

CONTRATO:		Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 Prestação de serviços de estudos hidrológicos, análise de cenários de rompimento hipotético (Dam-Break), elaboração e fornecimento dos mapas de inundação para as os complexos: UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera.				Nº 4638-PP-12-GL-810-RT-0001	
RESPONSÁVEL TÉCNICO:		Arthur Santos Coelho – CREA 5070469089-SP Darci Luis Bertin – CREA 5063475179-SP					
CLIENTE:		CESP – COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO					
TÍTULO:		UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK					
ÍNDICE DE REVISÕES							
REV.	DESCRIÇÃO E/OU FOLHAS ATINGIDAS						
0	Emissão Inicial.						
1	Atendidos comentários ECSB CESP.						
	REV. 0	REV. 1	REV. 2	REV. 3	REV. 4	REV. 5	REV. 6
DATA	07/01/2022	23/05/2022					
PROJETO	COBE	COBE					
EXECUÇÃO	COBE	COBE					
VERIFICAÇÃO	ASC	ASC					
APROVAÇÃO	DLB	DLB					

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK		FOLHA: 2 de 34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. METODOLOGIA	3
3. INFORMAÇÕES BÁSICAS	3
3.1. DOCUMENTOS CONSULTADOS.....	3
3.2. TOPOGRAFIA E IMAGEAMENTO.....	4
4. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	5
4.1. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	5
4.2. RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BARRAGEM.....	5
4.3. ARRANJO GERAL	6
4.4. CURVA COTA-ÁREA-VOLUME DO RESERVATÓRIO	9
5. PREMISSAS E CRITÉRIOS	10
5.1. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO.....	10
5.2. HIDROGRAMAS DE RUPTURA.....	11
5.2.1. Volume de Água Mobilizado	11
5.2.2. Parâmetros da Brecha.....	13
5.2.3. Desenvolvimento do Hidrograma de Ruptura.....	18
5.3. PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS	19
5.3.1. Caracterização do Trecho de Propagação.....	19
5.3.2. Coeficientes de Manning.....	20
5.3.3. Condições Iniciais e Condições de Contorno	20
5.3.4. Critério de Parada da Propagação da Onda de Ruptura	20
5.3.5. Critério para Definição das Zonas de Autossalvamento (ZAS).....	21
5.3.6. Modelo Numérico.....	21
5.4. MAPAS DE INUNDAÇÃO	21
5.4.1. Seções Transversais.....	21
5.4.2. Parâmetros de Inundação.....	21
6. RESULTADOS.....	22
6.1. PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS	22
6.2. MAPAS DE INUNDAÇÃO	26
7. CONCLUSÃO.....	26
8. REFERÊNCIAS.....	28
9. APÊNDICES.....	29

1. INTRODUÇÃO

O objetivo principal deste relatório é caracterizar e apresentar os resultados da simulação de ruptura hipotética da UHE Porto Primavera para diversos cenários de análise. Os objetivos secundários, contemplados neste relatório, são:

- a- Caracterizar o empreendimento;
- b- Descrever as premissas e critérios adotados;
- c- Apresentar a propagação dos hidrogramas de ruptura;
- d- Resumir o potencial de inundação do cenário mais crítico.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para construção do estudo de ruptura hipotética (Dam Break) da UHE Porto Primavera está sintetizada nas seguintes fases:

- Avaliação dos dados e documentos existentes no empreendimento;
- Estudo de atualização das vazões máximas afluentes;
- Definição dos cenários de ruptura;
- Determinação dos parâmetros da brecha;
- Estimativa do hidrograma de ruptura;
- Propagação do hidrograma de ruptura;
- Mapeamento das áreas potencialmente inundáveis.

3. INFORMAÇÕES BÁSICAS

3.1. DOCUMENTOS CONSULTADOS

A Tabela 1 apresenta os documentos consultados para elaboração do presente estudo.

Tabela 1 – Documentos Consultados.

Número do Documento	Descrição
4638-PP-12-GL-540-RT-0002-R1	UHE Porto Primavera – Relatório de Elaboração do MDT Integrado da Região de Inundação (ruptura hipotética da barragem)
4638-PP-12-GL-540-RT-0001-R1	UHE Porto Primavera – Estudo de Classificação do Uso e Ocupação do Solo
1042-PP-30-GL-820-RT-0001-R1	UHE Porto Primavera – Estudos Hidrológicos
CAV – UHE Porto Primavera – mar/2020	Curvas cota-área-volume atualizadas
PP-PR00-017-DV-0150-R07	Levantamento Cadastral – Usina e eclusa Porto Primavera – Arranjo Geral

Número do Documento	Descrição
-	Arranjo Geral Esquemático
PP-DA-00-021-A0-0085-R07	Arranjo Geral – Canteiro margem esquerda
-	Arranjo Geral – Canteiro margem direita
-	Corte esquemático da casa de força
-	Corte esquemático do vertedouro
01.01.17	PSB – Apêndice 1 – Ficha Técnica da Barragem; Apêndice 3 – Desenhos Técnicos
-	Condições de Montante (UHE Porto Primavera)
475-UHEJUP-DES-PAEE	CTG Brasil – UHE Jupia – Plano de Ação de Emergência Externo
-	CTG Brasil – UHE Jupia – PAE Interno – Anexo 1 – Síntese do Estudo de Inundação
475-UHEROS-RT-PAEE-R1	CTG Brasil – UHE Jupia – Plano de Ação de Emergência Externo
-	CTG Brasil – UHE Rosana – PAE Interno – Anexo 1 – Síntese do Estudo de Inundação

3.2. TOPOGRAFIA E IMAGEAMENTO

Para realização da modelagem hidrodinâmica foi utilizado um Modelo Digital de Elevação (MDE) desenvolvido a partir de diversas bases de dados disponibilizadas pela CESP. O MDE apresenta precisão vertical relativa de 1 m e resolução espacial de 1 m, com sistema de coordenadas geográficas, projeção equivalente Albers e Datum altimétrico de Imbituba-SC. Detalhes do MDE utilizado neste trabalho podem ser consultados no Relatório n° 4638-PP-12-GL-540-RT-0002-R1 – UHE Porto Primavera – Relatório de Elaboração do MDT Integrado da Região de Inundação (ruptura hipotética da barragem).

Para a confecção dos mapas, construção das bases cartográficas e caracterização da área de estudo, é essencial o uso de imagens de satélite de alta resolução que recobrem a totalidade das áreas em questão. As imagens utilizadas foram disponibilizadas pelo banco de imagens da ESRI, compartilhado pela CESP.

4. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

4.1. LOCALIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A Usina de Porto Primavera está localizada nos municípios de Rosana/SP, Anaurilândia/MS e Batayporã/MS, nas coordenadas UTM: 22 K 298879,00 m E, 7511949 m S. A Figura 1 apresenta a localização da UHE Porto Primavera.



Figura 1 – Localização da UHE Porto Primavera.

4.2. RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BARRAGEM

A finalidade principal da UHE Porto Primavera é a geração de energia elétrica, além de propiciar a regulação de vazões e abastecimento de água. A Tabela 2 apresenta as características gerais da UHE Porto Primavera.

Tabela 2 - Características Gerais da UHE Porto Primavera.

Características Gerais	
Denominação Oficial:	UHE Porto Primavera
Empreendedor:	CESP
Coordenadas da Ombreira Esquerda	298879 m E / 7511949 m S
Rio	Paraná

Características Gerais	
Estado	São Paulo/Mato Grosso do Sul
Municípios	Rosana/Anaurilândia/Batayporã
Barragem a Montante	UHE Jupiá
Barragem a Jusante	UHE Itaipu
Finalidade	Geração de Energia Elétrica
Classificação da Barragem em Função do Risco	A
Tipo	Seção Mista
Altura	38 m
Comprimento Total	11.400,0 m
Comprimento da Seção em Terra	10.400,0 m
Comprimento da Seção em Concreto	1.000,0 m
Cota da Crista	262,0 m
Cota do NA Mínimo	257,0 m
Cota do NA Normal	259,0 m
Cota do NA Máximo	259,7 m
Volume Máximo do Reservatório	23.330,0 hm ³
Tipo de Vertedouro	Soleira com comportas
Cota da Soleira do Vertedouro	237,0 m
Capacidade Máxima do Vertedouro	53.600,0 m ³ /s

4.3. ARRANJO GERAL

O arranjo geral da barragem está apresentado no desenho nº PP-PR00-017-DV-0150-R7. Em resumo, as estruturas que compõem o arranjo geral são o barramento em terra, reservatório, vertedouro, casa de força, tomada d'água, estrutura para transposição de peixes, canal de restituição, bacia de dissipação e eclusa.

O barramento de terra homogênea possui aproximadamente 10,4 km de comprimento, 38,00 m de altura e crista na cota 262,00 m com 6,90 m de largura. O talude de montante apresenta inclinação de 1V:2H com berma de 3 m de largura e talude de jusante com inclinação de 1V:1,8H. O talude de montante possui proteção com solo cimento até a cota 261,20 m. O sistema de drenagem interna é composto por filtro vertical de areia com espessura

de 0,70 m e dreno horizontal com espessura de 0,80 m. A fundação consiste, em sua maior parte, de uma camada espessa de aluvião sobre o topo rochoso em arenito.

O vertedouro foi construído sobre um afloramento rochoso basáltico. Possui capacidade máxima de descarga de 53.600,00 m³/s para N.A. na cota 259,70 m, esta capacidade de vertimento supera a cheia associada a um tempo de recorrência (TR) de 10.000 anos que, conforme os estudos hidrológicos atualizados, seria da ordem de 47.019,28 m³/s. O vertedouro foi projetado com soleira na cota 237,00 m, controlado por comportas segmento dimensionadas para manter o N.A. máximo normal do reservatório na cota 259,00 m. Foram projetados 16 vãos com 15,00 m de largura e 15 pilares com 5,00 m de largura compondo um comprimento total de 315,00 m. A velocidade de movimentação das comportas é de 27 cm/min, podendo uma comporta ser totalmente aberta ou fechada em 58 minutos.

A casa de força possui seção transversal com comprimento de aproximadamente 87,80 m, construída sobre topo rochoso basáltico. O comprimento da estrutura de concreto que abriga a casa de força é da ordem de 685 m e a altura é da ordem de 61,00 m (considerando a cota do ponto mais baixo 201,00 até a cota 262,00 m). Os equipamentos mecânicos que compõe a casa de força são: grades da tomada d'água, comporta de ensecadeira da tomada d'água, comporta de emergência, máquina limpa grades, guindaste-pórtico da tomada d'água, ponte rolante da galeria de equipamentos mecânicos, filtro d'água de resfriamento, refrigeradores de óleo do mancal do gerador, central de ventilação, ponte rolante principal, ponte rolante auxiliar, gerador, turbina, resfriadores de óleo do mancal de escora do grupo turbogerador, ponte rolante da galeria de equipamento elétricos, ponte rolante dos tubos de sucção e comporta ensecadeira do tubo de sucção. Os equipamentos elétricos existentes na casa de força são: quadro de comando das comportas de emergência, armário de pressurização dos barramentos blindados dos grupos G01 a G20, cubículo de saída do gerados, transformador de excitação, transformador do elevador, quadro de comando local do grupo, quadro de comando local do BAY-SF6, quadro de comando do motor de corrente contínua da bomba de injeção de óleo no mancal de escora, quadro composto pelo cubículo de distribuição de média tensão, bobina de bloqueio, transformador de potencial e para raio.

O arranjo geral da UHE Porto Primavera é apresentado, de forma esquemática, na Figura 2. As Figuras 3 e 4 apresentam ilustrações das seções típicas da casa de força e do vertedouro.

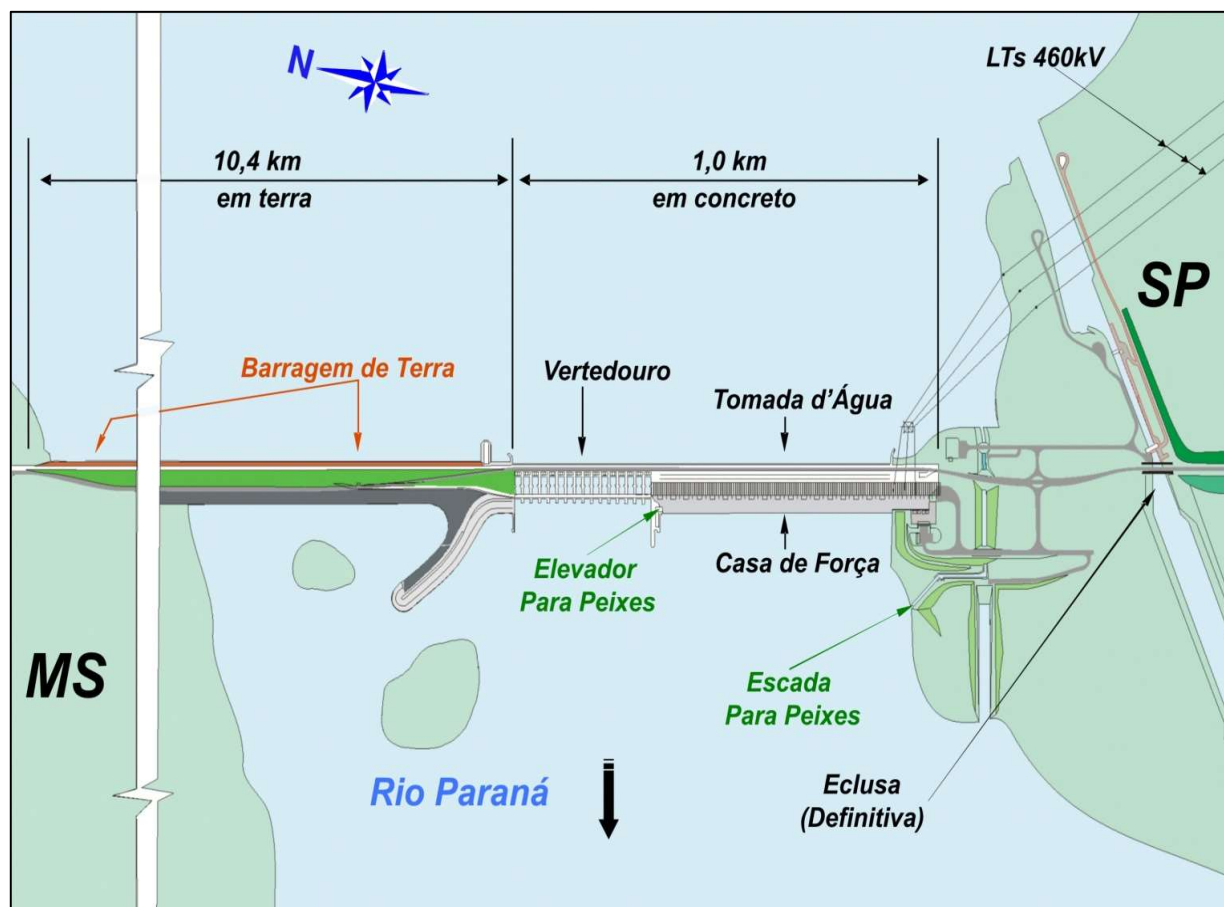


Figura 2 – Arranjo geral esquemático da UHE Porto Primavera.

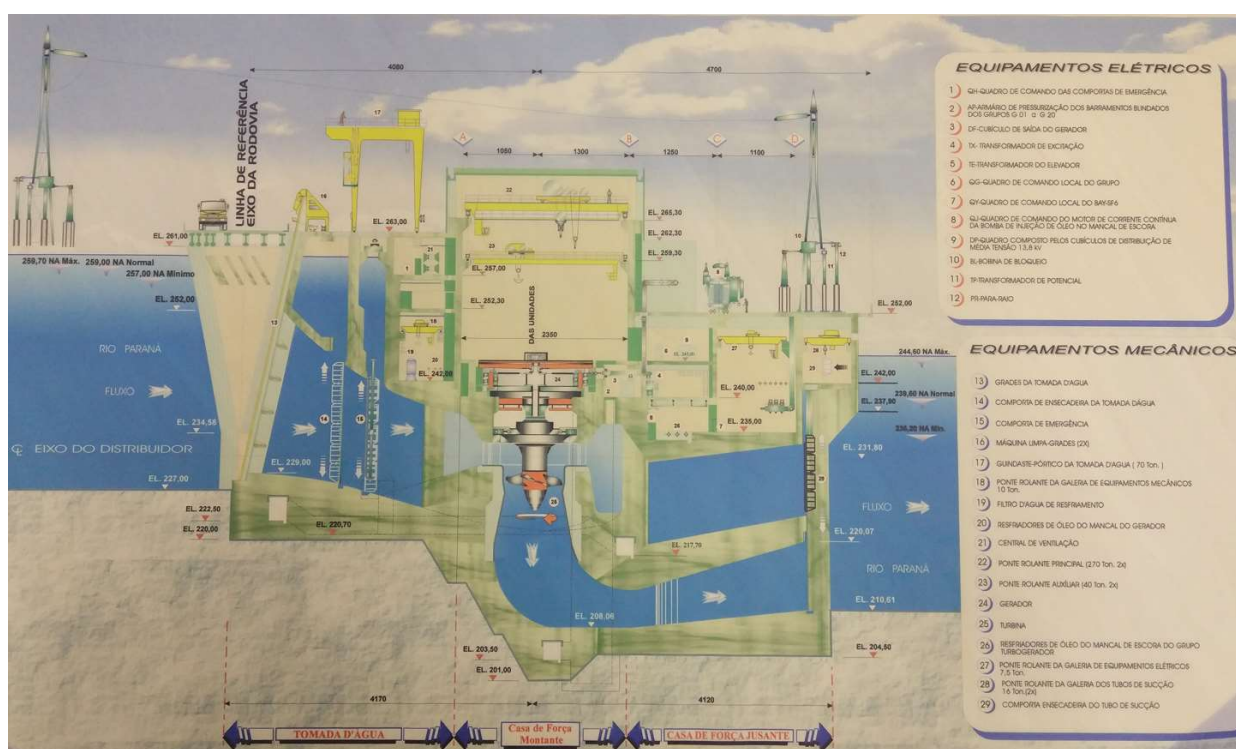


Figura 3 – Ilustração da seção típica da casa de força.



Figura 4 - Ilustração da seção típica do vertedouro.

4.4. CURVA COTA-ÁREA-VOLUME DO RESERVATÓRIO

A curva cota-área-volume do reservatório de Porto Primavera foi fornecida pela CESP, o levantamento foi executado em julho de 2019. A Tabela 3 apresenta os dados levantados de forma resumida e a Figura 5 apresenta a curva cota-área-volume.

Tabela 3 – Resumo de dados da curva Cota-Área-Volume do Reservatório.

Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)
230	0,03	0,01
231	0,18	0,11
232	0,55	0,43
233	1,83	1,47
234	6,97	5,57
235	13,23	15,89
236	22,81	33,14
237	54,53	70,21
238	84,98	140,73
239	112,91	239,04
240	158,34	371,86
241	308,59	596,97
242	387,01	950,94
243	440,60	1364,73
244	502,95	1836,97

Cota (m)	Área (km²)	Volume (hm³)
245	557,60	2366,98
246	657,59	2969,63
247	803,78	3694,67
248	1024,16	4598,86
249	1315,92	5767,40
250	1615,02	7223,31
251	1781,17	8931,67
252	1881,16	10767,81
253	1940,55	12680,78
254	1983,98	14643,40
255	2030,72	16651,47
256	2069,37	18702,26
257	2099,10	20786,57
258	2133,53	22902,74
258,25	2139,66	23330,05

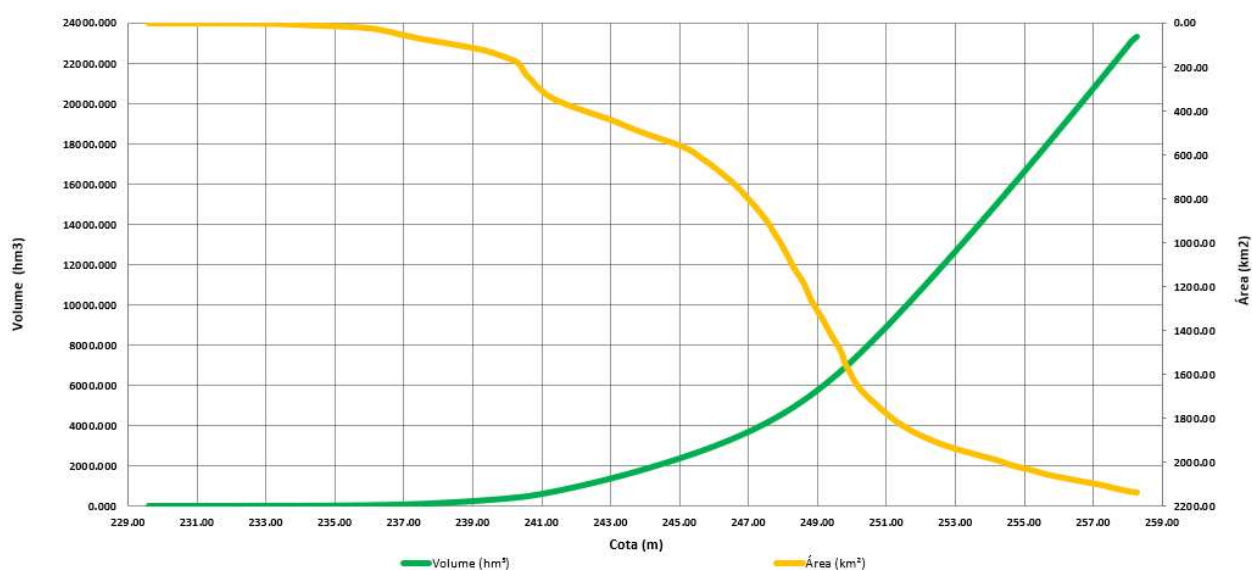


Figura 5 – Curva Cota-Área-Volume do Reservatório de Porto Primavera em julho de 2019.

5. PREMISSAS E CRITÉRIOS

5.1. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Os cenários de simulação foram definidos em função das características da UHE Porto Primavera, das condições hidrológicas associadas ao evento da ruptura e da estatística de ruptura em barragens de terra e concreto no mundo. A Tabela 4 sintetiza todos os cenários avaliados.

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK		FOLHA: 11 de 34

Tabela 4 – Cenários de Simulação.

Condição Hidrológica	Tipo de Ruptura	Estrutura de Ruptura	Cenário
Dia Chuvoso (TR=10.000 anos)	Tubular Regressiva	Barragem de Terra	1
	Colapso Total (deslizamento/tombamento/flutuação)	Vertedouro + Casa de Força	2
	Galgamento	Barragem de Terra	3
Dia Chuvoso (TR=10.000 anos) + Descarga máxima dos vertedouros da UHE Jupia	Galgamento	Barragem de Terra	4
Dia Chuvoso (TR=10.000 anos) + Ruptura da UHE Jupia	Galgamento	Barragem de Terra	5
Dia Chuvoso (TR=10.000 anos)	Inundação da casa de força por ruptura da comporta de montante dos nichos	Casa de Força	6
Dia Ensolarado	Tubular Regressiva	Barragem de Terra	7
Dia Ensolarado	Colapso Total (deslizamento/tombamento/flutuação)	Vertedouro + Casa de Força	8
Dia Ensolarado + Descarga máxima dos vertedouros da UHE Jupia	Galgamento	Barragem de Terra	9
Dia Ensolarado + Ruptura da UHE Jupia	Galgamento	Barragem de Terra	10
Dia Ensolarado	Inundação da casa de força por ruptura da comporta de montante dos nichos	Estrutura de Concreto	11

5.2. HIDROGRAMAS DE RUPTURA

5.2.1. Volume de Água Mobilizado

O volume de água mobilizado representa o volume de água que seria transferido progressivamente para jusante ao longo de um processo de ruptura. Este volume foi definido por meio da curva cota-volume do reservatório. A Tabela 5 apresenta os volumes considerados em função dos cenários analisados. A Figura 6 mostra as cotas de referência utilizadas.

Tabela 5 – Volume de Água Mobilizado por Cenário.

Cenário	Cota do NA Imediatamente Antes da Ruptura (m)	Volume de Água Mobilizado (*) (hm³)
1	259	24855,2
2	259	24855,2
3	262	30980,6
4	262	30980,6
5	262	28245,2
6	259	24855,2
7	257	20786,6
8	257	20786,6
9	262	30980,6
10	262	30980,6
11	257	20786,6

(*) Os volumes mobilizados definidos para a cota 262 m, foram estimados a partir de uma regressão linear ajustada no intervalo entre as cotas 252,8 m e 258,25 m. A equação utilizada no cálculo apresentou $R^2 = 0,99$ e está mostrada abaixo.

$$V_{mob} = 2041,8x - 503971$$

$$V_{mob(cota\ 262)} = 30.980,6\text{ hm}^3$$

Onde:

x representa a cota

$$V_{mob} = \text{hm}^3$$

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK	FOLHA:	13 de 34

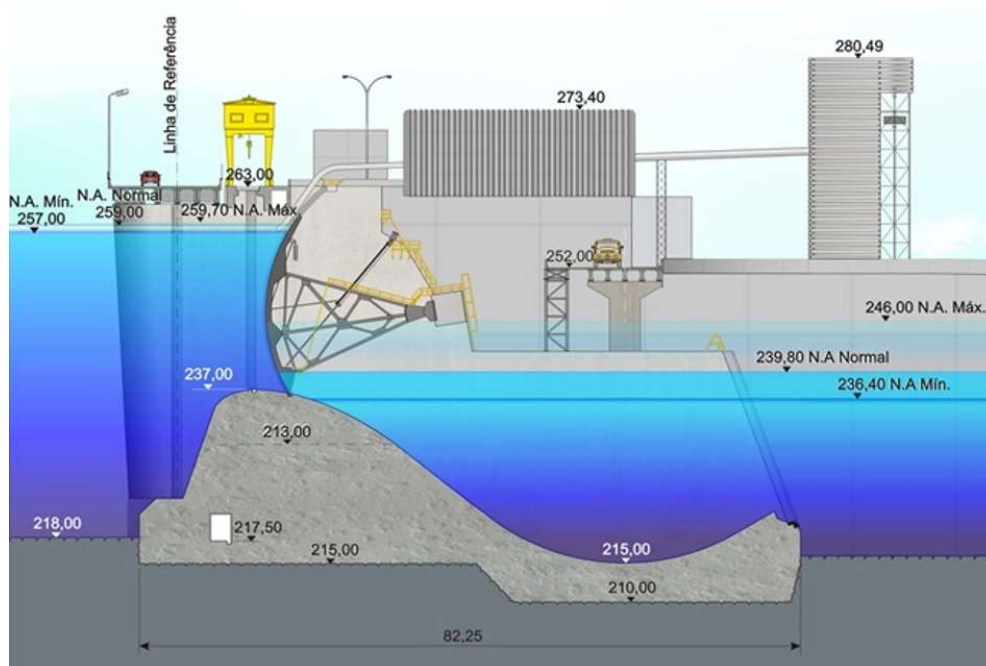


Figura 6 – Cotas de referência para o NA.

5.2.2. Parâmetros da Brecha

Os parâmetros de uma brecha em barragens de terra são função de diversos fatores, tais como: geometria da barragem, composição do material utilizado, método construtivo, inclinação dos taludes de montante e jusante, dimensões do reservatório, vazão afluente ao reservatório durante a ruptura e do tipo de ruptura.

A brecha formada em barragens de terra é geralmente estimada com progressão e geometria final trapezoidal. A Figura 7 apresenta a forma final comumente adotada para estudos de ruptura.

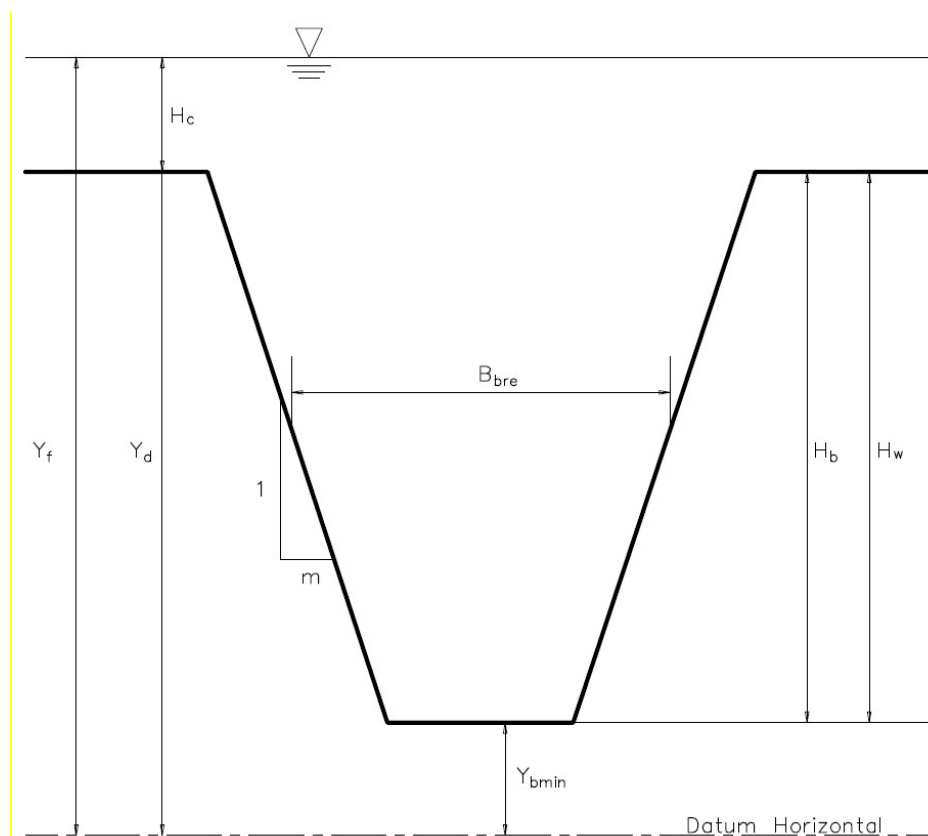


Figura 7 - Geometria final de brecha em barragens de terra. (adaptado de Froehlich, 2016).

A definição dos parâmetros da brecha em estudos de ruptura hipotética de barragens é feita por formulações semiempíricas desenvolvidas por meio de retroanálises de rupturas ocorridas. Existem diversas formulações propostas, no entanto, a variação de resultados para um mesmo barramento é frequentemente grande.

Os parâmetros mais influentes no dano potencial da ruptura são a largura média da brecha (B_{bre}) e o tempo de formação da brecha ou tempo de ruptura (t_{rup}).

As tabelas 6 e 7 apresentam, respectivamente, diversas formulações para o cálculo da largura da brecha e do tempo de ruptura em barragens de terra.

Tabela 6 - Formulações para estimativa de largura média de brecha em barragens de terra.

TIPO DE BARRAGEM	AUTOR	FORMULAÇÃO
TERRA	FREAD e HARBAUGH, 1973	$\bar{B}_{bre} = 2,15764 k_0 (V_{res} H_{barr})^{0,25}$
	JOHNSON e ILLES, 1976	$0,5 H_{barr} \leq \bar{B}_{bre} \leq 3 H_{barr}$
	FERC, 1987	$2 H_{barr} \leq \bar{B}_{bre} \leq 4 H_{barr}$
	SINGH, 1989	$2 H_{barr} \leq \bar{B}_{bre} \leq 5 H_{barr}$
	USBR, 1989	$H_{barr} \leq \bar{B}_{bre} \leq 3 H_{barr}$
	VON THUN e GILLETTE, 1990	$\bar{B}_{bre} = 2,5 H_{hid} + C_b$
		Volume do reservatório (m³)
		C _b (m)
		< 1,23 x 10 ⁶
		1,23 x 10 ⁶ - 6,17 x 10 ⁶
		6,17 x 10 ⁶ - 1,23 x 10 ⁷
		> 1,23 x 10 ⁷
	WISEU, 1994	$\bar{B}_{bre} \approx 2,5 H_{barr}$
	FROEHLICH, 1995	$\bar{B}_{bre} = 0,1803 k_0 V_{hid}^{0,32} H_{bre}^{0,19}$ k ₀ = 1,4 para galgamento k ₀ = 1 para rupturas não hidrológicas
	FROEHLICH, 2008	$\bar{B}_{bre} = 0,27 k_0 V_w^{0,32} H_b^{0,04}$ k ₀ = 1,4 para galgamento k ₀ = 1 para rupturas não hidrológicas
	FROEHLICH, 2016	$\bar{B}_{bre} = 0,23 k_0 V_w^{1/3}$ k ₀ = 1,5 para galgamento k ₀ = 1 para piping

Onde:

$V_{res} = V_w$ = Volume do reservatório da barragem no momento da ruptura [m³] (Volume mobilizado);

H_{hi} = Altura hidráulica [m];

H_{barr} = Altura da barragem [m];

$\bar{B}_{bre}$ = Largura média de brecha [m];

H_{hi} = Carga hidráulica máxima sobre a base da brecha [m];

C_b = Fator compensatório que varia em função do volume do reservatório da barragem;

V_{hid} = Diferença entre o volume do reservatório no instante inicial e o volume do reservatório com nível na soleira inferior da brecha [m³];

K_0 = Fator de ponderação adimensional, que é ajustado manualmente em função do volume do reservatório e varia geralmente de 0,01 a 5;

V_w = Volume de água [mm/m];

H_b = Altura da barragem [m].

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK		FOLHA: 16 de 34

Tabela 7 - Formulações para estimativa do tempo de formação da brecha.

TIPO DE BARRAGEM	AUTOR	TEMPO DE FORMAÇÃO DA BRECHA (TEMPO DE RUP)
TERRA	FREAD e HARBAUGH, 1973	$t_{rup} = 0,00714 V_{res}^{0,47} H_{bre}^{-0,9}$
	FROELICH, 1987.	$t_{rup} = 0,007 \sqrt{\frac{V_{res}}{(H_{bre})^2}}$
	USBR, 1988.	$t_{rup} = 0,011 B_{bre}$
	USBR, 1989.	$0,5 \text{ h} \leq t_{rup} \leq 3 \text{ h}$ (bem construída)
		$0,1 \text{ h} < t_r < 0,5$
	SINGH, 1989.	$0,25 \text{ h} \leq t_{rup} \leq 1,0 \text{ h}$
	Von THUN e GILETTE, 1990.	$t_{rup} = 0,02 H_{hid} + 0,25$
	Von THUN e GILETTE, 1990.	$t_{rup} = \frac{B_{bre}}{4H_{hid}}$
	FROELICH, 1995.	$t_{rup} = 0,00254 \left(\frac{V_{hid}^{0,53}}{H_{bre}^{0,9}} \right)$
	HARTFORD e KARTHA, 1995.	$t_{rup} = 1/30 H_{barr}$
	FERC, 1997.	$0,1 \text{ h} \leq t_{rup} \leq 1,0 \text{ h}$
	WISEU, 2006.	$t_{rup} = 1,5 \text{ h}$
	FROELICH, 2016.	$t_{rup} = 0,0167 \sqrt{\frac{V_{res}}{gH_{bre}^2}}$

A formulação escolhida para o caso da barragem de terra da UHE Porto Primavera foi a mais recente, proposta por Froehlich (2016). De todas as formulações apresentadas, esta é a mais bem documentada, possuindo 111 casos de ruptura como embasamento da formulação proposta. Além da largura e do tempo de formação da brecha, tal formulação também apresenta valores médios de declividade para os taludes da brecha, sendo estes da ordem de 1V:0,6H no caso de piping e 1V:1H no caso de galgamento.

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK		FOLHA: 17 de 34

As tabelas 8 e 9 apresentam, respectivamente, algumas recomendações para largura de brecha e tempo de ruptura em barragens de concreto gravidade e arco.

Tabela 8 - Recomendação de largura de brecha para barragens de concreto.

Tipo de barragem	Caracterização da brecha	Valores a adoptar
Betão gravidade	Largura média da brecha ($\bar{B}_{bre}$)	Um múltiplo de vários blocos, sendo $\bar{B}_{bre} \leq 0,5 B_{barr}$
	Inclinação do lado	1V:0H
	Tempo de rotura (horas)	0,1 a 0,5
Betão em arco	Largura média da brecha ($\bar{B}_{bre}$)	Toda a largura da barragem ou $\bar{B}_{bre} \geq 0,8 B_{barr}$
	Inclinação do lado	Inclinação do vale
	Tempo de rotura (horas)	Quase instantânea

Fonte: (USBR, 1989).

Tabela 9 - Tempos de ruptura em barragens de concreto.

Autor	Tipo de Barragem	Tempo de Ruptura
BOSS DAMBRK (1991)	Concreto Gravidade	Entre 6 e 30min
	Concreto em Arco	Instantâneo
USBR (1989)	Concreto Gravidade	≤ 12 min
	Concreto em Arco	≤ 6 min

Para as estruturas em concreto gravidade (Vertedouro e Casa de Força), utilizou-se as recomendações do USBR (1989). A Tabela 10 apresenta os valores finais obtidos para cada cenário de análise. Ressalta-se que os valores de tempo de ruptura representam o tempo decorrido entre o início da formação da brecha até a formação de sua geometria final.

Tabela 10 - Parâmetros da brecha para todos os cenários.

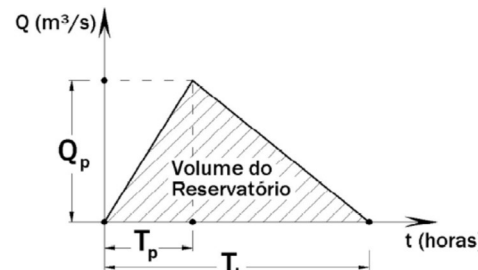
Cenário	B_{bre} (m)	t_{rup} (h)	m
1	657	37,02	0,6
2	1000	0,1	*
3	986	37,02	1
4	986	37,02	1

5	986	37,02	1
6	685	0,1	*
7	657	37,02	0,6
8	1000	0,1	*
9	986	37,02	1
10	986	37,02	1
11	685	0,1	*

5.2.3. Desenvolvimento do Hidrograma de Ruptura

O hidrograma de ruptura pode ser determinado a partir de diversos modelos analíticos, os modelos mais comuns são o modelo triangular simplificado e o modelo com decaimento parabólico. A Tabela 11 apresenta os modelos referidos.

Tabela 11 - Modelos de hidrograma.

AUTOR	HIDROGRAMA
Hidrograma triangular simplificado (MASCARENHAS, 1990)	 $Q_{\text{máx}} = \frac{2V_r}{T_b}, \text{ para } T_p = 0$ $Q(t) = Q_{(\text{máx})} - Q_{(\text{máx})} \left(\frac{t - T_p}{T_b - T_p} \right), \text{ para } T_p \neq 0$
Hidrograma com decaimento parabólico (BARFIELD et al., 1981)	 $Q(t) = Q_{\text{máx}} \left[\left(\frac{t}{T_p} \right) e^{\left(1 - \frac{t}{T_p} \right)} \right]^k$

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK		FOLHA: 19 de 34

Onde:

Q_p = Descarga máxima efluente da barragem na 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 = Coeficiente de ajuste.

Uma outra maneira de estimar o hidrograma de ruptura é por meio de uma simulação do evento da ruptura no programa HEC RAS. O procedimento resumido consiste em introduzir os parâmetros da brecha, os dados do reservatório e o tipo de ruptura. Este procedimento pode ser acoplado com a simulação de propagação dos hidrogramas.

No presente relatório, optou-se pela estimativa do hidrograma de ruptura com base em simulação numérica utilizando o programa HEC RAS versão 5.0.7. O Apêndice 4 apresenta todos os hidrogramas de ruptura simulados.

5.3. PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS

5.3.1. Caracterização do Trecho de Propagação

O Alto rio Paraná apresenta um padrão multicanal, que pode ser considerado como um misto de canal entrelaçado e anastomosado (FERNANDEZ & SOUZAFILHO, 1995; STEVAUX et al., 2004), até o início do reservatório de Hidrelétrica de Itaipu, nas imediações do município de Guaíra, no estado do Paraná, onde encontra-se o trecho do salto das Sete Quedas. A partir deste trecho, tem-se o afunilamento da calha do rio Paraná e, por consequência, de suas águas. O rio Paraná apresenta-se encaixado e ajustado em um cânion, representado por uma estrutura tectônica regional, onde formou-se uma grande falha que separa dois blocos litológicos da Formação Serra Geral.

O trecho de propagação do hidrograma de ruptura é delimitado pelo rio Paraná por aproximadamente 381 km a jusante da UHE Porto Primavera. A região é caracterizada pela predominância de áreas de pasto, áreas agrícolas, várzeas de rio, solo exposto e corpo d'água. O Relatório nº 4638-PP-12-GL-540-RT-0001 – UHE Porto Primavera – Estudo de Classificação do Uso e Ocupação do Solo apresenta esta classificação detalhada e o Mapa nº 4638-PP-12-GL-540-MP-001 ilustra a Classificação do Uso e Ocupação do Solo da região de jusante delimitada.

5.3.2. Coeficientes de Manning

O coeficiente de Manning traduz o grau de rugosidade da superfície de escoamento. Como premissa de projeto, tais coeficientes foram definidos como sendo variáveis em função do uso e ocupação do solo na região de propagação da onda de inundação. De acordo com as regiões classificadas, os seguintes valores foram adotados:

Tabela 12 – Coeficientes de Manning.

Região	n
Canal do Rio Paraná	0,05
Água	0,01
Área Agropastoril	0,03
Floresta	0,08
Várzea de Rio	0,025
Solo Exposto	0,035
Urbana	0,09

Fonte: Washington State Department of Ecology (2007).

5.3.3. Condições Iniciais e Condições de Contorno

Para todos os cenários foram adotadas as seguintes condições iniciais:

- Comporta da eclusa fechada;
- O NA no reservatório da UHE Itaipu foi considerado como normal (220,30 m);
- Vazão operacional da UHE Rosana foi considerada desprezível.

As condições de contorno para todos os cenários foram as seguintes:

- Hidrograma de ruptura da estrutura rompida e/ou hidrograma de cheia (TR10.000 anos);
- Comportas do vertedouro da UHE Itaipu fechadas;
- Declividade média do canal do rio Paraná.

5.3.4. Critério de Parada da Propagação da Onda de Ruptura

A premissa utilizada para o fim da propagação do hidrograma de ruptura foi a chegada do mesmo ao eixo da UHE Itaipu.

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK		FOLHA: 21 de 34

5.3.5. Critério para Definição das Zonas de Autossalvamento (ZAS)

De acordo com a resolução nº 236/2017 da ANA, a delimitação das Zonas de Autossalvamento pode ser feita a partir dos seguintes critérios: “distância que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual ou inferior a 30 min ou 10 km”. Deve-se escolher a maior distância atingida pela mancha em função desses dois critérios.

5.3.6. Modelo Numérico

O modelo numérico de propagação do hidrograma de ruptura e o consequente mapeamento das áreas inundadas, foi realizado por meio do software HEC-RAS versão 5.0.7, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center – U. S. Army Corps of Engineers* (HEC-USACE). O programa é capaz de determinar a propagação do hidrograma de ruptura e os níveis de elevação a partir de simulações unidimensionais e bidimensionais baseado nas equações de *Saint-Venant*. Para o estudo em questão, utilizou-se simulações bidimensionais.

Foi adotada uma malha para o canal de forma separada das demais regiões. O intervalo de computação inicial recomendado é equivalente ao tempo de pico do hidrograma de ruptura dividido por 20. No entanto, esse valor não se mostrou adequado gerando instabilidade durante a modelagem. Adotou-se então um intervalo de computação controlado pelo coeficiente de *Courant* com faixa de valores entre 5 e 40 segundos, o que garantiu simulações com excelente estabilidade, apresentando coeficiente de *Courant* entre 0,3 e 1.

5.4. MAPAS DE INUNDAÇÃO

5.4.1. Seções Transversais

Para o cenário mais crítico simulado, utilizou-se 16 seções transversais a jusante da UHE Porto Primavera como seções de controle para a verificação dos resultados simulados. As seções transversais definidas estão posicionadas no Mapa nº 4638-PP-12-GL-540-MP-002 – UHE Porto Primavera – Plano de Ação de Emergência (PAE) – Mapa das Seções Transversais.

5.4.2. Parâmetros de Inundação

Os parâmetros de inundação observados foram a inundação máxima, a velocidade de fluxo máxima e o risco hidrodinâmico máximo associados ao cenário mais crítico de ruptura analisado. O risco hidrodinâmico reflete o potencial de destruição da onda de inundação, ele é calculado da seguinte forma:

$$R_{hidro} = v * h$$

Onde: v é a velocidade da onda de inundação e h é a profundidade da onda de inundação.

Diversos trabalhos apresentam limites de classificação do risco hidrodinâmico. No entanto, até o presente estudo, nenhuma norma brasileira aborda esta classificação.

Para fins de classificação neste trabalho, utilizou-se o estudo realizado por Smith et al. (2014) que é adotado pelo guia “*Australian Rainfall and Runoff a guide to flood estimation*” e está sintetizado na Tabela 13.

Tabela 13 - Classificação de danos quando ao risco hidrodinâmico.

Classificação	Danos	Critério de Classificação
H1	Área segura para pessoas, veículos e edificações	$v < 2,0 \text{ m/s}$; $h < 0,3 \text{ m}$ $R_{hidro} \leq 0,3 \text{ m}^2/\text{s}$
H2	Possíveis danos em veículos pequenos (exceto SUV e afins)	$v < 2,0 \text{ m/s}$; $h < 0,5 \text{ m}$ $R_{hidro} \leq 0,6 \text{ m}^2/\text{s}$
H3	Todos os tipos de veículos estão sujeitos a danos. Perigoso para crianças e idosos	$v < 2,0 \text{ m/s}$; $h < 1,2 \text{ m}$ $R_{hidro} \leq 0,6 \text{ m}^2/\text{s}$
H4	Todos os tipos de veículos estão sujeitos a danos. Perigoso para todas as pessoas.	$v < 2,0 \text{ m/s}$; $h < 2,0 \text{ m}$ $R_{hidro} \leq 1 \text{ m}^2/\text{s}$
H5	Todos os tipos de veículos estão sujeitos a danos. Perigoso para todas as pessoas. Todas as edificações estão sujeitas a danos estruturais. Edificações menos resistentes estão sujeitas ao colapso total.	$v < 4,0 \text{ m/s}$; $h < 4,0 \text{ m}$ $R_{hidro} \leq 4 \text{ m}^2/\text{s}$
H6	Todos os tipos de veículos estão sujeitos a danos. Perigoso para todas as pessoas. Todas as edificações estão sujeitas ao colapso total.	$R_{hidro} > 4 \text{ m}^2/\text{s}$

6. RESULTADOS

6.1. PROPAGAÇÃO DOS HIDROGRAMAS

Após uma avaliação geral de todos os cenários simulados, verificou-se que as áreas de inundação máxima são muito semelhantes. O Cenário 5 apresenta área de inundação máxima ligeiramente maior que os outros cenários. No entanto, em relação aos tempos de chegada da frente de onda nas seções de controle, o cenário que apresentou tempos menores foi o Cenário 2.

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK		FOLHA: 23 de 34

O estabelecimento da condição mais crítica foi feito com base na Zona de Autossalvamento. Definiu-se que o cenário mais crítico seria aquele com maior Zona de Autossalvamento. Neste sentido, o Cenário 2 foi considerado o mais crítico.

Detalhando os resultados do cenário mais crítico, observou-se que, a partir da Seção 12, os hidrogramas apresentam dois picos. O primeiro mais associado a ruptura da barragem e o segundo mais associado a cheia decamilenar inserida como condição inicial no reservatório. A partir da Seção 14 o segundo pico fica maior que o primeiro mostrando que a contribuição da cheia decamilenar, a partir dessa seção, se faz mais pronunciada que a cheia induzida pela ruptura da barragem.

O hidrograma de ruptura do cenário mais crítico (Cenário 2) foi detalhado em cada seção transversal de controle para refletir a propagação da onda de inundação através da região de jusante. A Tabela 14 apresenta os principais dados obtidos em cada seção transversal analisada. A Figura 8 apresenta os hidrogramas em cada seção transversal analisada.

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK		FOLHA: 24 de 34

Tabela 14 – Parâmetros de Inundação.

Seção	Cidade	Estado	País	Distância em Relação a Estrutura Rompida (km)	Vazão Máxima (m³/s)	Vazão Máxima - Primeiro Pico (m³/s)	Prof. Máxima do NA (m)	Elevação Máxima do NA (m)	Tempo de Chegada da Frente de Onda (h)	Tempo de Chegada do Primeiro Pico (h)	Risco Hidrodinâmico Máximo
Ruptura	Rosana/Anaurilandia/Batayporã	SP/MS/MS	BR	0	117534.9	117534.9	32.0	259.0	0.00	0.42	H6
01	Rosana/Batayporã	SP/MS	BR	6	107603.8	107603.8	12.0	242.9	0.17	2.83	H6
02	Taquarussu/São Pedro do Paraná/Batayporã/Marilena	MS/PR/MS/PR	BR	31	93598.8	93598.8	19.1	240.8	1.17	13.25	H6
03	Taquarussu/Porto Rico	MS/PR	BR	56	89434.5	89434.5	14.6	239.3	2.58	18.08	H6
04	Querência do Norte/Jatei/Novo Horizonte do Sul/Taquarussu	PR/MS/MS/MS	BR	81	85782.1	85782.1	16.6	237.4	4.08	24.75	H6
05	Naviraí/Querência do Norte	MS/PR	BR	106	83748.3	83748.3	12.7	235.3	6.92	30.00	H6
06	Naviraí/Querência do Norte/Icaraíma	MS/PR/PR	BR	131	81574.0	81574.0	16.0	233.8	8.67	35.83	H6
07	Icaraíma/Naviraí/Alto Paraíso	PR/MS/PR	BR	156	80418.7	80418.7	10.5	231.0	13.00	40.17	H6
08	Itaquirai/Alto Paraíso	MS/PR	BR	181	79490.8	79490.8	16.2	229.5	13.33	44.25	H6
09	São Jorge do Patrocínio/Eldorado/Altônia	PR/MS/PR	BR	206	78379.0	78379.0	10.7	228.9	6.75	47.42	H6
10	Guaíra/Mundo Novo	PR/MS	BR	231	73022.4	73022.4	11.6	228.5	6.83	48.17	H6
11	Guaíra	PR	BR	256	68166.3	68166.3	57.3	228.3	6.92	48.17	H6
12	Guaíra	PR	BR	281	66084.9	66084.9	103.1	228.3	7.00	48.17	H6
13	Marechal Cândido Rondon	PR	BR	306	60044.9	60044.9	126.3	228.3	7.25	48.17	H6
14	Santa Helena	PR	BR	331	53913.8	47766.0	127.3	228.3	7.58	48.17	H6
15	Santa Helena	PR	BR	356	53528.5	34128.7	114.3	228.3	7.83	48.17	H6
16	Itaipulândia	PR	BR	381	53271.3	18793.9	51.3	228.3	8.08	48.17	H6

CONTRATO: N° 4601021827/PEDIDO N° 4513252405
UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera

N° 4638-PP-12-GL-810-RT-0001

TÍTULO: UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK

FOLHA: 25 de 34

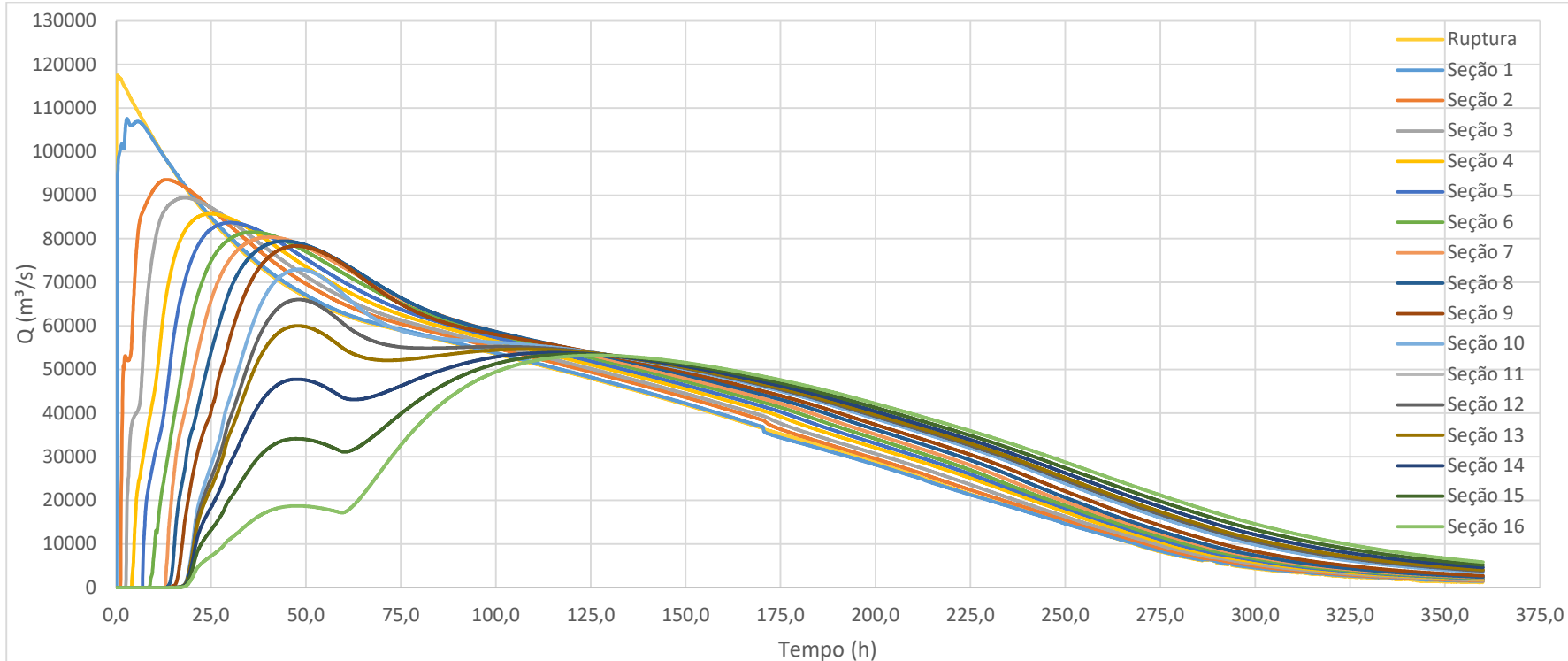


Figura 8 – Hidrogramas em cada seção analisada - (Cenário 2).

6.2. MAPAS DE INUNDAÇÃO

Como esperado, notou-se certo afunilamento da mancha de inundação nas imediações do município de Guaíra, no estado do Paraná, onde encontra-se o trecho do salto das Sete Quedas.

A distância atingida pela mancha de inundação mais crítica (Cenário 2) nos primeiros 30 min foi de aproximadamente 15,5 km, dessa forma a distância adotada como base para delimitação da ZAS foi de 15,5 km a partir do barramento da UHE Porto Primavera.

As manchas de inundação geradas por meio da modelagem numérica foram tratadas em ferramentas GIS para elaboração dos mapas finais. Foi gerado um total de 539 mapas incluindo Zonas de Autossalvamento (ZAS), Zonas de Salvamento Secundária (ZSS), geral da ruptura, velocidade máxima e risco hidrodinâmico nos 11 cenários de ruptura analisados. Todos os mapas foram entregues em meio digital na extensão “pdf” e “Shapefile”. Os 62 mapas referentes ao Cenário 2 foram entregues também em meio físico.

7. CONCLUSÃO

O objetivo deste relatório foi o de descrever a modelagem numérica da ruptura hipotética da Barragem Porto Primavera em 11 cenários de análise.

O estudo mostrou que o cenário mais crítico analisado é o Cenário 2, referente ao colapso do barramento de concreto durante um período de chuva intensa com TR 10.000 anos. Os resultados permitiram a produção de mapas de inundação para a região a jusante do barramento. Verificou-se que a extensão da inundação devido a ruptura é da ordem de 381 km e pode ser dividida em dois trechos. O primeiro, compreendido entre a barragem e a Seção 10 e um segundo trecho compreendido entre a Seção 10 e a Seção 16. No primeiro trecho a máxima velocidade de propagação foi da ordem de 14,1 m/s, a profundidade máxima atingida foi de 19,1 m e o risco hidrodinâmico máximo foi classificado como H6, ou seja, superior a 4 m/s². No segundo trecho, verificou-se máxima velocidade de propagação da ordem de 14.23 m/s, profundidade máxima de 127,3 m e risco hidrodinâmico máximo classificado com H6.

A Tabela 15 apresenta um resumo dos danos totais estimados para o Cenário 2. A estimativa do número de pessoas atingidas foi feita em função da consideração de 4 pessoas por edificação afetada.

Tabela 15 – Danos totais estimados.

Danos Estimados	
Municípios	56
Edificações	1277
Pontes	14
Estruturas de Concentração de Pessoas	4
Pessoas	5108

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK		FOLHA: 27 de 34

Cabe ressaltar que o estudo ora apresentado é hipotético e está sujeito a incertezas associadas as premissas e critérios adotados. O estudo não possui a finalidade de estimar a probabilidade de rompimento da UHE Porto Primavera, mas sim de embasar a elaboração de um plano de ação de emergência para uma eventual ruptura. Avaliações de probabilidade de ruptura podem e devem ser conduzidas em estudos específicos com a finalidade de estimar os cenários de ruptura mais prováveis. Essa abordagem permite a elaboração de estratégias de preparação e resposta frente a um desastre de forma mais específica e menos onerosa.

CONTRATO:	Nº 4601021827/PEDIDO Nº 4513252405 UHE Paraibuna e UHE Porto Primavera	Nº	4638-PP-12-GL-810-RT-0001
TÍTULO:	UHE PORTO PRIMAVERA – SIMULAÇÃO DE RUPTURA – DAM BREAK		FOLHA: 28 de 34

8. REFERÊNCIAS

- BUREAU OF RECLAMATION (1987). Design of Small Dams. 3º Edition, United States Department of the Interior, Water Resources Technical Publication.
- CANADIAN DAM ASSOCIATION - CDA (2014). Technical Bulletin: Application of Dam Safety Guidelines to Mining Dams, 2014.
- CHOW, V.; MAIDMENT, D; MAYS, L. (1988). Applied hydrology. McGraw-Hill, 572 p., New York.
- FEMA – Federal Emergency Management Agency. Federal Guidelines for Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incidents and Failures, First Edition, P-946, 2013.
- Federal Energy Regulatory Commission (FERC). 1993. Engineering Guidelines for the Evaluation of Hydropower Projects.
- FERNANDEZ, O.V.Q. & SOUZA FILHO, E.E. (1995) – Efeitos do regime hidrológico sobre a evolução de um conjunto de ilhas no rio Paraná. Bol. Paranaense de Geociências, 43. Pp 161-171.
- FROEHLICH, D. C. Embankment dam breach parameters and their uncertainties. Journal of Hydraulic Engineering, v. 134, n. 12, p. 1708-1721, December, 2008.
- FROEHLICH, D. C. Empirical Model of Embankment Dam Breaching. International Conference on Fluvial Hydraulics. Saint Louis, EUA. 2016.
- USACE – U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Brunner: Hydrologic Engineering Center (HEC), 547 p., 2018.
- FROEHLICH, D. C., TUFAIL, M. Evaluation and Use of Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties. In PROCEEDINGS OF THE ANNUAL CONFERENCE OF THE ASSOCIATION OF STATE DAM SAFETY OFFICIALS, Phoenix, 2004, 15 p.
- STEVAUX JC, SOUZA FILHO EE, MEDEANIC S & YAMSKIKH G. The Quaternary history of the Paraná river and its floodplain. In: THOMAS, S. M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, N. S. The Upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation. Netherlands: Backhuys Publishers, p. 31-53, 2004.

9. APÊNDICES

- Apêndice 1 – Resumo dos Danos Potenciais;
- Apêndice 2 – Quantitativo de Edificações, Pontes e Estruturas de Concentração de Pessoas por Município;
- Apêndice 3 – Localização das Pontes e Estruturas de Concentração de Pessoas;
- Apêndice 4 – Hidrogramas de Ruptura de Todos os Cenários.

APÊNDICE 1**(RESUMO DOS DANOS POTENCIAIS)**

Descrição	Brasil
Edificações	1277
Pontes	14
Estruturas de Concentração de Pessoas	4
Municípios Atingidos	56
Municípios com Edificações Atingidas	27
Municípios com Pontes Atingidas	11
Municípios com Estruturas de Concentração de Pessoas Atingidas	4
Edificações em ZAS	24
Edificações em ZSS	1253
Pessoas Atingidas	5108

Figura 9 – Resumo dos danos potenciais.

APÊNDICE 2

(QUANTITATIVO DE EDIFICAÇÕES, PONTES E ESTRUTURAS DE CONCENTRAÇÃO DE PESSOAS POR MUNICÍPIO)

ID	Nome do Município	UF	Edificações	Pontes	Áreas de Concentração de Pessoas
1	Rosana	SP	154	0	0
2	Altônia	PR	16	0	0
3	Amaporã	PR	0	0	0
4	Cidade Gaúcha	PR	0	0	0
5	Diamante do Norte	PR	0	0	0
6	Diamante D'Oeste	PR	1	0	0
7	Douradina	PR	0	0	0
8	Entre Rios do Oeste	PR	4	1	0
9	Foz do Iguaçu	PR	62	0	0
10	Francisco Alves	PR	0	0	0
11	Guaíra	PR	190	2	1
12	Guaporema	PR	0	0	0
13	Icaraíma	PR	28	1	0
14	Iporã	PR	0	0	0
15	Itaipulândia	PR	0	0	0
16	Ivaté	PR	0	0	0
17	Marechal Cândido Rondon	PR	53	0	0
18	Marilena	PR	19	0	0
19	Medianeira	PR	0	0	0
20	Mercedes	PR	2	1	0
21	Mirador	PR	0	0	0
22	Missal	PR	0	0	0
23	Nova Londrina	PR	0	0	0
24	Paraíso do Norte	PR	0	0	0
25	Pato Bragado	PR	4	1	1
26	Planaltina do Paraná	PR	0	0	0
27	Porto Rico	PR	23	0	0
28	Querência do Norte	PR	161	0	0
29	Rondon	PR	0	0	0
30	Santa Cruz de Monte Castelo	PR	0	0	0
31	Santa Helena	PR	125	1	0
32	Santa Isabel do Ivaí	PR	0	0	0
33	Santa Mônica	PR	0	0	0
34	Santa Terezinha de Itaipu	PR	13	0	0
35	São Jorge do Patrocínio	PR	0	0	0
36	São José das Palmeiras	PR	0	0	0
37	São Miguel do Iguaçu	PR	2	0	0
38	São Pedro do Paraná	PR	21	0	0
39	Tapira	PR	0	0	0
40	Terra Roxa	PR	8	0	1
41	Alto Paraíso	PR	28	1	0
42	Amambai	MS	0	0	0
43	Anaurilândia	MS	1	0	0

44	Batayporã	MS	172	1	1
45	Eldorado	MS	22	0	0
46	Iguatemi	MS	0	0	0
47	Itaquiraí	MS	7	0	0
48	Ivinhema	MS	0	0	0
49	Japorã	MS	0	0	0
50	Jateí	MS	0	0	0
51	Juti	MS	0	0	0
52	Mundo Novo	MS	90	1	0
53	Naviraí	MS	15	4	0
54	Nova Andradina	MS	0	0	0
55	Novo Horizonte do Sul	MS	0	0	0
56	Taquarussu	MS	56	0	0

Figura 10 – Estruturas possivelmente atingidas em cada município afetado.

APÊNDICE 3

(LOCALIZAÇÃO DE PONTES E ESTRUTURAS DE CONCENTRAÇÃO DE PESSOAS)

ID	Nome	X	Y	Sistema de Coordenadas
1	Ponte 1	-53.0774791	-22.5093952	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
2	Ponte 2	-53.2685530	-22.7694918	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
3	Ponte 3	-53.7548604	-23.3660609	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
4	Ponte 4	-53.7698857	-23.3731077	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
5	Ponte 5	-53.7802525	-23.3656700	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
6	Ponte 6	-53.8032062	-23.3444259	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
7	Ponte 7	-54.3153997	-24.0726575	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
8	Ponte 8	-53.8408245	-23.3193470	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
9	Ponte 9	-53.8218207	-23.3242994	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
10	Ponte 10	-54.2658417	-24.0504352	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
11	Ponte 11	-54.2416380	-24.0695053	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
12	Ponte 12	-54.2406059	-24.0744687	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
13	Ponte 13	-54.1503058	-24.3720332	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
14	Ponte 14	-54.3191122	-24.8076651	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000

Figura 11 – Pontes possivelmente atingidas.

ID	Nome	X	Y	Sistema de Coordenadas
1	ECP 1	-52.9593190	-22.4715283	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
2	ECP 2	-54.2452576	-24.0738568	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
3	ECP 3	-54.0000000	-24.0000000	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000
4	ECP 4	-54.3063890	-24.6513890	Coordenadas Geográficas SIRGAS 2000

Figura 12 – Estruturas de Concentração de Pessoas possivelmente atingidas.

APÊNDICE 4 (HIDROGRAMAS DE RUPTURA)

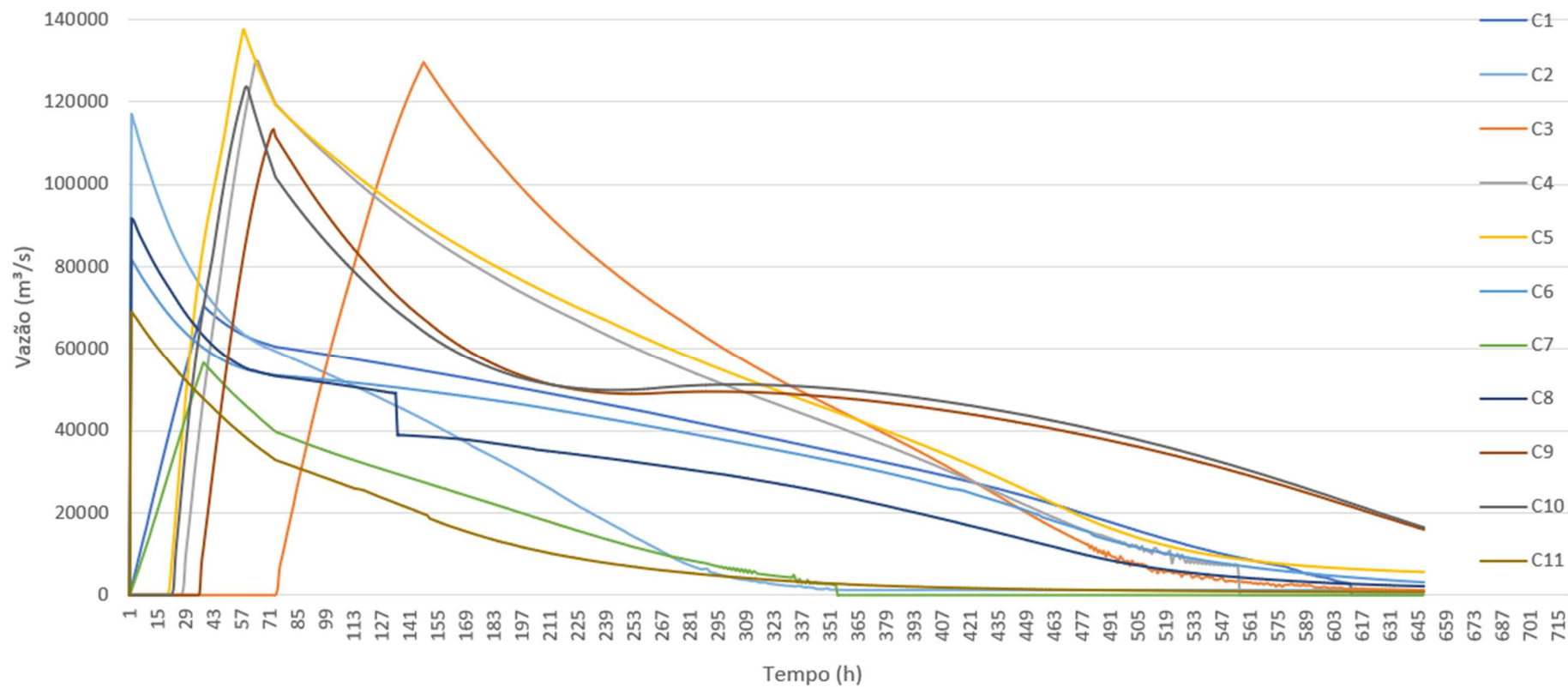


Figura 13 – Hidrogramas de ruptura.