultados obtidos à luz da metodologia proposta nesta dissertação, conforme contemplado no PAE – Plano de Ação Emergencial são recomendadas as seguintes medidas de segurança para a população situada a jusante da barragem Três Irmãos, bem como para as estruturas existentes nesta região:

- Instalação de um sistema de avisos sonoros para a população da Vila Timboré e da cidade de Itapura;
- Instalação de um sistema de sinalização de segurança tipo semáforo nas duas extremidades das pontes de Três Irmãos e Itapura;
- O PAE – Plano de Ação Emergencial no anexo, contempla cinco ações distintas:

- 1) **Deteção** do evento “Perigo na Barragem”;
- 2) **Tomada de Decisão** por parte dos responsáveis pela Segurança da Barragem;
- 3) **Notificação** de todos os agentes envolvidos na notificação da Emergência;
- 4) **Aviso** à população;
- 5) **Evacuação** da população.

Os resultados deste trabalho serão adicionados ao SOSEm (Sistema de Operação em Situação de Emergência), cujas informações irão contribuir com o protocolo de notificação às situações de risco.

Por fim é recomendável a continuidade do programa de treinamento anual de operadores, funcionários de Segurança de Barragens e reuniões do COEm – Conselho de Emergência, para metodologias de respostas rápidas para as Defesas Civas dos municípios envolvidos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.B., Emergências e gestão do risco. 1º Curso de Segurança e Exploração de Barragens, INAG, Lisboa.

AZAÑEDO, J. C. C. Seguridad de presas: Experiencia española. Trabalho apresentado a Conferência do Curso de Exploração e Segurança de Barragens, Lisboa: Instituto da Água de Portugal, 2006. 99 slides.

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, Minas Gerais 2008.

BARFIELD, B. J.; WARNER, R. C; HAAN, C. T. (1981). **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. 68 p. 2004.

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

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: julho de 2012.

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

_____. Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: < <http://www.dnrm.gov.br/>>. Acesso em setembro de 2012.

_____. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em setembro de 2012:

Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: < <http://www.dnrm.gov.br/>>. Acesso em setembro de 2012.

_____. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/>>. Acesso em setembro de 2012:

_____. 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. **República Federativa do Brasil**. Disponível em: <<http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/1025242/lei-12334-10#art0>>. Acesso em julho de 2012.

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

_____. 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 outubro 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**. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS João Pessoa - PB, 20 a 24 de novembro de 2005.

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

_____. **Guidelines for defining inundated areas downstream from Bureau of Reclamation dams**. Colorado, Estados Unidos: US Department of the Interior, 1982. 22 p.

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

_____. **Procedimentos computacionais para engenharia de barragens – Confiabilidade e aplicabilidade**. Boletim 122 do ICOLD. Tradução: Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2008b. 161 p.

_____. Guia Básico de Segurança de Barragens. São Paulo, 1999.

CDA. Dam Safety Guidelines. Canadian Dam Association-CDA, 2007. 82 p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Rio de Pedras Hydroelectric development** : Reservoir capacity curve. Rio de Janeiro: CEMIG/Departamento de Planejamento, 1967.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG/UFGM. **Relatório de visita técnica**. Projeto CEMIG-UFGM de P&D 100, ciclo 2002/2003: Desenvolvimento de metodologia para a propagação de ondas de cheia em cenários de operação extrema e de ruptura de barragens. Belo Horizonte: CEMIG/Departamento de Planejamento Energético, junho de 2004, 180 p.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS - CEMIG. **Relatório Técnico 03, Determinação do hidrograma de ruptura: propagação unidimensional da onda de cheia.UHE Peti** Belo Horizonte: Gerência de Segurança de Barragens e Manutenção Civil, 2007b, 20 p.(Relatório).

COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO - CESP/ TOPOGRAFIA. **Levantamento topográfico. Nivelamento das margens do Rio Tietê, em julho de 2012** : trecho UHE Três Irmãos. Itapura: CESP/Departamento de Engenharia Civil, julho de 2012.

DWAF. Department Water Affairs and Forestry. Disponível em: <<http://www.dwaf.gov.za>>. Acesso em: janeiro 2008.

ESPAÑA - GUIA TECNICA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS PLANES DE EMERGENCIA DE PRESAS, 2001

FEPISA Fundação de Ensino Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira 2012 – Levantamento batimétrico. Relatório

FRENCH, R. H. **Open-channel hydraulics**. Nova York: McGRAW-HILL, 1991. 739 p.

FREAD, D.L. (1976b), “The NWS DAMBRK Model: Quick Users Guide,” Hydrologic Research Laboratory, Office of Hydrology, National Weather Service, NOAA, June 20, 1976 (Revision 4, August 1991)

FROEHLICH, D.C., 1987 – Embankment-dam breach parameters. Proceedings of the 1987 National Conference on Hydraulic Engineering, ASCE, New York, Aug, pp.570 – 575.

HARTFORD, D.N.D. e KARTHA, C.V., 1995 – Dam Break inundation and consequence evaluation . How safe is your dam? Is it safe enough? An introduction to risk-based dam safety evaluation. Report n° MEP 11-5. B.C. Hidro. Canada.

HEC (Hydrologic Engineering Center). 2010. **HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual, v. 4.1**. Hydrologic Engineering Center, Davis, CA. 2010.

HAGEN, V. K. Re-evaluation of design floods and dam safety. In: Congresso de Grandes Barragens, 14., 1982, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 1982. p. 475-491.

INTERNATIONAL COMISSION OF LARGE DAMS - ICOLD. Automated dam monitoring systems: guidelines and case histories. **Bulletin 118**. Paris: Internacional Comission of Large Dams, 2005.

_____. Dam break flood analysis: review and recommendations. **Bulletin 111**. Paris: International Commission of Large Dams, 1998, 301 p.

_____. Dam Failures. Statistical Analysis. **Bulletin 99**. Paris: International Commission of Large Dams, 1995. 63 p.

_____. Improvement of existing dam monitoring: recommendations and case histories. **Bulletin 87**. Paris: International Commission of Large Dams, 1992. 63 p.

INAG. Curso de Exploração e Segurança de Barragens. Instituto da Água. Lisboa - Portugal. 2001.

INAG. Instituto de Águas de Portugal. Disponível em: <<http://www.inag.pt>>. Acesso em: novembro 2008.

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. ITCOLD. 2004. Disponível em: <<http://itcold.it/>>. Acesso em: nov. 2008.

JESUS, L. F. F.; PALMIER, L. R. Simulação de onda de cheia decorrente da ruptura hipotética de barragem – estudo de caso: APM Manso. In SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XX. 2013. Bento Gonçalves - RS. **Anais ...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013. 8p.

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. Tacoma, 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. Departamento de Hidráulica, Lisboa, 39p. 1994.

_____. Risco e Gestão de Crises em Vales a Jusante de Barragens. Lisboa 1997, 151p.

_____. Some considerations on the durability of dams, A. F. da Silveira, ICT/INCB 6, Lisboa, 1990, 30p.

LI-QIU, Y.; QI-CHEN, Z. Legislation on dam safety in China. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NEW TRENDS AND GUIDELINES ON DAM SAFETY, 1998, Barcelona. **Proceedings...** Barcelona: by L. Berga, v.1, jun. 1998. Rotterdam u.a.: Balkema, ISBN 90-5410-974-2.

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: <<http://www.mma.es>>. Acesso em: dezembro 2008.

MENESCAL, R. A. **Gestão da Segurança de Barragens no Brasil – Proposta de um Sistema Integrado, descentralizado, transparente e participativo**. 2009. (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 hídricas 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, 2004.

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.

PALMIER, L. R.; BRASIL, L. S. S.; MONTE-MOR, R. C.; NASCIMENTO, N.; ROCHA, E. G.; SILVA; N. S.; CANELLAS, A. V. B. Modelagem simplificada de onda de cheia proveniente de ruptura hipotética de barragem - Estudo de caso: barragem do aproveitamento múltiplo Manso, Mato Grosso, Brasil. In SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO-OESTE, 5. 2005. **Anais ...** Campo Grande, 2005. 17 p.

PINFARI, J. C; et al- A Política Nacional de Segurança de Barragens – Precauções dos agentes de geração na regulamentação da lei nº 12.334/2010 – visão da Companhia Energética de São Paulo; Seminário Nacional de Pequenas e Médias Centras Hidrelétricas. Porto Alegre. RS - 2012.

PONCE, V. M., TAHER-SHAMSI, A., SHETTY, A. V. Dam Breach Flood Wave Propagation Using Dimensionless Parameters. **Journal of Hydraulic Engineering**, Canada, v. 129, n. 10, p. 777-782, 2003.

RESCDAM, 1999 – Final report of RESCDAM seminar – International Methods of Risk Analysis, Damage evaluation and social impact studies concerning dam-break accidents, Final report, Finnish Environment Institut, Seinajoki, Finland.

RETTEMEIER, K.; NILKENS, B.; FALKENHAGEN, B.; KÖNGETER, J. **New Developments in Dam Safety - Feasibility Evaluation on Risk Assessment**. 2001. Disponível em: <http://www.talsperrenkomitee.de/german_research/index.cgi/page/article/articl e_id/12>. Acesso em: novembro 2008.

SINGH, V.P. Dam Breack modeling technology. Kluwer Academic Publichers. Louisiana, 1996. 242 p. apud BRASIL, L.S.S. Utilização de modelagens Uni e Bidimensional para a propagação de ondas de cheia proveniente de ruptura hipotética de Barragem. Estudo de caso: Barragem de Rio das Pedras. Belo Horizonte, 201 p.

SMITH, P. **Hydrologic data development system**. Austin: Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, 1995. (CRWR Online Report 95-1).

SYLVESTRE, P., SYLVESTRE, J. **FLDWAV application**: transitioning from calibration to operational mode. Maryland, US: National Weather Service/Office of Hydrologic Development, 2002. 11 p.

SYVANEN, K., REITER, P. e HUOKUNA, M., 2000. The pilot Project Kyrkosjarvi dam and reservoir, Seinajovi, Filand. International Seminar and Workshop "Risk Assessment, Dam-Break flood abalysis and Emergency Action Planning", Finnish Environment Institute, Seinajovi, Filand.

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

TUCCI, C.E.M. **Modelos Hidrológicos**. Ed. UFRGS, ABRH. ISBN: 8570258232. 2ª. Ed. 2005.

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/funcionarios/papers/twiseu/5cong_agua.pdf>. Acesso em: 20 setembro 2005.

_____; **Controlo de segurança de barragens**: Jornada técnica sobre "risco e gestão de crises em vales a jusante de barragens". Lisboa: LNEC, 1997.

_____. **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, abril de 1997, 10 p.

VON THUN, J.L. e GILLETTE, D.R., 1990 – Guidance on Break Parameters. Internal Document, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.

WETMORE, J. N.; FREAD, D. L. The NWS simplified dam break flood forecasting model. In: Canadian Hydrotechnical Conference, 5., 1981, Canada. **Proceedings...** Canada, 1981.

WORLD BANK. Banco Mundial. Disponível em: < www.worldbank.org >. Acesso em: julho 2008.

ANEXOS

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 9433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei 9984, de 17 de julho de 2000.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

CAPÍTULO I DISPOSIÇÕES GERAIS

Art. 1o Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens(SNISB).

Parágrafo único. Esta Lei aplica-se a barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais que apresentem pelo menos uma das seguintes características:

I - altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15m (quinze metros);

II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000m³ (três milhões de metros cúbicos);

III - reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;

IV - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 6o.

Art. 2o Para os efeitos desta Lei, são estabelecidas as seguintes definições:

I - barragem: qualquer estrutura em um curso permanente ou temporário de água para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas;

II - reservatório: acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos;

III - segurança de barragem: condição que vise a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente;

IV - empreendedor: agente privado ou governamental com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade;

V - órgão fiscalizador: autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização da segurança da barragem de sua competência;

VI - gestão de risco: ações de caráter normativo, bem como aplicação de medidas para prevenção, controle e mitigação de riscos;

VII - dano potencial associado à barragem: dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem.

CAPÍTULO II DOS OBJETIVOS

Art. 3º São objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

I - garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a reduzir a possibilidade de acidente e suas consequências;

II - regulamentar as ações de segurança a serem adotadas nas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros de barragens em todo o território nacional;

III - promover o monitoramento e o acompanhamento das ações de segurança empregadas pelos responsáveis por barragens;

IV - criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;

V - coletar informações que subsidiem o gerenciamento da segurança de barragens pelos governos;

VI - estabelecer conformidades de natureza técnica que permitam a avaliação da adequação aos parâmetros estabelecidos pelo poder público;

VII - fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de riscos.

CAPÍTULO III

DOS FUNDAMENTOS E DA FISCALIZAÇÃO

Art. 4º São fundamentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

I - a segurança de uma barragem deve ser considerada nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros;

II - a população deve ser informada e estimulada a participar, direta ou indiretamente, das ações preventivas e emergenciais;

III - o empreendedor é o responsável legal pela segurança da barragem, cabendolhe o desenvolvimento de ações para garanti-la;

IV - a promoção de mecanismos de participação e controle social;

V - a segurança de uma barragem influi diretamente na sua sustentabilidade e no alcance de seus potenciais efeitos sociais e ambientais.

Art. 5º A fiscalização da segurança de barragens caberá, sem prejuízo das ações fiscalizatórias dos órgãos ambientais integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama):

I - à entidade que outorgou o direito de uso dos recursos hídricos, observado o domínio do corpo hídrico, quando o objeto for de acumulação de água, exceto para fins de aproveitamento hidrelétrico;

II - à entidade que concedeu ou autorizou o uso do potencial hidráulico, quando se tratar de uso preponderante para fins de geração hidrelétrica;

III - à entidade outorgante de direitos minerários para fins de disposição final ou temporária de rejeitos;

IV - à entidade que forneceu a licença ambiental de instalação e operação para fins de disposição de resíduos industriais.

CAPÍTULO IV DOS INSTRUMENTOS

Art. 6º São instrumentos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

I - o sistema de classificação de barragens por categoria de risco e por dano potencial associado;

II - o Plano de Segurança de Barragem;

III - o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);

IV - o Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (Sinima);

V - o Cadastro Técnico Federal de Atividades e Instrumentos de Defesa Ambiental;

VI - o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais;

VII - o Relatório de Segurança de Barragens.

Seção I Da Classificação

Art. 7º As barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

§ 1º A classificação por categoria de risco em alto, médio ou baixo será feita em função das características técnicas, do estado de conservação do empreendimento e do atendimento ao Plano de Segurança da Barragem.

§ 2º A classificação por categoria de dano potencial associado à barragem em alto, médio ou baixo será feita em função do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes da ruptura da barragem.

Seção II

Do Plano de Segurança da Barragem

Art. 8º O Plano de Segurança da Barragem deve compreender, no mínimo, as seguintes informações:

I - identificação do empreendedor;

II - dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;

III - estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;

IV - manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;

V - regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;

VI - indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;

VII - Plano de Ação de Emergência (PAE), quando exigido;

VIII - relatórios das inspeções de segurança;

IX - revisões periódicas de segurança.

§ 1º A periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos planos de segurança deverão ser estabelecidos pelo órgão fiscalizador.

§ 2º As exigências indicadas nas inspeções periódicas de segurança da barragem deverão ser contempladas nas atualizações do Plano de Segurança.

Art. 9º As inspeções de segurança regular e especial terão a sua periodicidade, a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento definidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.

§ 1º A inspeção de segurança regular será efetuada pela própria equipe de segurança da barragem, devendo o relatório resultante estar disponível ao órgão fiscalizador e à sociedade civil.

§ 2º A inspeção de segurança especial será elaborada, conforme orientação do órgão fiscalizador, por equipe multidisciplinar de especialistas, em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem, nas fases de construção, operação e desativação, devendo considerar as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.

§ 3º Os relatórios resultantes das inspeções de segurança devem indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem.

Art. 10. Deverá ser realizada Revisão Periódica de Segurança de Barragem com o objetivo de verificar o estado geral do segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.

§ 1º A periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento da revisão periódica de segurança serão estabelecidos pelo órgão fiscalizador em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem.

§ 2o A Revisão Periódica de Segurança de Barragem deve indicar as ações a serem adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da barragem, compreendendo, para tanto:

I - o exame de toda a documentação da barragem, em particular dos relatórios de inspeção;

II - o exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;

III - a análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente.

Art. 11. O órgão fiscalizador poderá determinar a elaboração de PAE em função da categoria de risco e do dano potencial associado à barragem, devendo exigilo sempre para a barragem classificada como de dano potencial associado alto.

Art. 12. O PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, devendo contemplar, pelo menos:

I - identificação e análise das possíveis situações de emergência;

II - procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem;

III - procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação;

IV - estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

Parágrafo único. O PAE deve estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de defesa civil.

Seção III

Do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)

Art. 13. É instituído o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), para registro informatizado das condições de segurança de barragens em todo o território nacional.

Parágrafo único. O SNISB compreenderá um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de suas informações, devendo contemplar barragens em construção, em operação e desativadas.

Art. 14. São princípios básicos para o funcionamento do SNISB:

- I - descentralização da obtenção e produção de dados e informações;
- II - coordenação unificada do sistema;
- III - acesso a dados e informações garantido a toda a sociedade.

Seção IV

Da Educação e da Comunicação

Art. 15. A PNSB deverá estabelecer programa de educação e de comunicação sobre segurança de barragem, com o objetivo de conscientizar a sociedade da importância da segurança de barragens, o qual contemplará as seguintes medidas:

- I - apoio e promoção de ações descentralizadas para conscientização e desenvolvimento de conhecimento sobre segurança de barragens;
- II - elaboração de material didático;

III - manutenção de sistema de divulgação sobre a segurança das barragens sob sua jurisdição;

IV - promoção de parcerias com instituições de ensino, pesquisa e associações técnicas relacionadas à engenharia de barragens e áreas afins;

V - disponibilização anual do Relatório de Segurança de Barragens.

CAPÍTULO V DAS COMPETÊNCIAS

Art. 16. O órgão fiscalizador, no âmbito de suas atribuições legais, é obrigado a:

I - manter cadastro das barragens sob sua jurisdição, com identificação dos empreendedores, para fins de incorporação ao SNISB;

II - exigir do empreendedor a anotação de responsabilidade técnica, por profissional habilitado pelo Sistema Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (Confea) / Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia (Crea), dos estudos, planos, projetos, construção, fiscalização e demais relatórios citados nesta Lei;

III - exigir do empreendedor o cumprimento das recomendações contidas nos relatórios de inspeção e revisão periódica de segurança;

IV - articular-se com outros órgãos envolvidos com a implantação e a operação de barragens no âmbito da bacia hidrográfica;

V - exigir do empreendedor o cadastramento e a atualização das informações relativas à barragem no SNISB.

§ 1º O órgão fiscalizador deverá informar imediatamente à Agência Nacional de Águas (ANA) e ao Sistema Nacional de Defesa Civil (Sindec) qualquer não conformidade que implique risco imediato à segurança ou qualquer acidente ocorrido nas barragens sob sua jurisdição.

§ 2º O órgão fiscalizador deverá implantar o cadastro das barragens a que alude o inciso I no prazo máximo de 2 (dois) anos, a partir da data de publicação desta Lei.

Art. 17. O empreendedor da barragem obriga-se a:

I - prover os recursos necessários à garantia da segurança da barragem;

II - providenciar, para novos empreendimentos, a elaboração do projeto final como construído;

III - organizar e manter em bom estado de conservação as informações e a documentação referentes ao projeto, à construção, à operação, à manutenção, à segurança e, quando couber, à desativação da barragem;

IV - informar ao respectivo órgão fiscalizador qualquer alteração que possa acarretar redução da capacidade de descarga da barragem ou que possa comprometer a sua segurança;

V - manter serviço especializado em segurança de barragem, conforme estabelecido no Plano de Segurança da Barragem;

VI - permitir o acesso irrestrito do órgão fiscalizador e dos órgãos integrantes do Sindec ao local da barragem e à sua documentação de segurança;

VII - providenciar a elaboração e a atualização do Plano de Segurança da Barragem, observadas as recomendações das inspeções e as revisões periódicas de segurança;

VIII - realizar as inspeções de segurança previstas no art. 9º desta Lei;

IX - elaborar as revisões periódicas de segurança;

X - elaborar o PAE, quando exigido;

XI - manter registros dos níveis dos reservatórios, com a respectiva correspondência em volume armazenado, bem como das características químicas e físicas do fluido armazenado, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;

XII - manter registros dos níveis de contaminação do solo e do lençol freático na área de influência do reservatório, conforme estabelecido pelo órgão fiscalizador;

XIII - cadastrar e manter atualizadas as informações relativas à barragem no SNISB.

Parágrafo único. Para reservatórios de aproveitamento hidrelétrico, a alteração de que trata o inciso IV também deverá ser informada ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

CAPÍTULO VI

DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 18. A barragem que não atender aos requisitos de segurança nos termos da legislação pertinente deverá ser recuperada ou desativada pelo seu empreendedor, que deverá comunicar ao órgão fiscalizador as providências adotadas.

§ 1º A recuperação ou a desativação da barragem deverá ser objeto de projeto específico.

§ 2º Na eventualidade de omissão ou inação do empreendedor, o órgão fiscalizador poderá tomar medidas com vistas à minimização de riscos e de danos potenciais associados à segurança da barragem, devendo os custos dessa ação ser ressarcidos pelo empreendedor.

Art. 19. Os empreendedores de barragens enquadradas no parágrafo único do art.

1o terão prazo de 2 (dois) anos, contado a partir da publicação desta Lei, para submeter à aprovação dos órgãos fiscalizadores o relatório especificando as ações e o cronograma para a implantação do Plano de Segurança da Barragem.

Parágrafo único. Após o recebimento do relatório de que trata o caput, os órgãos fiscalizadores terão prazo de até 1 (um) ano para se pronunciarem.

Art. 20. O art. 35 da Lei 9433, de 8 de janeiro de 1997, passa a vigorar acrescido dos seguintes incisos XI, XII e XIII:

“Art. 35.

.....

XI - zelar pela implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB);

XII - estabelecer diretrizes para implementação da PNSB, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);

XIII - apreciar o Relatório de Segurança de Barragens, fazendo, se necessário, recomendações para melhoria da segurança das obras, bem como encaminhá-lo ao Congresso Nacional.” (NR)

Art. 21. O caput do art. 4o da Lei 9984, de 17 de julho de 2000, passa a vigorar acrescido dos seguintes incisos XX, XXI e XXII:

“Art. 4o

.....

XX - organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);

XXI - promover a articulação entre os órgãos fiscalizadores de barragens;

XXII - coordenar a elaboração do Relatório de Segurança de Barragens e encaminhá-lo, anualmente, ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), de forma consolidada.....” (NR)

Art. 22. O descumprimento dos dispositivos desta Lei sujeita os infratores às penalidades estabelecidas na legislação pertinente.

Art. 23. Esta Lei entra em vigor na data de sua publicação.

Brasília, 20 de setembro de 2010; 189º da Independência e 122º da República.

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Mauro Barbosa da Silva

Márcio Pereira Zimmermann

José Machado

João Reis Santana Filho

Este texto não substitui o publicado no DOU de 21.9.2010

Resolução nº 742, de 17 de Outubro de 2011

Agência Nacional de Águas

Estabelece a periodicidade, qualificação da equipe responsável, conteúdo mínimo e nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares de barragem, conforme art. 9º da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010.

O DIRETOR-PRESIDENTE DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, no uso da atribuição que lhe confere o art. 63, XVII, do Regimento Interno aprovado pela Resolução nº 567, de 17 de agosto de 2009, torna público que a DIRETORIA COLEGIADA, em sua 422ª Reunião Ordinária, realizada em 17 de outubro de 2011, com fundamento no art. 9º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, e tendo em vista o que consta no Processo nº, e

Considerando que compete à ANA, no âmbito de suas atribuições, fiscalizar a segurança de barragens para as quais outorgou o direito de uso dos recursos hídricos, quando o objeto for de acumulação de água, exceto as para fins de aproveitamento hidrelétrico, conforme art. 5º, inciso I, da Lei nº 12.334, de 2010;

Considerando que a Lei nº 12.334, de 2010, em seu artigo 9º, atribuiu aos órgãos fiscalizadores a competência para definir a periodicidade, a qualificação da

equipe técnica responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento das inspeções de segurança regulares; e

Considerando o resultado da audiência pública nº 2/2011 que colheu subsídios para o aprimoramento desta resolução, resolve:

Art. 1º A periodicidade, a qualificação da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento das Inspeções de Segurança Regulares das Barragens Fiscalizadas pela ANA são aquelas definidas nesta resolução.

Art. 2º As Inspeções de Segurança Regulares de Barragem devem ser realizadas, regularmente, para avaliar as condições físicas das partes integrantes da barragem visando a identificar e monitorar anomalias que afetem potencialmente a sua segurança;

Art. 3º Para efeito desta Resolução consideram-se: I - Barragem: qualquer obstrução em um curso permanente ou temporário de água, ou talvegue, para fins de retenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas; II - Barragens Fiscalizadas pela ANA: barragens situadas em rio de domínio da União, exceto aquelas destinadas à disposição de resíduos industriais ou rejeitos de mineração ou cujo uso preponderante seja a geração hidrelétrica;

III - Empreendedor: agente privado ou governamental com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade;

IV - Inspeção de Segurança Especial de Barragem: inspeção realizada com fim específico de verificar uma anomalia considerada grave;

V - Dano Potencial: dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, conforme definição do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH;

VI - Risco: probabilidade da ocorrência de um acidente, conforme definição do CNRH;

VII - Anomalia: qualquer deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa vir a afetar a segurança da barragem, tanto a curto como a longo prazo;

VIII - Magnitude: tamanho ou amplitude da anomalia;

IX - Nível de Perigo: gradação do perigo à barragem decorrente da identificação de determinada anomalia;

X - Equipe de Segurança da Barragem: conjunto de profissionais responsáveis pelas ações de segurança da barragem, podendo ser composta por profissionais do próprio empreendedor ou contratada especificamente para este fim;

XI - Ciclo de Inspeções: período de realização das Inspeções de Segurança Regulares;

XII - Primeiro Ciclo de Inspeções: Ciclo de Inspeções compreendido entre 01 de outubro e 31 de março do ano subsequente;

XIII - Segundo Ciclo de Inspeções: Ciclo de Inspeções compreendido entre 01 de abril e 30 setembro do mesmo ano;

XIV - Plano de Segurança de Barragem: instrumento da Política Nacional de Segurança de Barragens previsto na art. 6º, II, da Lei 12.334, de 2010.

Capítulo I DA PERIODICIDADE

Art. 4º As Inspeções de Segurança Regulares de Barragem terão periodicidade definida em função da classificação realizada pela ANA em termos de categoria de risco e dano potencial das barragens e deverão ser realizadas pelo Empreendedor

durante os Ciclos de Inspeções, conforme periodicidades mínimas a seguir: I - Periodicidade semestral:

a) Barragens classificadas como de dano potencial alto, independente do risco;
e

b) Barragens classificadas como de dano potencial médio e risco alto;

II - Periodicidade anual:

a) Barragens classificadas como de dano potencial médio e risco médio;

b) Barragens classificadas como de dano potencial médio e risco baixo;

c) Barragens classificadas como de dano potencial baixo e risco alto; e

d) Barragens classificadas como de dano potencial baixo e risco médio.

III - Periodicidade bianual:

a) Barragens classificadas como de dano potencial baixo e risco baixo. § 1º A ANA poderá, mediante ato devidamente motivado, exigir Inspeções de Segurança Regulares complementares às definidas neste artigo sempre que houver razões que o justifiquem.

§ 2º As Inspeções de Segurança Regulares subsequentes cuja periodicidade de realização seja anual ou bianual deverão ser executadas em Ciclos de Inspeções distintos.

Capítulo II

DO CONTEÚDO MÍNIMO E DETALHAMENTO

Art. 5º As Inspeções de Segurança Regulares de Barragem terão como produtos finais a Ficha de Inspeção preenchida, o Relatório de Inspeção Regular e o extrato da Inspeção de Segurança Regular de Barragem.

Art. 6º A Ficha de Inspeção terá seu modelo definido pelo Empreendedor e deverá abranger todos os componentes e estruturas associadas à barragem.

Art. 7º Os Relatórios de Inspeção de Segurança Regular de Barragem deverão conter:

I - identificação do representante legal do Empreendedor;

II - identificação do responsável técnico pela segurança da barragem;

III - avaliação das anomalias encontradas e registradas, identificando possível mau funcionamento e indícios de deterioração ou defeito de construção;

IV - relatório fotográfico contendo, pelo menos, as anomalias classificadas como de magnitude média e grande;

V - reclassificação, quando necessário, quanto a magnitude e nível de perigo de cada anomalia identificada na ficha de inspeção;

VI - comparação com os resultados da Inspeção de Segurança Regular anterior;

VII - avaliação do resultado de inspeção e revisão dos registros de instrumentação disponíveis, indicando a necessidade de manutenção, pequenos reparos ou de inspeções regulares e especiais, recomendando os serviços necessários;

VIII - classificação do nível de perigo da barragem, de acordo com definições a seguir:

a) Normal: quando não foram encontradas anomalias ou as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem, mas devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo;

b) Atenção: quando as anomalias encontradas não comprometem a segurança da barragem a curto prazo, mas devem ser controladas, monitoradas ou reparadas ao longo do tempo;

c) Alerta: quando as anomalias encontradas representam risco à segurança da barragem, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema; e

d) Emergência: quando as anomalias encontradas representam risco de ruptura iminente, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos materiais e a humanos decorrentes de uma eventual ruptura da barragem.

IX - ciente do representante legal do empreendedor.

Parágrafo único. O Relatório de Inspeção Regular deverá ser acompanhado da respectiva anotação de responsabilidade técnica do profissional que o elaborou.

Art. 8º O Relatório de Inspeção Regular deverá estar anexado ao Plano de Segurança da Barragem em até 60 (sessenta) dias após a data da inspeção.

Art. 9º O extrato da Inspeção de Segurança Regular deverá ser preenchido diretamente no sítio eletrônico da ANA na internet, em função do nível de perigo da barragem, nos seguintes prazos:

I - Normal e Atenção:

a) até 31 de maio de cada ano, para as inspeções realizadas durante o Primeiro Ciclo de Inspeções; e

b) até 30 de novembro de cada ano, para as inspeções realizadas durante o Segundo Ciclo de Inspeções.

II - Alerta: em até 15 dias após a realização da inspeção; e

III - Emergência: em até 1 dia após a realização da inspeção.

Capítulo III DA QUALIFICAÇÃO DA EQUIPE RESPONSÁVEL

Art. 10. A Inspeção de Segurança Regular de Barragem deverá ser efetuada pela Equipe de Segurança da Barragem, composta por profissionais treinados e capacitados.

Parágrafo único. Os Relatórios de Inspeção de Segurança Regular de Barragem e respectivos extratos deverão ser elaborados por equipe ou profissional com registro no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CREA, cujas atribuições profissionais para projeto, construção, operação ou manutenção de barragens de terra ou de concreto sejam compatíveis com as definidas pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CONFEA.

Capítulo IV DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 11. O não cumprimento do disposto nesta Resolução sujeitará o infrator às penalidades previstas no artigo 50 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

Art. 12. Enquanto o CNRH não expedir resolução definindo critérios gerais de risco e dano potencial associado, todas as Barragens Fiscalizadas pela ANA terão periodicidade mínima de realização de Inspeção de Segurança Regular definidas de acordo com o nível de perigo da primeira inspeção, conforme a seguir: I - Normal e Atenção: periodicidade anual; e

II - Alerta e Emergência: conforme recomendação do responsável técnico pela inspeção, e periodicidade mínima semestral.

Parágrafo único. Após a classificação das barragens pela ANA quanto ao risco e dano potencial associado, a periodicidade das Inspeções de Segurança Regulares de Barragem observarão o disposto no art. 4º desta Resolução.

Art. 13. Enquanto não for regulamentado o conteúdo mínimo, a qualificação da equipe responsável e o nível de detalhamento do Plano de Segurança de Barragem, os Relatórios de Inspeção de Segurança Regular de Barragem deverão estar disponíveis no próprio local da barragem e, na inexistência de escritório no local, na regional ou sede do Empreendedor, o que for mais próximo da barragem.

Art. 14. A primeira Inspeção de Segurança Regular das Barragens Fiscalizadas pela ANA deverá ser realizada durante o Primeiro Ciclo de Inspeções de 2012, que se inicia na data de publicação desta Resolução e se encerra no dia 31 de março de 2012.

Art. 15. As Inspeções de Segurança Especial de barragem serão tratadas em resolução específica.

Art. 16. Esta Resolução entra em vigor na data de sua publicação.

RESOLUÇÃO nº 91, DE 2 DE ABRIL DE 2012

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

Estabelece a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem, conforme art. 8º, 10 e 19 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010 – a Política Nacional de Segurança de Barragens -PNSB.

O DIRETOR-PRESIDENTE DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, no uso da atribuição que lhe confere o art. 63, XVII, do Regimento Interno, aprovado pela Resolução nº 567, de 17 de agosto de 2009, torna público que a DIRETORIA COLEGIADA, em sua 439ª Reunião Ordinária, realizada em 02 de abril de 2012, com fundamentos no art. 8º, 10 e 19 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, tendo em vista o que consta nos processos nº 02501.001700/2011-67 e nº 02501.000338/2012-98, e

Considerando que compete à ANA, no âmbito de suas atribuições, fiscalizar as barragens para as quais outorgou o direito de uso dos recursos hídricos, quando o objeto for acumulação de água, exceto as para fins de aproveitamento hidrelétrico, conforme art. 5º, I, da Lei nº 12.334 de 2010;

Considerando que o Plano de Segurança da Barragem é um instrumento da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e que cabe ao empreendedor elaborá-lo;

Considerando que cabe ao órgão fiscalizador estabelecer a periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem;

Considerando que a Revisão Periódica de Segurança da Barragem é parte integrante do Plano de Segurança da Barragem e que cabe ao órgão fiscalizador estabelecer a periodicidade, a qualificação técnica da equipe responsável, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento;

Considerando que os empreendedores de barragens enquadrados no parágrafo único do art.1º da Lei nº 12.334, de 2010, têm até dia 20 de setembro de 2012 para submeter à aprovação dos órgão fiscalizadores relatório especificando as ações e o cronograma para implementação do Plano de Segurança da Barragem;

Considerando o resultado da audiência pública nº 003/2011 que colheu subsídios para o aprimoramento desta Resolução, resolve:

Art. 1º A periodicidade de atualização, a qualificação do responsável e equipe técnica, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Segurança da Barragem e da Revisão Periódica de Segurança da Barragem são aqueles definidos nesta Resolução.

Art. 2º Para efeito desta Resolução consideram-se:

I – Barragem: qualquer obstrução em um curso permanente ou temporário de água, ou talvegue, para fins de retenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas;

II – Barragens Fiscalizadas pela ANA: barragens situadas em rios de domínio da União, exceto as destinadas à disposição de resíduos industriais, rejeitos de mineração e as que o uso preponderante seja a geração hidrelétrica;

III – Empreendedor: agente privado ou governamental com direito real sobre as terras onde se localizam a barragem e o reservatório ou que explore a barragem para benefício próprio ou da coletividade;

IV – Dano Potencial Associado: dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem;

V – Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado: Matriz que consta do anexo I desta Resolução, que relaciona classificação de Categoria Risco e Dano Potencial Associado, com objetivo de estabelecer a abrangência do Plano de Segurança da Barragem e periodicidade da Revisão Periódica de Segurança da Barragem;

VI – Equipe de Segurança da Barragem: conjunto de profissionais responsáveis pelas ações de segurança da barragem, podendo ser composta por profissionais do próprio empreendedor ou contratada especificamente para este fim.

TÍTULO I

DA MATRIZ DE RISCO E DANO POTENCIAL ASSOCIADO

Art. 3º As Barragens Fiscalizadas pela ANA serão classificadas de acordo com a Matriz de Categoria de Risco e o Dano Potencial Associado, constante no anexo I, nas classes A, B, C, D e E.

Parágrafo Único. A ANA poderá atualizar a classificação das barragens em decorrência da alteração de suas características ou da ocupação do vale a jusante que requeiram a revisão da categoria de Risco ou do Dano Potencial Associado à barragem.

TÍTULO II DO PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

Capítulo I DA ESTRUTURA E DO CONTEÚDO MÍNIMO

Art. 4º O Plano de Segurança da Barragem é um instrumento da Política Nacional de Segurança de Barragens, de implementação obrigatória pelo Empreendedor, cujo objetivo é auxiliá-lo na gestão da segurança da barragem.

Art. 5º O Plano de Segurança da Barragem deverá ser composto por 5 (cinco) volumes, respectivamente:

I – Volume I- Informações Gerais;

II – Volume II – Planos e Procedimentos;

III – Volume III – Registros e Controles;

IV – Volume – Plano de Ação de Emergência;

V – Volume V – Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

Parágrafo único. O conteúdo mínimo de cada volume está detalhado no anexo II.

Art. 6º A abrangência do Plano de Segurança da Barragem será definida em função da Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado, conforme art. 3º, sendo:

I – classe A: Volumes I, II, III, IV e V;

II – classe B: Volumes I, II, III, e V;

III – classe C: Volumes I, II, III, e V;

IV – classe D: Volumes I, II, III e V;

V – classe E: Volumes I, II, III e V.

Parágrafo primeiro. A extensão e detalhamento de cada volume do Plano de Segurança da Barragem deverá ser proporcional à complexidade da barragem e suficiente para garantir as condições adequadas de segurança.

Parágrafo segundo. A ANA poderá determinar a elaboração do Volume IV – Plano de Ação de Emergência, sempre que considerar necessário, independente da classe da barragem.

Capítulo II

DA ELABORAÇÃO E ATUALIZAÇÃO DO PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

Art. 7º O Plano de Segurança da Barragem deverá ser elaborado até o início da operação da barragem, a partir de quando deverá estar disponível para utilização pela Equipe de Segurança de Barragem.

Parágrafo único. O Plano de Segurança da Barragem deverá estar disponível no próprio local da barragem e, na inexistência de escritório no local, na regional ou sede do empreendedor, o que for mais próximo da barragem, bem como na sede do Empreendedor.

Art. 8º À medida que ocorrerem as atividades de operação, monitoramento, manutenção, bem como das inspeções regulares e especiais, os respectivos registros devem ser inseridos no Volume III do Plano de Segurança da Barragem.

Art. 9º O Plano de Segurança da Barragem deverá ser atualizado em decorrência das inspeções regulares e especiais e das Revisões Periódicas de Segurança da Barragem, incorporando suas exigências e recomendações.

Parágrafo único. Todas as atualizações a que se refere o caput deverão ser anotadas e assinadas em folha de controle de alterações, que deverá fazer parte dos volumes respectivos.

Capítulo III

DA QUALIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

Art. 10. O responsável técnico pela elaboração do Plano de Segurança de Barragem deverá ter registro no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA, com atribuições profissionais para projeto ou construção ou operação ou manutenção de barragens, compatíveis com as definidas pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CONFEA.

TÍTULO III

DA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

Capítulo I

DA ESTRUTURA E DO CONTEÚDO MÍNIMO

Art. 11. A Revisão Periódica de Segurança de Barragem, parte integrante do Plano de Segurança da Barragem, tem por objetivo verificar o estado geral de segurança da barragem, considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, a atualização dos dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante da barragem.

Art.12. A Revisão Periódica de Segurança de Barragem deverá indicar as ações a serem adotadas pelo Empreendedor para a manutenção da segurança, compreendendo, para tanto:

I – o exame de toda a documentação da barragem, em particular dos relatórios de inspeção;

II – o exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;

III – a análise comparativa do desempenho da barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente.

Parágrafo único. O conteúdo mínimo da Revisão Periódica de Segurança de Barragem está detalhado no Anexo II.

Art. 13. O produto final da Revisão Periódica de Segurança de Barragem será um relatório que corresponde ao Volume V do Plano de Segurança da Barragem, e deverá indicar a necessidade, quando cabível, de:

I – elaboração ou alteração dos planos de operação, manutenção, instrumentação, testes ou inspeções;

II – dispositivos complementares de descarga;

III – implantação, incremento ou melhoria nos dispositivos e frequências de instrumentação e monitoramento;

IV – obras ou reformas para garantia da estabilidade estrutural da barragem; e

V – outros aspectos relevantes indicados pelo responsável técnico pelo documento.

Parágrafo único. O Resumo Executivo da Revisão Periódica de Segurança da Barragem deverá ser enviado à ANA em até 60 dias após a elaboração do relatório a que se refere o caput, juntamente com uma declaração de ciência do representante legal do Empreendedor quanto ao conteúdo do documento.

Capítulo II

DA PERIODICIDADE DA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM

Art. 14. A periodicidade mínima da Revisão Periódica de Segurança de Barragem é definida em função da Matriz de Categoria de Risco e Dano Potencial Associado constante do anexo I, sendo:

I – classe A: a cada 5 (cinco) anos;

II – classe B: a cada 5 (cinco) anos;

III – classe C: a cada 7 (sete) anos;

IV – classe D a cada 10 (dez) anos;

V – classe E: a cada 10 (dez) anos.

Capítulo III

DA QUALIFICAÇÃO DA EQUIPE TÉCNICA RESPONSÁVEL PELA REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA DE BARRAGEM

Art. 15. A Revisão Periódica de Segurança de Barragem deverá ser realizada por equipe multidisciplinar, com competência nas diversas disciplinas que envolvam a segurança da barragem em estudo.

Parágrafo primeiro. A equipe a que se refere o caput deverá ser externa ao Empreendedor, contratada para este fim.

Parágrafo segundo. O responsável técnico pela Revisão Periódica de Segurança da Barragem deverá ter registro no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CREA, com atribuições profissionais para projeto ou construção ou operação ou manutenção de barragens de terra ou de concreto, compatíveis com as definidas pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – CONFEA.

TÍTULO IV DISPOSIÇÕES FINAIS E TRANSITÓRIAS

Art. 16. Para atendimento dos requisitos do art.19 da Lei nº 12.334, de 2010, os Empreendedores deverão apresentar para a ANA, até 20 de setembro de 2012, o Relatório de Implantação do Plano de Segurança da Barragem, contendo:

I – Formulário constante do anexo IV preenchido;

II – cronograma de implantação do Plano de Segurança da Barragem, respeitando os prazos para realização da Revisão Periódica de Segurança de Barragem.

Parágrafo primeiro. O cronograma deverá ter como data inicial 1º de outubro de 2012.

Parágrafo segundo. O Relatório de Implantação do Plano de Segurança da Barragem deverá ser enviado à ANA por via postal ou preenchido diretamente no endereço eletrônico da ANA na internet por meio de formulário eletrônico a ser disponibilizado a partir de 2 de maio de 2012.

Parágrafo terceiro. Durante a avaliação do Relatório de Implantação do Plano de Segurança da Barragem, a ANA poderá requerer do Empreendedor alteração da sequência de realização das revisões de segurança das barragens, em função da Categoria de Risco e do Dano Potencial Associado.

Parágrafo quarto. Após o recebimento dos relatórios de que trata o caput, a ANA se manifestará em até um 01 (um) ano sobre seus conteúdos.

Art. 17. No período compreendido entre 20 de setembro de 2012 e o prazo final aprovado pela ANA para sua conclusão, o Plano de Segurança das Barragens construídas até aquela data deverá ser composto, no mínimo:

I – do formulário a que se refere o anexo IV a esta resolução, preenchido; e

II – dos registros que compõem o Volume III do Plano de Segurança da Barragens, conforme o Art.8º desta Resolução.

Art. 18. O prazo limite para realização das revisões periódicas de segurança das barragens cuja operação tenha iniciado até 20 de setembro de 2012 será função do número de barragens do Empreendedor e deverá respeitar os prazos totais e intermediários definidos no anexo III.

Parágrafo primeiro. Para fins de contabilização do número de barragens por Empreendedor considerar-se-á todas as suas barragens, independente do tipo, porte e domínio do corpo d'água barrado.

Parágrafo segundo. A sequência proposta de realização das revisões periódicas de segurança das barragens para os empreendedores que possuam mais de uma barragem deverá ser determinada em ordem decrescente de volume dos respectivos reservatórios.

Parágrafo terceiro. A elaboração do Plano de Segurança da Barragem deverá ser concluída em até um ano após a primeira Revisão Periódica de Segurança de Barragem, a que se refere o caput.

Art. 19. A periodicidade de atualização, a qualificação do responsável técnico, o conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência serão tratados em resolução específica.

Art. 20. O não cumprimento do disposto nesta Resolução sujeitará o infrator às penalidades previstas no artigo 50 da Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997.

Art. 21. Esta resolução entra em vigor na data de sua publicação.

O inteiro teor da Resolução e seus anexos I, II, III e IV, bem como as demais informações pertinentes estarão disponíveis no site [www. ana. gov. br](http://www.ana.gov.br)

Figura 1 – Matriz de categoria de risco e dano potencial associado. (ANEXO I)

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

Figura 2 – Estrutura e conteúdo mínimo do Plano de Segurança de Barragem.
(ANEXO II)

VOLUMES	CONTEUDO MÍNIMO	OBSERVAÇÕES
Volume I – Tomo I Informações Gerais e Declaração de Classificação da Barragem quanto ao Risco e Dano Potencial	1. Identificação do Empreendedor 2. Caracterização do empreendimento; 3. Características técnicas do Projeto e da Construção; 4. Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes; 5. Estrutura organizacional, contatos dos responsáveis e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem. 6. Quando for o caso, indicação da entidade responsável pela regra operacional do reservatório. 7. Declaração da classificação da barragem quanto à categoria de risco e dano potencial; 8. Formulário constante do Anexo IV preenchido	
Volume I – Tomo 2 Documentação técnica do Empreendimento	1. Projetos (básico e/ou executivo) 2. <i>Projeto como construído (As built);</i> 3. Manuais dos Equipamentos; 4. Licenças ambientais, outorgas e demais requerimentos legais.	
Volume II Planos e Procedimentos	1. Plano de operação, incluindo, mas não se limitando, à a. regra operacional dos dispositivos de descarga; b. procedimentos para atendimento às regras operacionais definidas pelo Empreendedor ou por entidade responsável, quando for o caso. 2. Planejamento das manutenções; 3. Plano de monitoramento e instrumentação; 4. Planejamento das inspeções de segurança da barragem; e 5. Cronograma de testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos.	i. Para barragens Classe D e E, somente o item 1 será obrigatório para o Volume II. ii. A frequência mínima de inspeções de segurança regulares de barragens é definida em regulamento específico emitido pela ANA e deverá estar contemplada no Plano de Segurança da Barragem.
Volume III Registros e Controles	1. Registros de Operação; 2. Registros da Manutenção; 3. Registros de Monitoramento e Instrumentação; 4. Fichas e relatórios de Inspeções de Segurança de Barragens; e 5. Registros dos testes de equipamentos hidráulicos, elétricos e mecânicos.	O conteúdo mínimo e o nível de detalhamento dos relatórios de inspeções de segurança regulares de barragens são definidos em regulamento específico emitido pela ANA e deverão estar contemplados no Plano de Segurança da Barragem
Volume IV Plano de Ação de Emergência- PAE		O conteúdo mínimo e o nível de detalhamento do Plano de Ação de Emergência serão tratados em regulamento específico.
Volume V Tomo I Revisão Periódica de Segurança da Barragem	1. Resultado de inspeção detalhada e adequada do local da barragem e de suas estruturas associadas; 2. Reavaliação do projeto existente, de acordo com os critérios de projeto aplicáveis à época da revisão. 3. Reavaliação da categoria de risco e dano potencial associado;	2. A reavaliação do projeto existente deve englobar, dentre os elementos dispostos abaixo, aqueles que possam ter sofrido alteração desde a revisão periódica anterior, em virtude de alterações de critérios de projeto, de atualização de séries hidrológicas, do resultado da inspeção detalhada ou da ocorrência de eventos

	4. Atualização das séries e estudos hidrológicos e confrontação desses estudos com a capacidade dos dispositivos de descarga existentes. 5. Reavaliação dos procedimentos de operação, manutenção, testes, instrumentação e monitoramento; 6. Reavaliação do Plano de Ação de Emergência-PAE, quando for o caso; 7. Revisão dos relatórios das revisões periódicas de segurança de barragem de anteriores; 8. Relatório Final do estudo.	extremos: i.Registros de construção, para determinar se a barragem foi construída em conformidade com as hipóteses de projeto e verificar a adequabilidade da sua estrutura e dos materiais de fundação. ii.Avaliação da estabilidade e adequação estrutural, resistência à percolação e erosão de todas as partes dos barramentos, incluindo-se suas fundações, bem como quaisquer barreiras naturais sob condições de carregamentos, normais e extremos; iii.Avaliação da capacidade de todos os canais e condutos hidráulicos para descarregar seguramente as vazões de projeto e a adequação desses condutos hidráulicos para suportar a vazão afluyente de projeto e de esvaziamento do reservatório, caso necessário, em condições emergenciais; iv.Verificação do projeto de todas as comportas, válvulas, dispositivos de acionamento e controle de fluxo, incluindo-se os controles de fornecimento de energia ou de fluidos hidráulicos para assegurar a operação segura e confiável. v.Avaliação do comportamento da barragem frente a eventos extremos (sismos e cheias), considerando os eventos ocorridos a partir da construção da barragem vi.Verificação da adequação das instalações para enfrentar fenômenos especiais que afetem a segurança, por exemplo, entulhos ou erosão, que podem ter sido insuficientemente avaliados na fase de projeto.
Volume V Tomo 2 Resumo Executivo	1. Identificação da barragem e empreendedor; 2. Identificação do autor do trabalho; 3. Período de realização do trabalho; 4. Listagem dos estudos realizados; 5. Conclusões; 6. Recomendações; 7. Plano de ação de melhoria e cronograma de implantação das ações indicadas no trabalho.	

Figura 3 – Cronograma com datas limite de realização da Revisão Periódica de

Segurança de Barragem. (ANEXO III)

Nº DE BARRAGENS POR EMPREENDEDOR	PRAZOS PARA ELABORAÇÃO DAS REVISÕES PERIÓDICAS DE SEGURANÇA DE BARRAGEM (contados a partir de 20 de setembro de 2012)	
	PRAZOS INTERMEDIÁRIOS	PRAZO LIMITE
1 barragem	-	1 ano
2 barragens	-	2 anos
3 a 5 barragens	3 barragens em até 2 anos	5 anos
6 a 10	4 barragens em até 3 anos	7 anos
11 a 20	6 barragens em até 3 anos	10 anos
Mais que 20	7 barragens em até 4 anos	12 anos

Figura 4 – Formulário técnico da barragem. (ANEXO IV)

I. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR	
Empreendedor nome:	
Empreendedor CPF/CNPJ:	
Figura Jurídica:	
☐ Pessoa Física	
☐ Empresa Privada	
☐ Empresa Pública	
☐ Sociedade de economia	
☐ Autarquia	
☐ Administração direta	
☐ Outros: _____	
Endereço:	
Telefone:	E-mail:
Quantidade total de barragens de propriedade do empreendedor (independente do tipo, porte e domínio do corpo d'água barrado):	
II. RESPONSÁVEL LEGAL:	
Nome:	
Cargo:	
Telefone:	E-mail:
III. IDENTIFICAÇÃO DA BARRAGEM	
Nome do barramento ou aproveitamento objeto do Relatório:	
Latitude:	Município:
Longitude:	UF:
Datum:	
Curso d'água barrado:	
Ano de conclusão da obra:	
Construtor:	

IV. DOCUMENTAÇÃO DE PROJETO, CONSTRUÇÃO E OPERAÇÃO		
Tem Relatório de Estudos Hidrológicos?	☐ Sim	☐ Não
Tem Relatório de Projeto do dimensionamento hidráulico?	☐ Sim	☐ Não
Tem Relatório do Projeto Estrutural?	☐ Sim	☐ Não
Tem Relatório de Como Construído (<i>as built</i>) ?	☐ Sim	☐ Não
Tem curva cota x área x volume?	☐ Sim	☐ Não
Tem manuais de instrução dos equipamentos hidromecânicos?	☐ Sim	☐ Não
Tem manuais de procedimentos de operação?	☐ Sim	☐ Não
Tem manuais de procedimentos de manutenção?	☐ Sim	☐ Não
Há regra de operação do reservatório estabelecida?	☐ Sim	☐ Não
Há procedimento escrito de teste das comportas do vertedouro?	☐ Sim	☐ Não
Há procedimento escrito de teste das comportas da tomada d'água?	☐ Sim	☐ Não

V. USOS DA BARRAGEM		
☐ Regularização de vazões	☐ Navegação	
☐ Combate às secas	☐ Contenção de Rejeitos	
☐ Defesa contra inundações	☐ Recreação	
☐ Hidrelétrica	☐ Abastecimento de água	
☐ Irrigação	☐ Piscicultura	
☐ Proteção do meio ambiente	☐ Outros: _____	
Tem geração de energia?	☐ Sim	☐ Não
Potência instalada (MW):	_____ (MW)	

VI. DADOS TÉCNICOS DA BARRAGEM	
Altura do maciço principal (m):	Largura do coroamento (m):
Extensão do coroamento da barragem principal (m):	Cota do coroamento da barragem principal: (m)
Capacidade do reservatório (hm³):	
Tipo da Barragem Principal:	
☐ Concreto	☐ Terra
☐ Barragem de Concreto Ciclóptico	☐ Aterro Barragem
☐ Barragem de Concreto Compactado a Rolo	☐ Barragem de Enrocamento
☐ Barragem Vertedoura	☐ Barragem de Terra/Enrocamento
☐ Barragem de Gravidade Vertedoura	☐ Barragem de Terra Homogênea
☐ Barragem Submersível	☐ Barragem de Terra Zoneada
☐ Alvenaria	☐ Outro: _____
Condições de fundação:	
☐ Rocha Sã	☐ Solo Argiloso
☐ Rocha Alterada	☐ Solo Argiloso Tratado
☐ Solo Residual	☐ Solo Permeável
☐ Outro:	☐ Aluvião
Estrutura extravasora principal:	
Vertedouro (sangradouro) – Tipo:	
Vertedouro (sangradouro) com controle:	☐ Sim ☐ Não
Vertedouro (sangradouro) com controle – número de comportas:	
Tipo de Acionamento das comportas:	☐ Manual ☐ Automático
Largura total do vertedouro (sangradouro) - (m):	
Vazão de projeto do vertedouro (sangradouro) - (m³/s):	
Tempo de retorno da vazão de projeto do vertedouro (sangradouro) - (anos):	
Cota do nível d'água máximo maximorum - (m):	Cota da soleira do vertedouro (sangradouro) – (m):

Estruturas extravasoras complementares:		
Tem vertedouro (sangradouro) auxiliar	☐ Sim	☐ Não
Tipo de vertedouro (sangradouro) Auxiliar:		
Há descarregador de fundo	☐ Sim	☐ Não
Descarregador de fundo - tipo:		
Descarregador de fundo – diâmetro:		
Descarregador de fundo com acionamento automático	☐ Sim	☐ Não
Descarregador de fundo com possibilidade de acionamento manual	☐ Sim	☐ Não
Vazão de projeto do vertedouro (sangradouro) complementar - (m^3/s):		
Tempo de retorno da vazão de projeto do vertedouro (sangradouro) complementar - (anos):		

Tomada d'água – tipo:		
Tomada d'água – diâmetro (m):		
Tomada d'água com acionamento automático das comportas	☐ Sim	☐ Não
Tomada d'água com possibilidade de acionamento manual das comportas	☐ Sim	☐ Não

Tomada d'água

Sistema de Drenagem:

☐ Filtração moderna
☐ Drenos horizontais e verticais
☐ Aterro homogêneo resistente ao piping
☐ Poços de alívio
☐ Drenos de pé
☐ Sem controle de drenagem interna
☐ outro, descrever:
☐ Meio fio e drenagem de superfície

VII. GESTÃO DA SEGURANÇA DA BARRAGEM			
Tem equipe Técnica de Segurança de Barragens constituída:		☐ Sim	☐ Não
Responsável Técnico – Nome/CREA N°:			
Qualificação profissional da Equipe Técnica de Segurança de Barragens (Escolaridade/Formação de cada integrante):			
Nome do Integrante:		Escolaridade/Formação:	
Instrumentação:		☐ Sim	☐ Não
☐ Piezômetros	☐ Medidor de Junta		
☐ Inclínômetros	☐ Extensômetro de Fundação		
☐ Medidor de Vazão	☐ outros, descrever:		
Frequência de leitura da instrumentação:			
☐ Diária		☐ Mensal	
☐ Semanal		☐ Automática com transmissão	
☐ Outros:		☐ Sem leitura	
Manutenção			
Material para manutenção disponível:		☐ Sim	☐ Não
Serviços de manutenção	☐ Próprio	☐ Terceirizado	☐ Não dispõe
Tipo de Manutenção realizada:	☐ Preventiva	☐ Corretiva	
	☐ Preditiva	☐ Não realiza manutenção	
Inspeções:			
Frequência de inspeções regulares:	☐ Trimestral	☐ Semestral	☐ Outros:
	☐ Anual	☐ Bianual	
Data da última inspeção especial: : _____ ☐ Nunca realizada			
Revisão Periódica de Segurança:			

Data da revisão mais recente: ☐ _____ ☐ Nunca realizada		
Plano de Ação de Emergência		
Tem plano de ação de emergência (PAE) ou de contingência (data da última atualização)?	☐ Sim Data: ____/____/____	☐ Não
Se sim, indicar nome e telefone da primeira pessoa, externa ao empreendedor, a ser informada em caso de emergência:		
Nome: _____		
Instituição: _____		
Telefone: _____		

VIII. INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES		
Tem vigia:	☐ Sim	☐ Não
Tem operador (24 horas):	☐ Sim	☐ Não
Tem equipe fixa de operação da barragem ou equipe volante:	☐ Sim	☐ Não
Possui escritório no local da barragem:	☐ Sim	☐ Não
Possui edificação de apoio no local da barragem (área construída):	☐ Sim	☐ Não
Tem monitoramento de níveis d'água – Tipo: _____	☐ Sim Tipo: _____	☐ Não
Há histórico de acidente anterior?	☐ Sim	☐ Não
Quando? _____		
Ano da última reforma/reconstrução: _____		
Distância a jusante de unidades habitacionais e equipamentos urbanos e comunitários (km): _____		
Tipo de edificações, equipamentos urbanos e estruturas em até 25 km a jusante da barragem:		
☐ Habitações	☐ áreas agrícolas	
☐ Escolas	☐ edifícios públicos	
☐ Hospitais	☐ rodovias estaduais	
☐ Indústrias	☐ rodovias federais	
☐ Outro barramento. Nome: _____	☐ Ponte	
☐	☐	
☐	☐	

Outras informações:

Figura 5 – Cronograma de implantação do Plano de Segurança de Barragem.
(ANEXO V)

	Data do Início	Data do Final
Barragem [nome da Barragem]		
Volume V - Revisão Periódica		
Demais volumes do Plano		

INSTRUÇÕES:

- O cronograma deverá ter como início a data de outubro de 2012;
- O cronograma deve respeitar as metas estabelecidas no anexo III da resolução;
- Caso o empreendedor tenha mais de uma barragem, a sequencia de realização das revisões periódicas das barragens deverá obedecer à ordem decrescente de volume dos respectivos reservatórios.

Imóvel: bordas do reservatório da UHE de Jupia

Propriedade: JP - TD - 002

Ocupante: Associação dos funcionários públicos municipais de Itapura

Município: Itapura

Data de inspeção: 06/06/2012

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO AMBIENTAL E PATRIMONIAL - RIAP

RIAP 2475/05/2009

DATA 06/06/2009

PAG. 01

1 - Objetivo da Inspeção

Verificar Ocupação do Imóvel em Atenção a Solicitação da API

2 - Identificação do Imóvel

<u>Denominação:</u> ☐ Ilha ☐ Área Remanescente ☒ Borda do Reservatório		<u>Reservatório:</u> UHE JUPIÁ	
<u>Margem:</u> ☒ Direita ☐ Esquerda	<u>Rio:</u> TIETE	<u>Município:</u> ITAPURA	<u>UF:</u> SP
<u>Propriedade:</u> JP- TD - 002		<u>Cadastro:</u> TD - 002	
<u>Total Área:</u> 560,00 ☒ Urbano (m ²) ☐ Rural (ha)		<u>Condição:</u> ☒ Ocupada ☐ Desocupada	<u>Total Construído:</u> 560,00 m² 145,00 m

3 - Confrontante

Associação dos Funcionários Públicos Municipais de Itapura

4 - Ocupação do Imóvel (Pessoa Jurídica)

Associação dos funcionários Públicos Municipais de Itapura

<u>CNPJ</u> 557.58197/0001-14		<u>Insc. Estadual</u> Isento	
<u>Endereço:</u> Rua Sete de Setembro nº 325			
<u>Bairro:</u> Centro	<u>Cidade:</u> Itapura	<u>UF:</u> SP	<u>CEP:</u> 15.390-000
<u>Telefone Comercial:</u> (18) 3745 1350			
<u>Pessoa p/ Contato:</u> Cicero Rodrigues de Souza Filho		<u>Cargo:</u> Presidente	
<u>Finalidade:</u> Lazer	<u>Expropriado?</u> ☐ Sim ☒ Não	<u>Confrontante?</u> ☒ Sim ☐ Não	<u>Interesse na Concessão?</u> ☒ Sim ☐ Não
<u>Possui Sócio?</u> ☐ Sim ☐ Não	<u>Quantos?</u>	<u>Embargado?</u> ☒ Sim ☐ Não	<u>N.º da Notificação:</u> 062/2007 e 006/2009

Observações:

Nesta inspeção verificamos que além das interferências cadastradas nas inspeções anteriores a Associação construiu uma nova interferência, conforme cadastro e notificação anexa, devido o exposto houve também alteração da área construída e ocupada.

RELATÓRIO DE INSPEÇÃO AMBIENTAL E PATRIMONIAL - RIAP

RIAP 2475/05/2009

DATA - 06/06/2009

PAG. 02

5 - Área (estimada):

☐ ha ☒ m²

Localização da Área - Coord. UTM-Datum Corr. Alegre

E.: 0.446.178

N.: 7.717.396

Borda Livre

Área (a):

Faixa entre as cotas de desapropriação 281 , 50 m e a
máx. maximorum 280 , 50 m, com 25 , 00 m de largura por
20 , 00 m de comprimento e área de 500,00 m²

Faixa de Segurança

Área (b):

Faixa entre as cotas de máx. maximorum 280 , 50 m e a do N.A
279 , 66 m no dia 06/06/2009 com 03 , 00 m largura por
20 , 00 m de comprimento= 60,00 m²

Resumo das áreas

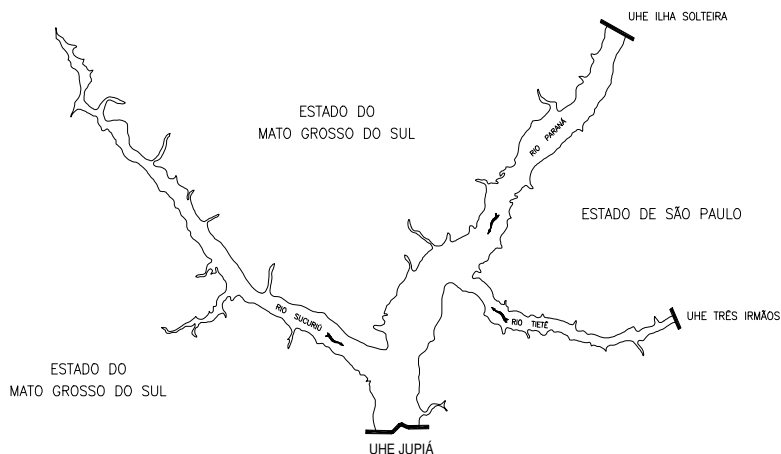
Área (a) =====>	500 , 00 m ²
Área (b) =====>	60 , 00 m ²
Total =====>	560 , 00 m ²

OBS:

6 - Acesso:

Vide inspeção anterior.

PLANTA DE SITUAÇÃO



RELATÓRIO DE INSPEÇÃO AMBIENTAL E PATRIMONIAL - RIAP

RIAP 2475/05/2009

DATA - 06/06/2009

PAG. 10

7 - Cadastro de Irregularidade

Característica:

Tipo: Cimentado concreto	Dimensões: Irregular	Área: 220,00 m²
Piso: Cimentado	Paredes:	Vigamento:
Fôrro:	Cobertura:	Revestimento:

Instalações:

☐ Hidráulica ☐ Elétrica ☐ Sanitária ☒ Não Há

Conservação:

☐ Ótima ☒ Boa ☐ Ruim ☐ Péssima

Permissível?

☐ Sim
☒ Não

Localização:

☒ Borda Livre ☐ Proteção Ambiental
☐ Faixa de Segurança ☐ Área Remanescente

Fase da Construção

☒ Concluída
☐ Em Construção

Início da Ocupação

Data: 10/05/2008

Nivelamento (cotas):

Irregularidade: 280,90 m	
Máx. Maximorum: 280,50 m	Desapropriação 281,50 m
Nível D'Água 279,66 m	Máxima Normal 280,00 m

☐ Irregularidade Acima da Cota de Desapropriação = metros lineares Faixa de Proteção Ambiental = (Remanescente)

Ilustração Fotográfica



RELATÓRIO DE INSPEÇÃO AMBIENTAL E PATRIMONIAL - RIAP

RIAP 2475/05/2009

DATA - 06/06/2009

PAG. 07

7 - Cadastro de Irregularidade

Característica:

Tipo: Salão p/ festa	Dimensões: 12,00 x 15,00	Área: 180,00 m²
Piso: Vitrificado	Paredes: Alvenaria	Vigamento: Misto
Fôro:	Cobertura: Telha de Barro	Revestimento:

Instalações:

☒ Hidráulica ☒ Elétrica ☐ Sanitária ☐ Não Há

Conservação:

☐ Ótima ☒ Boa ☐ Ruim ☐ Péssima

Permissível?

☐ Sim

☒ Não

Localização:

☒ Borda Livre

☐ Faixa de Segurança

☐ Proteção Ambiental

☐ Área Remanescente

Fase da Construção

☒ Concluída

☐ Em Construção

Início da Ocupação

Data: **10/03/1997**

Nivelamento (cotas):

Irregularidade: 281,37 m	
Máx. Maximorum: 280,50 m	Desapropriação 281,50 m
Nível D'Água 279,66 m	Máxima Normal 280,00 m

☐ Irregularidade Acima da Cota de Desapropriação = metros lineares Faixa de Proteção Ambiental =
(Remanescente)

Ilustração Fotográfica



PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

A - Plano Geral

- Dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem.

Nome da usina	UHE Três Irmãos		
Potência nominal	807,50 MW		
Bacia hidrográfica/Sub-bacia/código	BH: Rio Tietê - 6	SB:	Cód.: 62
Nome do rio	Tietê		
Estado da Federação	São Paulo		
Coordenadas geográficas	Latitude: 20 °41’	Longitude: 51 °19’	
Altura do maciço	62 m		
Capacidade total do reservatório	13.800 * 10 ⁶ m³		
Idade da barragem (anos)	39 anos (geração)		
Tipo de material utilizado na barragem	Aluvião: compreende areias de fina a média granulação. Coluvião: compreende as areias argilosas e argilas arenosas Arenito Bauru: arenito de granulação fina com cimentação de carbonato ou ferruginosa. Rocha Basáltica.		
Tipo de fundação	Rocha Basáltica		
Vazão de projeto do vertedouro/TR	9.500 m³/s/ Decamilenar		
Instrumentação usada e quantidade	03 Cadeia clinométrica 02 Extensômetro de grande base 02 Extesômetro para concreto		

	26 Extensômetro de haste 19 Medidor de vazão 57 Medidor de junta 58 Medidor triortogonal 22 Medidor de nível d'água 07 Medidor de recalque tipo USBR 07 Medidor de recalque tipo KM 04 Medidor magnético de recalque 07 Pêndulo direto 209 Piezômetro de tubo 42 Piezômetro pneumático 17 Piezômetro elétrico 28 Célula de tensão total 75 Termômetro elétrico 08 Tensômetro para concreto 04 Inclínômetro		
Equipamentos de comunicação	Telefones, emails, fax e rádios		
Plano de esvaziamento do reservatório	() Sim	(x) Não	Ver Nota
Plano de descomissionamento da barragem	() Sim	(x) Não	Ver Nota
Manual de operação da barragem	(x) Sim	() Não	Cronograma para implementação:
Manual de manutenção da barragem	(x) Sim	() Não	Cronograma para implementação:

NOTA: Planos de esvaziamento e descomissionamento enquadram – se nas recomendações do ofício nº 607/2012 – SFG/ANEEL de 16 de Agosto de 2012, endereçado à Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica – ABRAGE.

A Usina de Três Irmãos não possui descarregadores de fundo.

- Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem.

Caso positivo, explicitar a qualificação técnica de cada membro da equipe. Caso negativo, descrever ações e cronograma para sua incorporação no organograma da empresa.

(x) Sim	XXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXX XXXXXX XXXXXXXX XXXXXX	Engº Civil, gerente da Divisão Engº Civil, supervisor Engº Civil , inspetor de barragens Engº Civil , inspetor de barragens Engª Civil, inspetora de barragens Qualificações Técnicas Diversas
(x) Não	Ações e cronograma para implementação:	

B - Plano Específico

- Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem.

Casos inexistentes, descrever ações e cronograma para sua implantação.

(x) Sim	() Não	Ações e cronograma para implementação:
---------	---------	--

- Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem.

Caso aplicável, descrever a regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem. Caso inexistente, explicitar ações e cronograma para sua implantação.

Aplicável?	(x) Sim	() Não	Quatro comportas de superfície. Lei de manobra normal, obedece a seguinte sequência de abertura de comportas (passo de metro em metro) 3 , 1 , 4 , 2. Nota: Detalhes dessas manobras encontram-se no Manual de Manobras dos Órgãos de Descarga, existentes na Sede, Unidade de Produção (Usina) e Centro de Controle da Produção.
Existente?	(x) Sim	() Não	Ações e cronograma para implementação:

- Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem.

O arranjo geral da instalação: Desenho B/TI – 200 – C01 – 004 (documento anexo)

- Plano de Ação de Emergência (PAE).

Casos inexistentes, descrever ações e cronograma para sua implantação.

(x) Sim	() Não	PAE elaborado conforme processos internos da Companhia.
---------	---------	---

- Relatórios das inspeções de segurança.

Casos inexistentes, descrever ações e cronograma para sua implantação.

(x) Sim	() Não	Ações e cronograma para implementação:
---------	---------	--

- Revisões periódicas de segurança.

Casos inexistentes, descrever ações e cronograma para sua implantação.

(x) Sim	() Não	Especificação técnica pra contratação de serviços realizado em Junho de 2014. Contratação dos serviços, através de processo licitatório realizado em Dezembro de 2014. Execução da revisão periódica de segurança realizado em Setembro de 2015. Nota: Depende de regulamentação da ANEEL
---------	---------	--

USINA HIDRELÉTRICA TRÊS IRMÃOS

PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

Coordenador do PAE: Euclides Cestari Jr.



ÍNDICE

USINA HIDRELÉTRICA TRÊS IRMÃOS.....	1
PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA	1
1. APRESENTAÇÃO	3
2. CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DA USINA DE TRÊS IRMÃOS	3
3. OBJETIVO DO PAE	4
4. CONSIDERAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS	5
4.1 Aspecto geral.....	5
4.2 Probabilidades de ruptura avaliadas por estruturas da barragem	6
5. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS	6
6. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM E ESTRUTURAS ASSOCIADAS	8
6.1 Geral	8
6.2 Elementos Estruturais.....	9
6.2.1 Barragem de Terra da Margem Esquerda	9
6.2.2 Barragem de Terra da Margem Direita.....	10
6.2.3 Estruturas de Concreto	11
7. DETECÇÃO, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE EMERGÊNCIAS	14
8. FLUXOGRAMA PARA SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA.....	17
9. MAPAS DE INUNDAÇÃO	21
10. RESPONSABILIDADES	31
11. ENCERRAMENTOS DAS OPERAÇÕES	32
12. APROVAÇÃO DO PAE	33
13. ROTAS DE FUGA	34

1. APRESENTAÇÃO

A Lei Federal nº 12.334 promulgada em 20/09/2010 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinada 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, estabelece em seus artigos 7º, 8º, 11º e 12º a elaboração do Plano de Ação de Emergência – PAE, tendo como referência a Classificação das Barragens, definida em Resolução Específica do Conselho Nacional de Recursos Hídricos CNRH nº 143 de 10/07/12.

O artigo 12 transcrito abaixo estabelece o conteúdo mínimo dos Planos de Ação de Emergência:

“Art. 12. O PAE estabelecerá as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem em caso de situação de emergência, bem como identificará os agentes a serem notificados dessa ocorrência, devendo contemplar, pelo menos:

I - identificação e análise das possíveis situações de emergência;

II - procedimentos para identificação e notificação de mau funcionamento ou de condições potenciais de ruptura da barragem;

III - procedimentos preventivos e corretivos a serem adotados em situações de emergência, com indicação do responsável pela ação;

IV - estratégia e meio de divulgação e alerta para as comunidades potencialmente afetadas em situação de emergência.

Parágrafo único – “O PAE deve estar disponível no empreendimento e nas prefeituras envolvidas, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de defesa civil.”

2. CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DA USINA DE TRÊS IRMÃOS

Conforme enviado para a ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica em atenção à resposta ao Ofício 308/2011, a CESP classificou a Barragem de Três Irmãos como sendo de Dano Potencial Alto e Risco baixo de acordo com a Matriz Padrão regulamentada pela ANA – Agência Nacional das Águas, que determina que as barragens destinadas à acumulação de águas para quaisquer usos,

classificadas como de Dano Potencial Alto, devem apresentar um Plano de Ação Emergencial. A Tabela 1 abaixo ilustra o resultado da classificação.

Tabela 1: Matriz para Barragens de acumulação de água

MATRIZ PARA BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA			
CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM QUANTO À CATEGORIA DE RISCO E DANO POTENCIAL			
Nome da barragem:		Usina Três Irmãos	
Nome do empreendedor:		CESP	
Data:		16/fev	
II.1 CATEGORIA DE RISCO			Pontos
1	Características Técnicas (CT)		14
2	Estado de conservação (EC)		3
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)		4
PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT+ EC + PS			21
	FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	CATEGORIA DE RISCO	CRI
		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.			
II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO			Pontos
		DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	24
	FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO	DPA
		ALTO	≥ 16
		MÉDIO	10 < DP < 16
		BAIXO	≤ 10
RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:			
	CATEGORIA DE RISCO		Alto/Médio/Baixo
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		Alto/Médio/Baixo

3. OBJETIVO DO PAE

O objetivo do presente documento é atender às disposições dos artigos 7º, 8º, 11º e 12º da Lei Federal 12.334, para UHE Três Irmãos.

Este plano de emergência foi elaborado para definir os procedimentos para resposta à situação de emergência por inundações originárias, a partir da ruptura da barragem da UHE Três Irmãos.

Ressalta-se que a barragem de Três Irmãos é bastante segura e possui rotina adequada de monitoramento, contando com instrumentos de auscultação,

execução de inspeções rotineiras e periódicas, documentação técnica com registro dessas inspeções e programa anualizado de manutenção.

4. CONSIDERAÇÕES SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS

4.1 Aspecto geral

As regras de segurança não se aplicam automaticamente sem levar em conta as características de cada aproveitamento, ou seja, a segurança varia acentuadamente de acordo com o aproveitamento considerado.

O termo segurança das estruturas hidráulicas é muito amplo pelo fato que todos os elementos que compõem a barragem devem ser objeto de preocupação. Vários fatores influenciam o grau de risco: localização, altura da barragem, volume de armazenamento, tipo de barragem, geologia local, características sísmicas da região, magnitude das cheias previsíveis, quantidade e qualidade dos dados em que se baseou o estudo hidrológico e capacidade de vazão das estruturas dos vertedouros.

É importante observar que o grau de risco pode alterar com o tempo, (exemplo, uma nova ocupação do vale a jusante da barragem). Outras características básicas do aproveitamento, como a cheia de projeto, pode vir a ser alterada, exigindo a atualização constante desses dados, essa situação leva a considerar que as regras de segurança não devem ser constantes.

Resumindo, são diversas as causas da vazão de vertimento a ser excedida, mas pode-se afirmar que essa vazão excedida é a principal causa dos acidentes. A maioria dos danos provocados por ruptura de uma barragem são oriundos de uma onda de cheia excepcional, que resulta no esvaziamento do reservatório.

Outro ponto que deve ser observado na evolução das regras de segurança com o tempo, é o envelhecimento das estruturas, no que diz respeito não só aos materiais de construção, como também aos equipamentos.

A existência de grandes barragens a montante de zonas já ocupadas, coloca em risco no que diz respeito à ocorrência de cheias com intensidade e efeitos potencialmente catastróficos. Sendo assim, é importante elaborar mapas de inundação a jusante dos aproveitamentos que delimitem as áreas atingidas,

estabelecendo em função do tipo de ocupação o respectivo grau de risco, no caso, resulta da análise dos mapas de inundação.

Deve constar nesses mapas as povoações, habitações, redes de comunicação, equipamentos sociais (escolas, hospitais, serviços públicos, etc.).

Após a elaboração dessa fase, devem-se adotar medidas de proteção, instalando dispositivos, que podem ser automáticos, postos de observações e de comunicação e um sistema de aviso e alerta, combinando com um plano de evacuação pela defesa civil da localidade.

4.2 Probabilidades de ruptura avaliadas por estruturas da barragem

Para a barragem da UHE Três Irmãos foi realizada uma análise de probabilidade de ruptura, obtendo-se os resultados indicados na tabela abaixo:

Tabela 2: Probabilidades de ruptura por estruturas da barragem

Mecanismo	Probabilidade
1. Erosão Interna interface C/S Eclusa	$4,3 \times 10^{-7}$
2. Erosão Interna interface C/S Abraços	$6,7 \times 10^{-7}$
3. Galgamento/ Erosão superficial	$2,3 \times 10^{-5}$
4. Escorregamento fundação (Estrutura – concreto)	$2,5 \times 10^{-7}$
Total	$2,4 \times 10^{-5}$

5. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A Usina está localizada na bacia do rio Tietê, à altura do seu km 28, no município de Pereira Barreto (SP). A montante da usina encontra-se a usina Nova Avanhandava, no mesmo rio.

O acesso rodoviário à Usina, a partir da capital do Estado, poderá ser realizado, observando-se a sequência, SP-348 (Rodovia dos Bandeirantes) ou SP-330 (Rodovia Anhangüera), SP-310 (Rodovia Feliciano Salles da Cunha), SP-563

(Rodovia Euclides de Oliveira Figueiredo) até a Usina. A figura 21 apresenta a localização das usinas hidrelétricas da CESP.

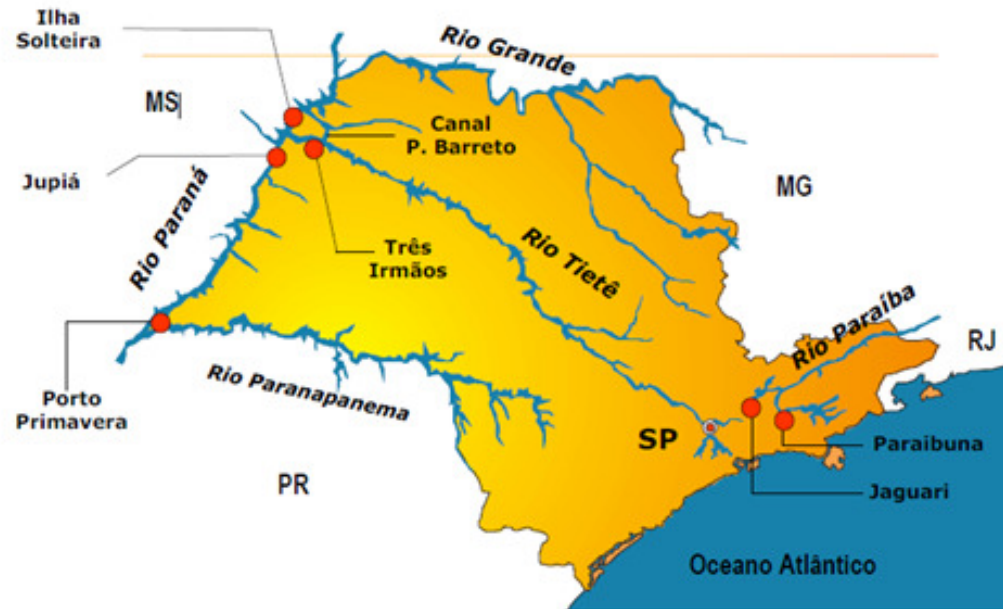


Figura 1: Localização das usinas hidrelétricas da CESP.



Figura 2: Acessos à UHE Três Irmãos.

6. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM E ESTRUTURAS ASSOCIADAS

6.1 Geral

A Usina Três Irmãos é a maior usina construída no Rio Tietê e está localizada entre os municípios de Andradina e Pereira Barreto (SP), a 28 km da confluência com o Rio Paraná.

Possui cinco unidades geradoras com turbinas Francis e potência instalada de 807,50 MW. A primeira unidade geradora entrou em operação em novembro de 1993 e a quinta em janeiro de 1999.

Sua barragem tem 3.640 m de comprimento e seu reservatório mede 785 km². Possui duas eclusas para navegação.

O Canal Pereira Barreto, com 9.600 m de comprimento, interliga os reservatórios de Ilha Solteira e Três Irmãos, propiciando a operação energética integrada dos

dois aproveitamentos hidrelétricos, além de permitir a navegação entre os tramos norte e sul da Hidrovia Tietê-Paraná.

6.2 Elementos Estruturais

A seguir serão descritas as principais estruturas que compõe o barramento e eclusas da UHE Três Irmãos.

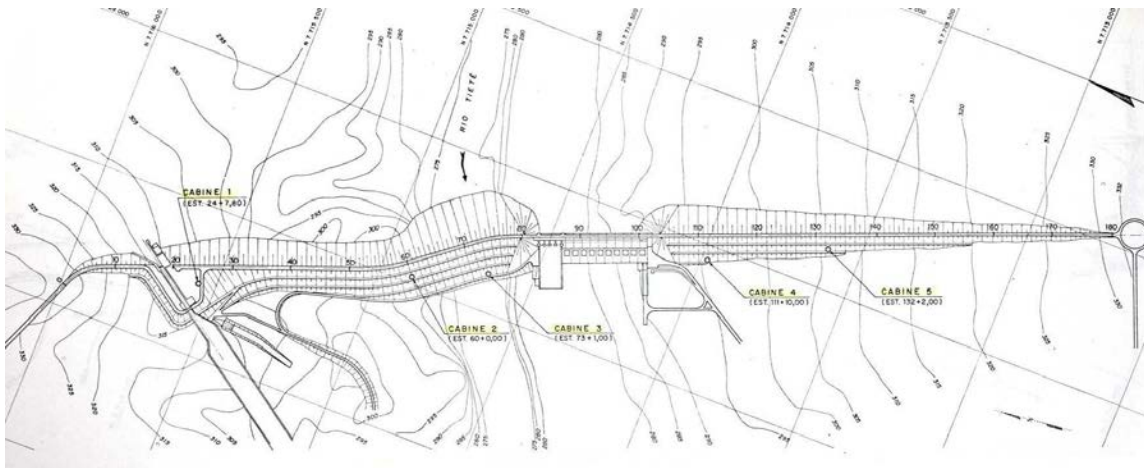


Figura 3: Planta, com curvas de nível, da UHE Três Irmãos.

6.2.1 Barragem de Terra da Margem Esquerda

É constituída por um aterro compactado, do tipo homogêneo, com filtro vertical de areia interligado a um tapete drenante horizontal. O talude de montante com inclinação de 1V:2H é protegido por enrocamento, e a crista da barragem na el. 332,00 tem 9 m de largura.

Duas bermas foram executadas no talude de jusante e a inclinação é de 1V:2H da crista até a segunda berma. A partir dessa a barragem continua com inclinação de 1V:2,5H.

Essa barragem é conectada à estrutura da tomada d'água por meio de um muro de transição de concreto tipo gravidade. O comprimento da barragem de terra da margem esquerda é de 2440 m, medidos ao longo da crista e sua altura máxima acima da fundação é de 82,40 m.

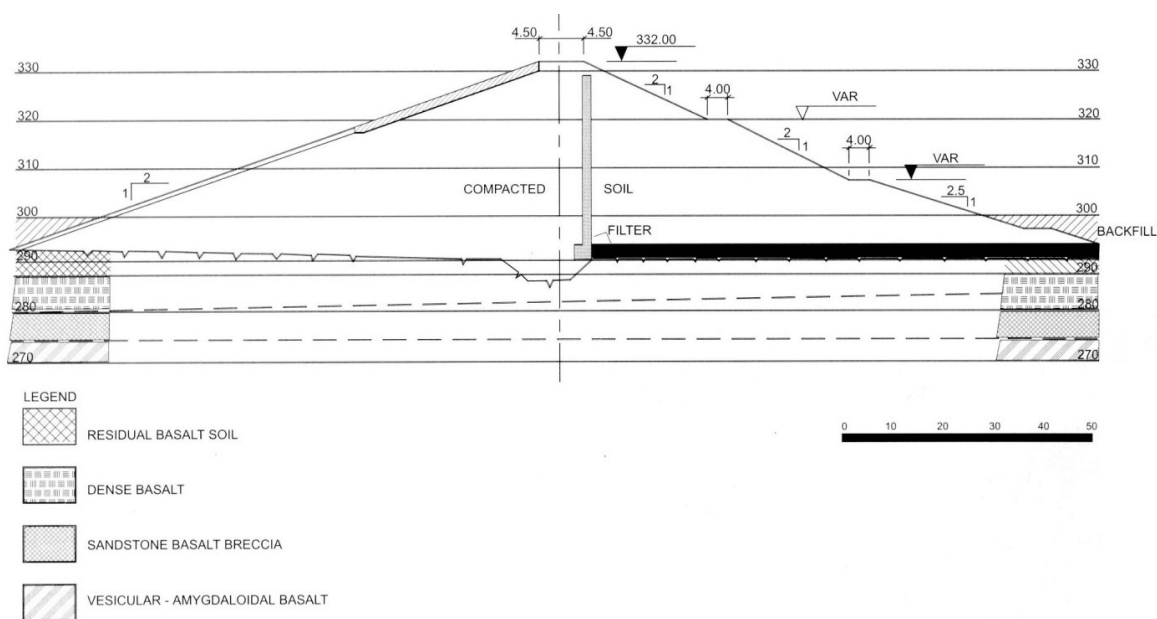


Figura 4: Seção Transversal da BTME

6.2.2 Barragem de Terra da Margem Direita

Essa estrutura é similar à da margem esquerda e mede 1200 m ao longo da crista. O comprimento total dos dois aterros compactados, direito e esquerdo, é de 3640 m.

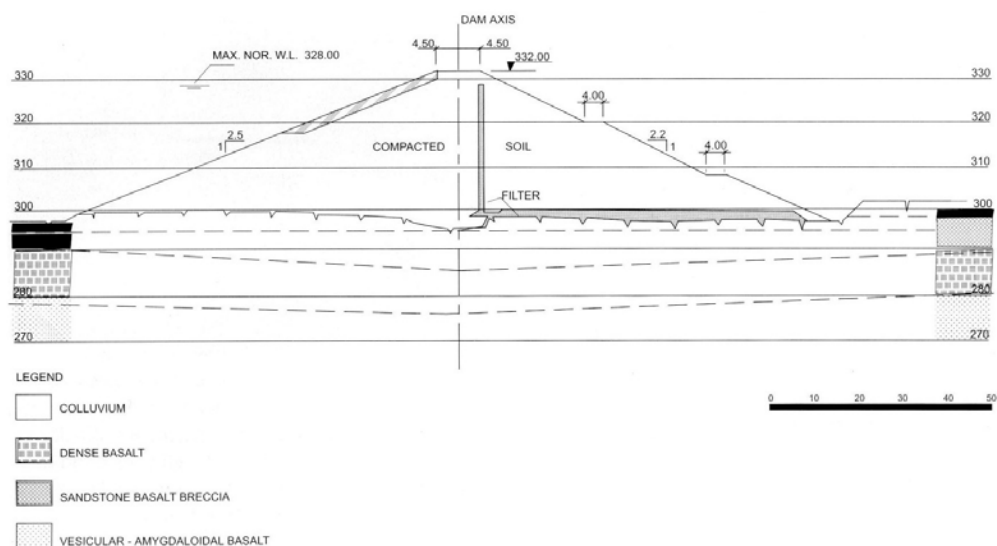


Figura 5: Seção transversal da barragem de terra da UHE Três Irmãos

6.2.3 Estruturas de Concreto

Tomada d'Água

A Tomada d'Água da Usina de Três irmãos é uma estrutura tipo gravidade diretamente conectada à estrutura da casa de força a jusante.

A crista da estrutura está na el. 330,40 m. A elevação da soleira da tomada d'água é 284,54 m e a aproximação da caixa espiral e da turbina é dada pelo conduto forçado, embutido no concreto, com diâmetro de 10 m. O comprimento da estrutura da tomada d'água na direção montante - jusante é de 56,50 m. Há uma galeria de inspeção a montante da estrutura, na elevação 271,50 m.

Casa de força

A casa de força é do tipo semi-fechado e contém 5 unidades geradoras com turbinas de eixo vertical tipo Francis, com 161,5 MW cada. Duas galerias de inspeção dão acesso às fundações dessas estruturas: uma a montante, na El. 254,00 m e a outra a jusante na el. 249,00 m.

O comprimento total da casa de força é de 224 m e seu comprimento na direção do fluxo é de 49,50 m. O comprimento total incluindo a tomada d'água é de 106 m.

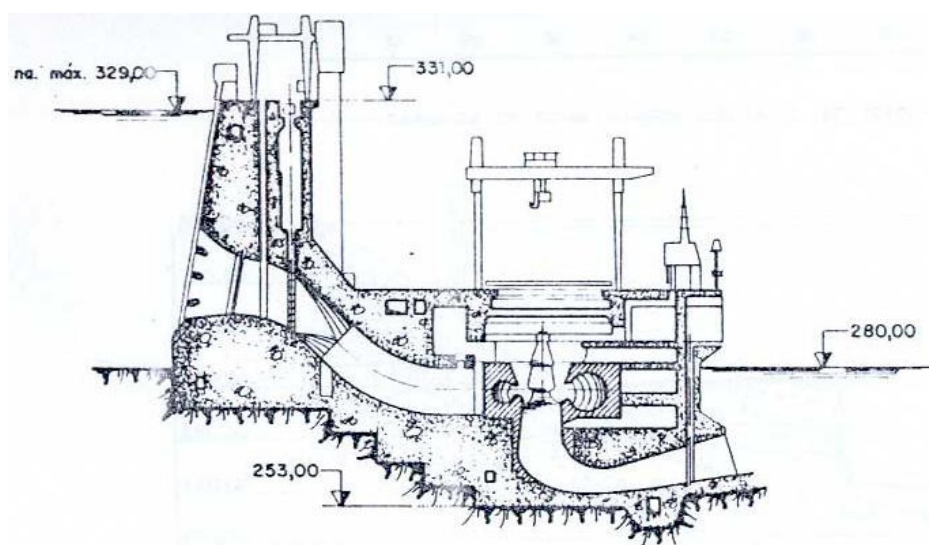


Figura 6: Seção transversal da Tomada D'água e Casa de Força.

Vertedouro

O vertedouro da usina de Três Irmãos é uma estrutura de concreto tipo gravidade com perfil tipo Creager, controlado por comportas tipo radial. A soleira do vertedouro localiza-se na el. 310,50 m e a crista na el. 330,40 m, a mesma elevação da Tomada d'água.

A vazão de cheia adotada em projeto para o vertedouro é de 9.400 m³/s, com tempo de recorrência de 10.000 anos. O vertedouro lança a água em uma bacia de dissipação, na el. 259,00 m, com comprimento de 98,40 m, contida entre muros laterais que separam o fluxo proveniente do canal de descarga da casa de força.

O comprimento da estrutura é de 98 m, e a largura no sentido do fluxo é aproximadamente 84 m. Considerando também a bacia de dissipação, essa dimensão atinge 182,40 m.

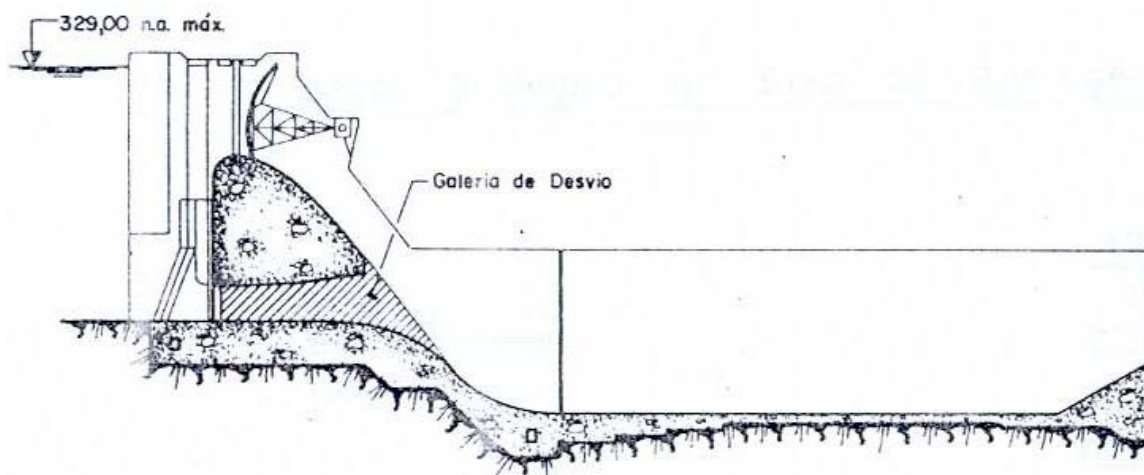


Figura 7: Seção transversal do Vertedouro.

Muros de Transição

O encontro dos maciços direito e esquerdo com o vertedouro e a tomada d'água, respectivamente, é feito por meio da ligação com os muros de transição direito e esquerdo. Essas estruturas são de concreto tipo gravidade, cada uma medindo 55,20 m ao longo da crista, totalizando 110,40 m, com crista está na el. 330,40 m.

Eclusas

O empreendimento possui duas eclusas em série, construídas na ombreira direita. Essas eclusas são interligadas por um lago intermediário. A vantagem do lago em comparação a um simples canal é a capacidade de absorver um grande volume de água vindo da eclusa a montante, com apenas uma pequena variação no nível.

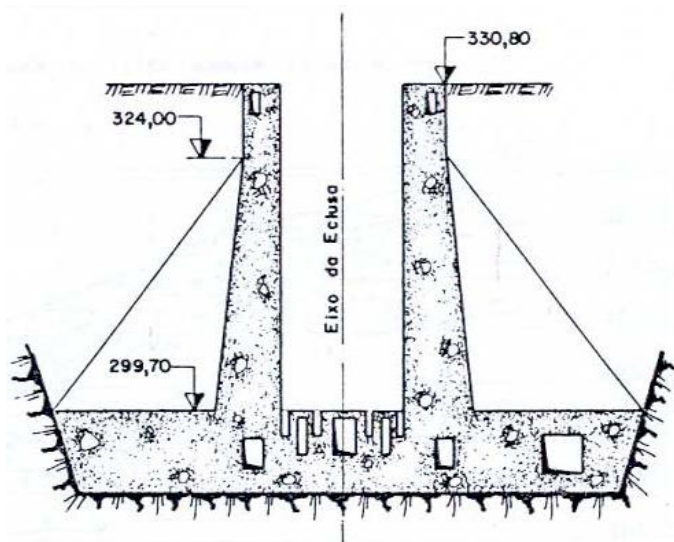


Figura 8: Seção transversal da Eclusa I.

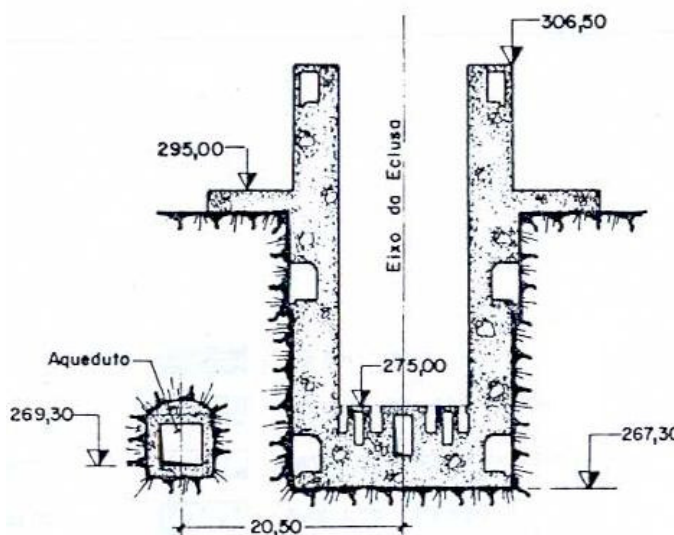


Figura 9: Seção transversal da Eclusa II.

As duas eclusas possuem câmaras iguais com 142 m de comprimento e 12,10 m de largura. Juntas, elas completam uma diferença de nível máxima de 49 m, e possuem tempos de enchimento de 59 min e 57 min, respectivamente.

As eclusas possuem sistemas de enchimento similares, por meio de aquedutos controlados por comportas de segmentos invertidos, que distribuem a água por aberturas de fundo. O canal que as interliga, juntamente com o lago intermediário, tem comprimento de 1000 m.

7. DETECÇÃO, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE EMERGÊNCIAS

Os quadros a seguir descrevem os níveis de segurança com base nas possíveis anormalidades que podem ocorrer na instalação.

Quadro 1 - Caracterização dos Níveis de Segurança

Nível de Segurança	Situações
NORMAL	Probabilidade de Acidente desprezível Plano de Segurança da Barragem - monitoramento rotineiro e ações corretivas de deteriorações que não comprometem a segurança estrutural. Deteriorações ou eventos que afetam apenas a aparência ou conservação do patrimônio ou a segurança se evoluírem. As previsões meteorológicas não indicam condições adversas.
AMARELO OU ATENÇÃO	Probabilidade de Acidente baixa Deteriorações ou eventos que possam afetar a segurança do barramento Obriga a um estado de prontidão na barragem onde serão necessárias as medidas preventivas e corretivas previstas e os recursos disponíveis para evitar um acidente. Eventual rebaixamento do reservatório (depende da avaliação técnica da situação). O fluxo de notificações do PAE é apenas interno, a menos que sejam necessárias descargas preventivas ou o rebaixamento do reservatório. É conveniente testar os sistemas de comunicação neste momento.
LARANJA OU IMINÊNCIA DE ACIDENTE	Probabilidade de acidente elevada Cenário excepcional e de alerta “Espera-se que ações a serem tomadas evitem a ruptura, mas pode sair do controle” A exploração do reservatório deverá ser interrompida. Esvaziamento do reservatório. Entende-se que a segurança do vale a jusante está gravemente ameaçada e será necessário acionar os procedimentos de comunicação e notificação externos previstos no PAE. Avaliar a necessidade de evacuação interna.
VERMELHO OU EVACUAÇÃO	Acidente inevitável - catástrofe iminente A ruptura é iminente, inevitável, já iniciou ou já ocorreu. Segurança do vale a jusante está gravemente ameaçada. Acionar os procedimentos de comunicação e notificação previstos no PAE Evacuação necessária.

Quadro 2 - Definição do nível de alerta para ocorrências excepcionais ou circunstâncias anômalas

Ocorrência excepcional		Conseqüências	Nível de alerta / Consultar QUADRO
Instrumentação		Falta de dados de observação	Verde
		Resultados anômalos da instrumentação de auscultação	
Anomalias estruturais na barragem e ombreiras	Trincas (não documentadas)	Trincas estáveis, documentadas e monitoradas	Verde
		Trincas superficiais	
		Presença de trincas transversais e longitudinais profundas que não se estabilizam, passantes ou não de montante para jusante, com percolação de água ou não.	Amarelo QUADRO 3
	Surgências (áreas encharcadas ou água surgindo)	Surgência de água próxima à barragem, nos taludes ou ombreiras: - não documentada e/ou não monitorada - com carreamento de materiais de origem desconhecida - Aumento das infiltrações com o tempo - Água saindo com pressão	
	Vazamentos	Vazamentos não documentados e considerados controláveis	
		Vazamentos incontroláveis com erosão interna em andamento	Laranja QUADRO 4
Cheias	Nível	Nível d'água acima do MÁXIMO MAXIMORUM	Amarelo QUADRO 3
	Equipamentos	Extravasores inoperantes no período chuvoso	
	Galgamento da barragem iniciado	Possibilidade de rebaixamento do nível d'água através da abertura dos extravasores	
		Galgamento em andamento com extravasores abertos	Laranja QUADRO 4

Ocorrência excepcional		Conseqüências	Nível de alerta / Consultar QUADRO
Falha dos sistemas de alerta e de aviso	Período seco	Impossibilidade de notificação	Verde
		Impossibilidade de aviso	Amarelo QUADRO 3
	Período chuvoso	Impossibilidade de notificação	
		Impossibilidade de aviso	
Ruptura da Barragem		Tombamento da barragem Abertura de brecha na estrutura com descarga incontrolável de água Colapso completo da estrutura	Vermelho QUADRO 5

Obs. Para caracterização dos níveis de segurança – ver Quadro 1

8. FLUXOGRAMA PARA SITUAÇÃO DE EMERGÊNCIA

O presente procedimento deverá ser utilizado sempre que for detectada uma situação de emergência nas dependências da Usina Três Irmãos.

Assim que uma situação de emergência ou situação em potencial for descoberta, os empregados deverão contatar o operador da Sala de Comando, por meio de um dos seguintes métodos:

- Telefone (XX) XXXX.XXXX ou (XX) XXXX.XXXX ramal (XXX);
- Rádio (frequência de segurança de 158,150 MHz) Canal 01;
- Verbalmente, de acordo com a ocorrência.

Ao receber as informações referentes ao incidente, o **Operador da Sala de Comando** deverá comunicar o **Gerente da Unidade de Produção**, verbalmente ou por meio de um dos telefones abaixo :

Gerente da Unidade de Produção: Eng. XXXXXX XXXXXX

- Telefone Comercial (XX) XXXX.XXXX
- Telefone Residencial (XX) XXXX.XXXX
- Telefone Celular (XX) XXXX.XXXX

Caso o operador da Sala de Comando não encontre o Gerente da Unidade de Produção, este deverá acionar o coordenador do PAE:

Eng. XXXXXXXXXXXX XXXXXXXX

- Telefone Comercial (XX) XXXX.XXXX
- Telefone Residencial (XX) XXXX.XXXX
- Telefone Celular (XX) XXXX.XXXX

Caso o operador da Sala de Comando não encontre o Coordenador do PAE, este deverá acionar o Gerente da Divisão de Engenharia Civil.

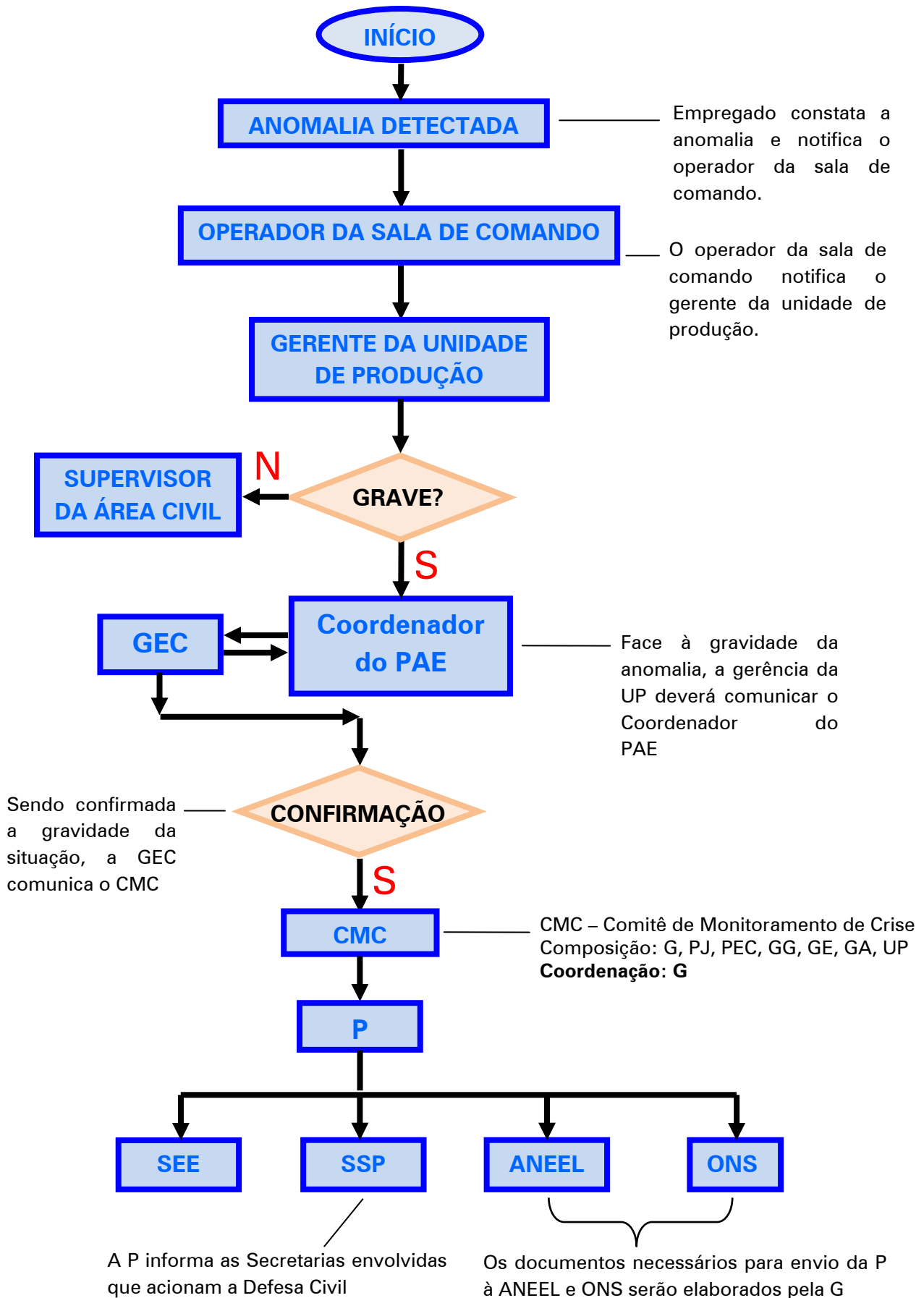
Eng. XXXXXXXX XXXXXXXX

- Telefone Comercial (XX) XXXX.XXXX
- Telefone Residencial (XX) XXXX.XXXX
- Telefone Celular (XX) XXXX.XXXX

A GEC após ser comunicada, avalia juntamente com o Coordenador do PAE, a real situação da anormalidade e na sequência deverá comunicar a situação de emergência ao CMC – Comitê de Monitoramento de Crise.

Em função da gravidade da anormalidade, o coordenador do CMC informará o Presidente da Empresa.

O fluxograma abaixo ilustra a sequência de acionamento da comunicação interna da CESP.



Telefones de emergência:

PBX USINA - (XX) XXXX.XXXX / PBX SÃO PAULO – (XX) XXXX.XXXX

Cargo	Nome	Telefone
Presidente	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Diretor de Geração	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Assistente da Diretoria de Geração	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Gerente do Departamento de Meio Ambiente	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Gerente do Departamento de Engenharia	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Gerente do Departamento de Planejamento e Produção	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Gerente do Departamento Jurídico	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Gerente da Divisão de Engenharia Civil	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Gerente da Divisão de Comunicação	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Gerente da UP	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Supervisor de Engenharia Civil da UP	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Coordenador do PAE	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX
Operador da Sala de Comando	XXXXXXXXXX	XXXXXXXXXX

9. MAPAS DE INUNDAÇÃO

Foi efetuado um estudo de modelagem hidráulica da foz do Rio Tietê até o reservatório da UHE Jupia. Através de ferramentas de geoprocessamento foi possível gerar os mapas com as manchas de inundação associadas à cartografia da região para cada um dos cenários estudados. Os mapas indicam numa forma simples e em escala adequada, os locais densamente povoados e as estruturas importantes situadas nas zonas de inundação.

Para o presente estudo foram considerados os seguintes cenários:

Cenário 1 - maior cheia registrada: Cenário com a defluência máxima registrada na Barragem - vazão de 4.600 m³/s, onde o nível d'água registrado na régua de jusante foi de 282,40 m.

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 m³/s;

Cenário 3 – vazão de ruptura: Este cenário considera um evento de cheia em que a vazão de ruptura hipotética da barragem Três Irmãos calculada através de formulações empíricas é de 20.915 m³/s. Para o estudo de ruptura hipotética da barragem, considerou-se o reservatório em configuração operacional com o nível d'água na cota 328,40 m (máximo maximorum) e o volume de armazenamento de 13.800 x 10⁶ m³, propagando pela calha a jusante.

O quadro 3 abaixo ilustra o comportamento das ondas de cheia para os 3 cenários estudados. As figuras 10 a 17 ilustram os mapas de inundação.

Quadro 3 – .Comportamento das ondas de cheia.

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. (m/s)
1	4.600,0	Ponte Três Irmãos	1.020,00	289,47	282,11		13,28	1,28	
		Vila Timboré	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 Timboré	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 Timboré	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 Timboré	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	



Figura 10 – Ponte Três Irmãos. Mapa de inundação para a ruptura hipotética com vazão de $20.915 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 11 – Vila Timboré com a localização das edificações.

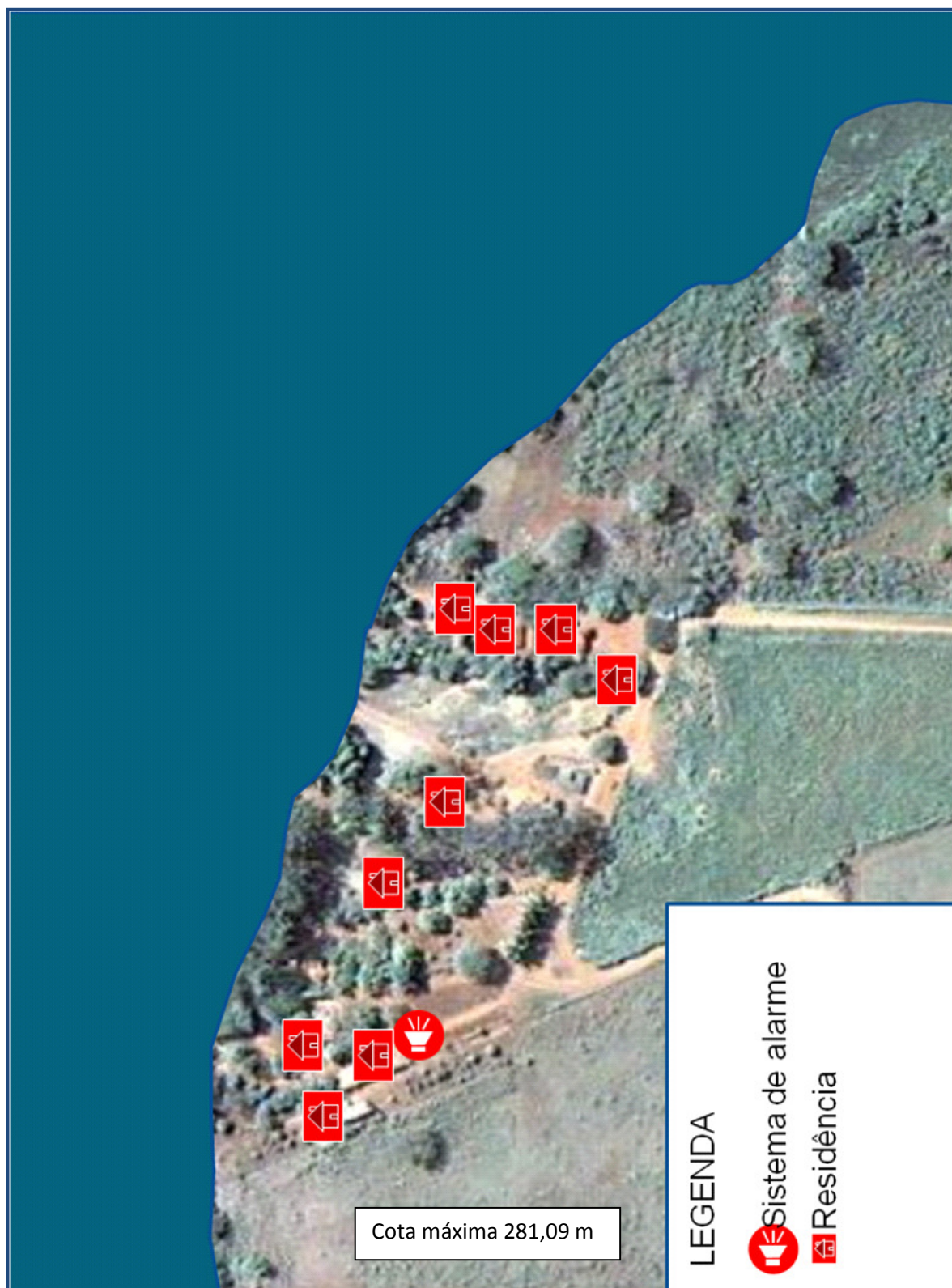


Figura 12 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência induzida de 4.600 m³/s.

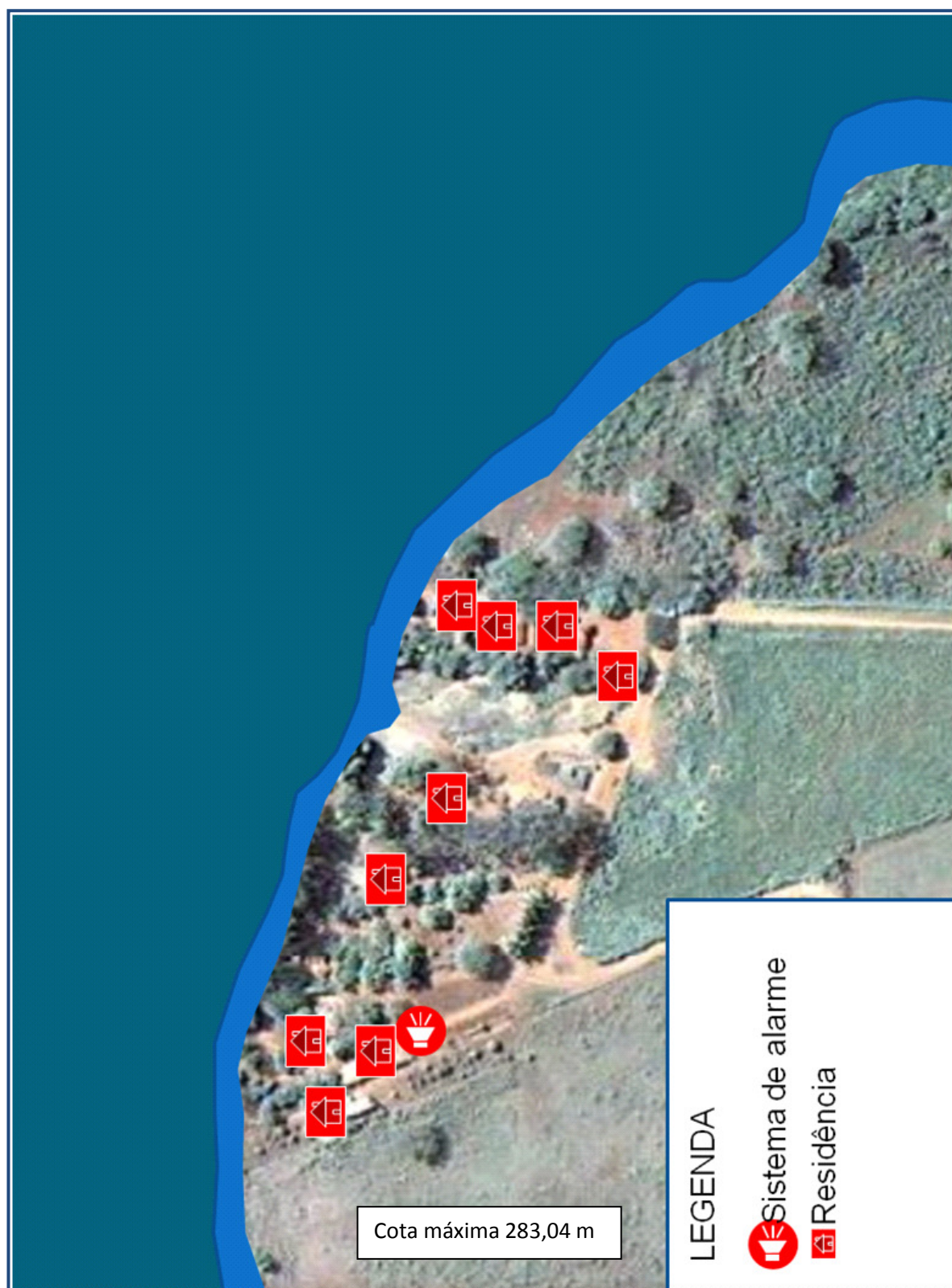


Figura 13 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência induzida de 11.000 m³/s.

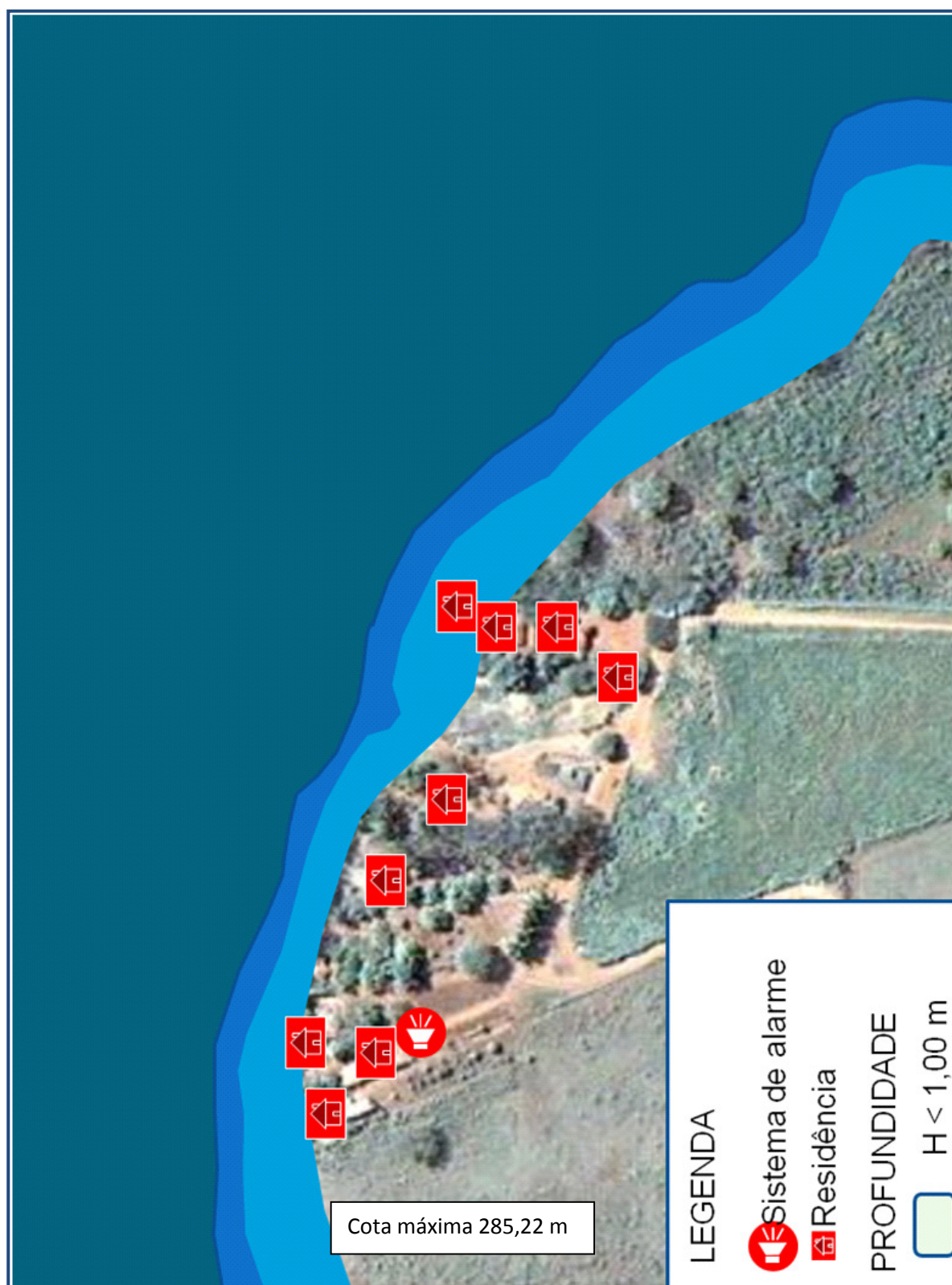


Figura 14 – Vila Timboré. Mapa de inundação com defluência de $20.915 \text{ m}^3/\text{s}$, simulado pela ruptura hipotética da barragem.



Figura 15 – Ponte Itapura. Mapa de inundação com defluência induzida de 11.000 m³/s.



Figura 16 – Ponte Itapura. Mapa de inundação com defluência de $20.915 \text{ m}^3/\text{s}$, simulado pela ruptura hipotética da barragem.



Figura 17 – Cidade Itapura. Mapa de inundação com defluência de $20.915 \text{ m}^3/\text{s}$, simulado pela ruptura hipotética da barragem.

10. RESPONSABILIDADES

As atribuições e responsabilidades a seguir são de caráter geral, aplicáveis às situações envolvendo emergências associadas à segurança de barragem.

COMITÊ DE MONITORAMENTO DE CRISE - CMC

Composto pelos seguintes Departamentos e Divisão da CESP:

- Departamento de Engenharia;
- Departamento de Planejamento e Produção;
- Departamento de Meio Ambiente
- Departamento Jurídico
- Divisão de Comunicação
- Unidade de Produção Ilha Solteira / Três Irmãos

Coordenação do CMC: Diretor de Geração.

Atribuições

Suas principais atribuições são:

- Decidir sobre as ações a serem implementadas em função da situação de emergência;
- Coordenar a comunicação interna, externas e órgãos da imprensa;
- Disponibilização emergencial de recursos.

Coordenação do PAE: Divisão de Engenharia Civil Ilha Solteira - GECIS.

Atribuições

Suas principais atribuições são:

- Avaliação da abrangência da ocorrência;
- Comunicar a GEC - Divisão de Engenharia Civil.

Divisão de Engenharia Civil

Atribuições

Suas principais atribuições são:

- Comunicar a ocorrência ao CMC;
- Participar das discussões dos desdobramentos da anomalia;
- Contatos externos com consultores;
- Elaboração de notificações e de relatórios internos.

11. ENCERRAMENTOS DAS OPERAÇÕES

Uma vez que as condições indiquem que não existe mais uma emergência no local da barragem e o CMC declarou que a barragem está segura, encerrando a emergência.

Em seguida, será elaborado o Relatório Final de Emergência pela GEC – Divisão de Engenharia Civil e apresentada em um prazo de até 30 dias após o encerramento da ocorrência da emergência.

12. APROVAÇÃO DO PAE

Atendendo o artigo 12 – Parágrafo único da Lei Federal 12.334, uma cópia do PAE deverá estar disponível Departamento de Engenharia, Departamento de Produção, Unidade de Produção, organismos de defesa civil e prefeituras envolvidas.

Quaisquer mudanças nas informações contidas nesse plano deverão ser informadas ao coordenador do PAE para atualização.

Aprovação do PAE:

Coordenador do PAE

Gerente do GE

Gerente do GEC

Diretor - G

13. ROTAS DE FUGA

As figuras 18 e 19 ilustram as rotas de fuga da cidade de Itapura, Vila Timboré e rodovias para desvio das pontes de Itapura e Três Irmãos.

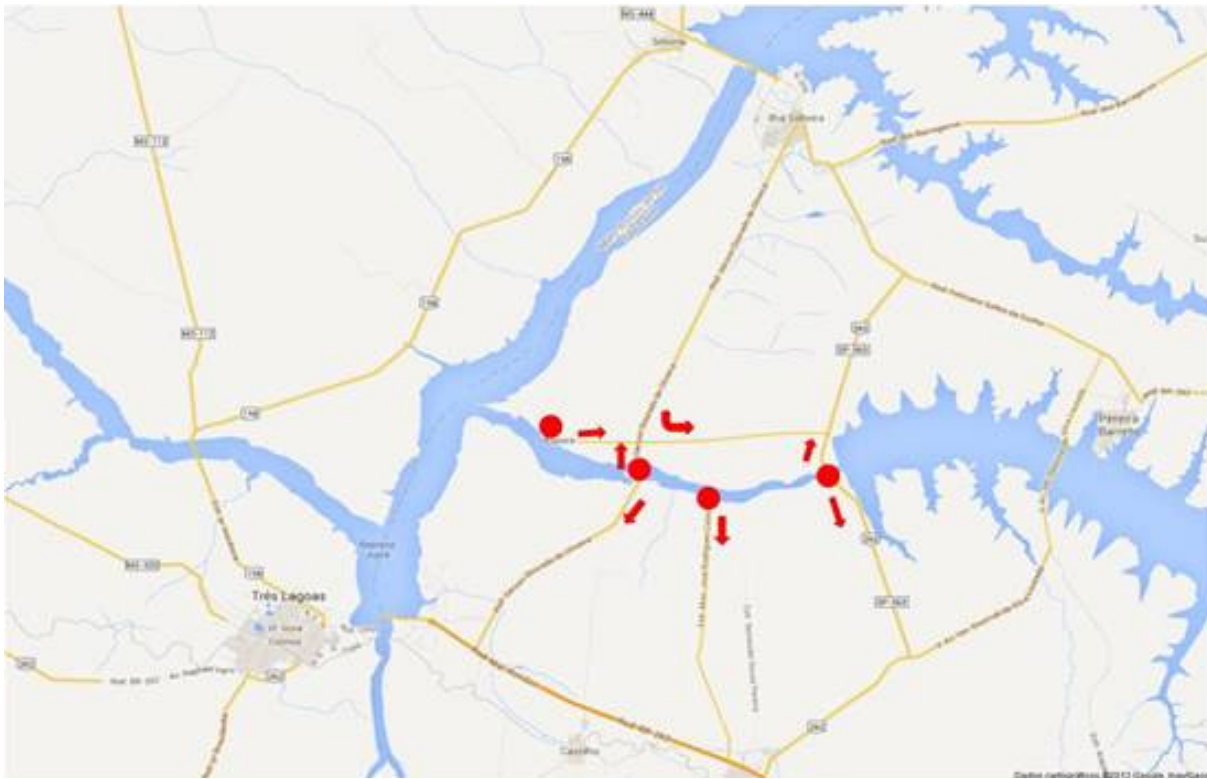


Figura 18 – Rota de fuga.

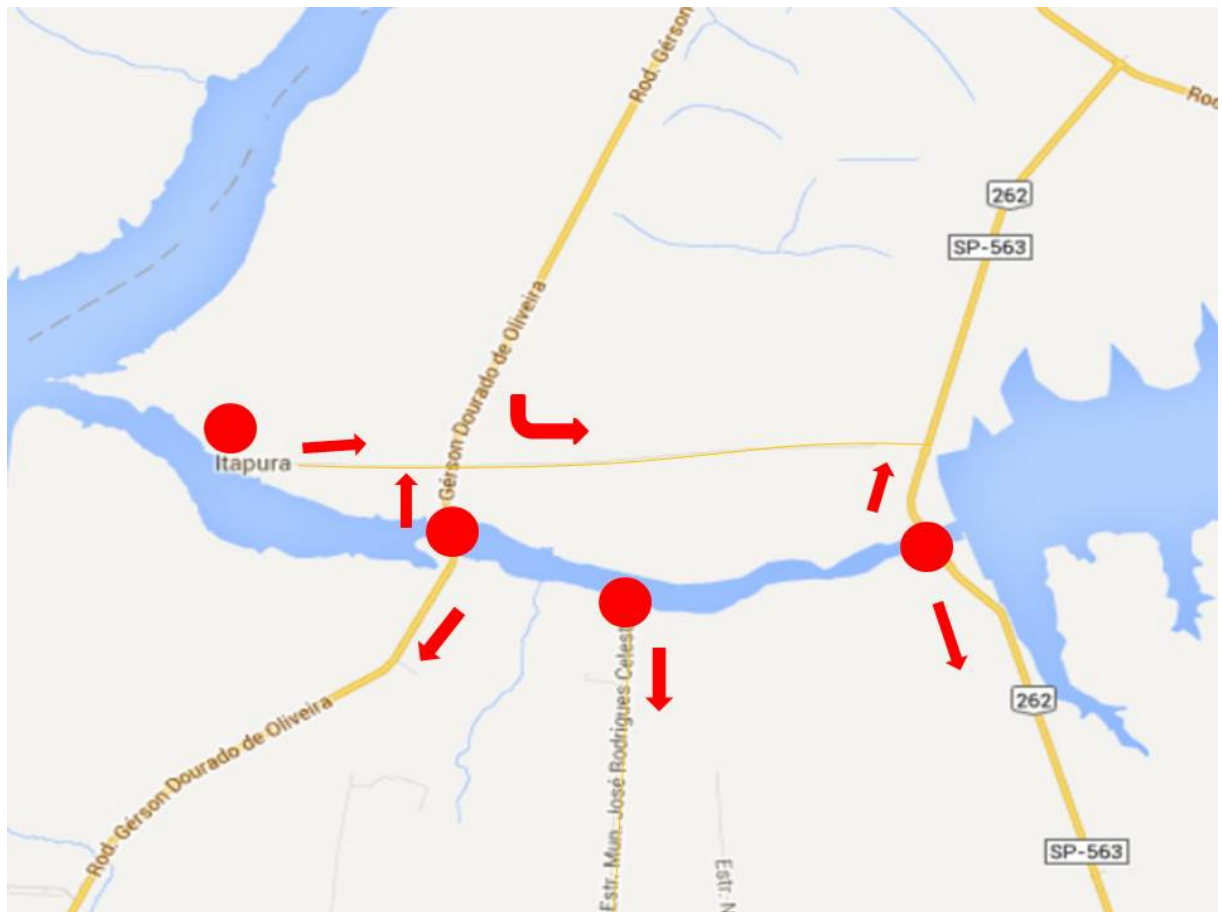


Figura 19 – Rota de fuga.