



PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA - PAE

PCH SALTO FORQUETA



SFQ-BA-PAE-001-01-21 NOVEMBRO/2021

Presidente Presidente:

Erineo José Hennemann

Cooperativa de Distribuição de
Energia Teutônia – CERTEL
ENERGIA

Responsável Técnico Seg.

Barragem: Rodrigo da Cas - Certel

Eng. Civil - CREA/RS: 212636

Responsável elaboração PAE:

Henrique Y. Vieira– Prosenge Eng.

Eng. Civil - CREA PR 61.964/D

01	08/12/2021	Revisado conf. com comentários	PBE	Prosenge Projetos e Engenharia
00	08/11/2021	Emissão inicial	PBE	Prosenge Projetos e Engenharia
Revisão	Data	Objeto da revisão	Redação	Empresa

1	INTRODUÇÃO	7
2	HISTÓRICO.....	8
2.1	Objetivo	8
2.2	Organização do Relatório	8
3	INFORMAÇÕES GERAIS DA BARRAGEM.....	10
3.1.1	Localização e acessos.....	14
3.1.2	Reservatório	16
3.1.3	Usinas de jusante	17
3.1.4	Barragem.....	19
3.1.5	Vertedouro.....	19
3.2	Circuito Hidráulico de Adução.....	20
3.2.1	Tomada de Água	20
3.2.2	Túnel de Adução.....	21
3.2.3	Chaminé de Equilíbrio.....	21
3.2.4	Conduto Forçado	21
3.2.5	Casa de Força e Canal de Fuga	21
3.3	Instrumentação Existente.....	22
3.4	Níveis Operacionais e Ficha Técnica.....	22
4	DETECÇÃO, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA	
	33	
4.1	Avaliação do Risco	33
4.1.1	Risco Hidrológico.....	33
4.1.2	Risco de Colapso Estrutural.....	34
4.2	Identificação das Emergências Potenciais	34
4.2.1	Classificação das Situações	35
5	ESTUDO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM	37
5.1	Metodologia	37
5.1.1	Geografia da Região e Geometria do Rio	37
5.1.2	Tipo e Geometria da Barragem.....	38
5.1.3	Potenciais Causas de Rompimento de Barragem	38

5.1.4	Galgamento	38
5.1.5	Infiltração (Piping)	39
5.1.6	Falhas nas fundações e estruturais	39
5.1.7	Ações de guerra	40
5.1.8	Casos Estatísticos	40
5.1.9	Formação da Brecha	40
5.1.10	Tamanho da Brecha.....	41
5.1.11	Tempo de Rompimento.....	42
5.1.12	Trecho do Cálculo.....	42
5.1.13	Modelagem Matemática.....	44
5.1.14	Identificação das áreas atingidas	45
5.1.15	Apresentação dos valores de altura ao longo do tempo.....	45
5.1.16	Zoneamento de Risco	45
5.2	Dados de entrada utilizados.....	49
5.2.1	Trecho da análise	49
5.2.2	Geografia da região e geometria do rio.....	49
5.2.3	Geometria da barragem.....	51
5.2.4	Hidrograma de Cheias	52
5.2.5	Capacidade de descarga do vertedouro	54
5.2.6	Calibração do modelo matemático	54
5.3	Causa considerada para o rompimento	60
5.3.1	Dados utilizados para formação da brecha	60
5.4	Simulações Realizadas.....	61
5.4.1	Resultados Básicos Simulação 1	61
5.4.2	Resultados Básicos Simulação 2	62
5.5	Altura Máxima da Onda	62
5.6	Limite Físico a Jusante da PCH Salto Forqueta.....	82
5.7	Relação Nível de água x Tempo das Seções de Interesse	82
5.7.1	SL-124 – Casa de Força Salto Forqueta.....	82

5.7.2	SL-113 – Ponte Jusante	83
5.7.3	SL-83 – Limite da ZAS.....	84
5.7.4	SL-1 – Limite Zona Segurança Secundária.....	84
5.8	Resumo Geral das Seções de Interesse	85
6	AGÊNCIAS E ENTIDADES ENVOLVIDAS	89
6.1	Agentes Internos.....	89
6.2	Agentes Externos	89
6.3	Identificação e contatos do Empreendedor, do Coordenador do PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificação	90
7	CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA E RISCO DE RUPTURA.....	92
7.1	Condição Hidrológica.....	92
7.2	Condição Estrutural	92
7.2.1	Monitoramento das Estruturas	92
7.2.2	Revisão Periódica de Segurança	94
7.2.3	Tramitação das Informações.....	94
8	RESPONSABILIDADES DE TODOS OS AGENTES ENVOLVIDOS	101
8.1	Agente Interno – COOPERATIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA TEUTÔNIA – CERTEL ENERGIA	101
8.2	Agentes Externos	102
8.3	Atribuições Conjuntas entre a Usina e Agentes Externos	104
9	PROGRAMA DE AÇÕES PREVENTIVAS, TÃO LOGO IDENTIFICADAS SITUAÇÕES EMERGÊNCIAIS.....	105
9.1.1	Situação Normal (VERDE).....	105
9.1.2	Situação Atenção (AMARELO)	106
9.1.3	Situação de Alerta (LARANJA)	106
9.1.4	Situação de Emergência 1 (VERMELHO CLARO).....	107
9.1.5	Situação de Emergência 2 (VERMELHO ESCURO).....	107
10	ACESSOS, MAPAS DE ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES POTENCIAIS	109
10.1	Zona de Autossalvamento – ZAS.....	109
10.2	Zona de Segurança Secundária – ZSS.....	110
10.3	Propriedades Atingidas.....	110

10.4	Risco Hidrodinâmico	111
11	FLUXO DE INFORMAÇÃO E ACIONAMENTO	113
11.1	Meios de Comunicação	113
11.2	Acionamento em Caso de Emergências	113
12	FORMULÁRIOS DE DECLARAÇÃO DE INÍCIO DA EMERGÊNCIA, DE DECLARAÇÃO DE ENCERRAMENTO DA EMERGÊNCIA E DE MENSAGEM DE NOTIFICAÇÃO.....	116
13	RELAÇÃO DAS ENTIDADES PÚBLICAS E PRIVADAS QUE RECEBERAM CÓPIA DO PAE COM OS RESPECTIVOS PROTOCOLOS DE RECEBIMENTO	116
14	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	117
15	EQUIPE TÉCNICA	118
16	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
17	ANEXOS	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Região do barramento da PCH Salto Forqueta.....	11
Figura 2 – Região da casa de força da PCH Salto Forqueta.....	12
Figura 3 – Mapa de acessos ao local da PCH SALTO FORQUETA.....	14
Figura 4 – Localização e acesso da Usina.....	15
Figura 5 - Mapa de da área resguardada	15
Figura 6 - Cota x área x volume – Reservatório PCH Salto Forqueta.....	17
Figura 7 – Curva de Descarga – Vertedouro	20
Figura 8 – Vertedouro da PCH Salto Forqueta	20
Figura 9 – Arranjo geral da PCH Salto Forqueta.....	23
Figura 10 – Barramento - Planta e Seção.....	24
Figura 11 – Vertedouro – Seção.....	25
Figura 12 – Descarga de Fundo – Seção	26
Figura 13 – Escada de Peixe – Planta.....	27
Figura 14 – Circuito de Geração - Planta e Seção	28
Figura 15 – Tomada de água	29
Figura 16 – Chaminé de Equilíbrio	30
Figura 17 – Casa de Força – Planta.....	31
Figura 18 - Casa de Força – Seção Longitudinal	32
Figura 19 – Vista Geral do Barramento	34
Figura 20 – Formação de brecha por galgamento	38
Figura 21 – Formação da brecha por infiltração.....	39
Figura 22 – Brechas resultantes de falhas nas fundações	40
Figura 23 – Tamanhos e tempo para formação da brecha.....	41
Figura 24 – Tempo de formação da brecha.....	42
Figura 23 – Abrangência do modelo computacional (Google Earth).....	55
Figura 26 – Geometria do rio - Seções lançadas no Hec-Ras.....	56
Figura 27 – Perfil do rio calibrado – Vazão média.....	59
Figura 28 – Dados do Barramento Salto Forqueta com Brecha rompimento – Hec-Ras.....	61
Figura 29 – Localização Casa de Força Salto Forqueta – SL-124.....	83
Figura 30 – Localização Ponte Jusante – SL-113.....	83
Figura 31 – Localização Limite da ZAS – SL-83	84
Figura 32 – Localização Zona Segurança Secundária – SL-1.....	85
Figura 33 – Níveis de Segurança e Risco de Ruptura.....	95

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Cota x área x volume – Salto Forqueta	16
Tabela 2 – Aproveitamentos Hidrelétricos no rio Forqueta previstos, próximos a PCH Salto Forqueta	18
Tabela 3 – Risco de Ocorrência do evento de Projeto com Tempo de Retorno TR (%).....	33
Tabela 4 - Legenda para Risco Hidrodinâmico	48
Tabela 5 – Fontes da geometria da Barragem (Anexo I - Dados) – Projetista Electra Power (Projeto Executivo).....	51
Tabela 6 – Vazões de Cheias na PCH Salto Forqueta – (1957-2014)	52
Tabela 7 – Coeficientes de Desagregação e Valores do Hidrograma para TR 10, 100 e 1.000 anos.....	53
Tabela 8 – Parâmetros de rugosidade de Manning.....	55
Tabela 9 – Hidrogramas para PCH Salto Forqueta.....	61
Tabela 10 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Salto Forqueta sem rompimento da Barragem	62
Tabela 11 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Salto Forqueta com rompimento da Barragem	62
Tabela 12 – Níveis Estruturas – Natural e com rompimento Barragem Salto Forqueta.....	62
Tabela 13 – Resultados Obtidos- Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 10 e TR 100 anos.....	64
Tabela 14 – Resultados Obtidos- Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 1.000 anos	73
Tabela 15 – Localização das Seções de Interesse	82
Tabela 16 – Detalhe das simulações – Casa de Força Salto Forqueta – SL-124	83
Tabela 17 – Detalhe das simulações – Ponte Jusante – SL-113.....	84
Tabela 18 – Detalhe das simulações – Limite da ZAS – SL-83.....	84
Tabela 19 – Detalhe das simulações – Localização Zona Segurança Secundária – SL-1	85
Tabela 20 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção para TR 10 e TR 100 anos ..	87
Tabela 21 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção para TR 1.000 anos.....	88
Tabela 22 – Níveis de Segurança e risco Ruptura	96
Tabela 23 – Ações de resposta (Normal)	105
Tabela 24 – Ações de resposta (Atenção).....	106
Tabela 25 – Ações de resposta (Alerta).....	106
Tabela 26 – Ações de resposta (Emergência 1)	107
Tabela 27 – Ações de resposta (Emergência 2)	107
Tabela 28 – Entidades que recebem Cópia PAE	116

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório contempla o Plano de Ação de Emergências da PCH Salto Forqueta, instalada no rio Forqueta, no estado do Rio Grande do Sul e pertencente à **COOPERATIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA TEUTÔNIA – CERTEL ENERGIA**.

O presente Plano de Ação de Emergências (PAE) possui o intuito de atender à Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 alterada pela Lei 14.066/2020 e a Resolução Normativa nº 696 de 15 de dezembro de 2015, onde a barragem da PCH Salto Forqueta foi classificada como Barragem de categoria C, Categoria de Risco Baixo e Dano Potencial Baixo (formulário 2021 – Anexo I).

Conforme a lei citada uma barragem com classificação de Dano Potencial Baixo não necessita de um Plano de Ação de Emergências – PAE, por solicitação do empreendedor foi realizado o estudo de rompimento da Barragem de modo confirmar se não ocorre nenhuma propriedade atingida. Para obtenção dos dados foi realizada uma Inspeção Civil Regular, setembro/2020, por uma equipe técnica multidisciplinar, com o objetivo de verificar todas as estruturas civis da usina, e percorrer o trecho de jusante do barramento para identificação dos pontos de risco. Da visita resultou o Relatório de Inspeção Civil Regular SFQ-C-ISR-001-01-20 – PCH Salto Forqueta.

2 HISTÓRICO

A PCH Salto Forqueta de potência instalada de 6,08 MW entrou em operação comercial em março/2003.

Em novembro de 2018 a empresa Cooperativa de Distribuição de Energia Teutônia – CERTEL ENERGIA, através do documento “Plano de Ação de Emergência da PCH Salto Forqueta - Rev1”, elaborou o Plano de Ação de Emergências, o qual será revisado e substituído pelo documento em questão.

2.1 Objetivo

De acordo com a Lei 12.334 de setembro de 2010 alterada pela Lei 14.066/2020 e da Resolução Normativa nº 696 de 15 de dezembro de 2015, todas as barragens deverão ser classificadas conforme o risco e o dano potencial associado.

Após a classificação da barragem PCH Salto Forqueta, verificou-se a necessidade de elaboração do Plano de Segurança da Barragem, pois a classificação indica categoria de risco Baixo e dano potencial Baixo, o que resulta em uma barragem **Classe C**, e a elaboração do Plano de Ação de Emergências (PAE) foi elaborado por definição do empreendedor, documento em questão.

O Plano de Ação de Emergência (PAE) contempla procedimentos tanto em situações de normalidade como de anormalidade, que deverão ser revistos continuamente, de modo a possibilitar uma ação rápida e segura quando da eminência de um desastre ou da efetivação dele. Deverá ser dada ampla divulgação aos órgãos e instituições envolvidas, principalmente as prefeituras das cidades afetadas.

O Plano de Ação de Emergência (PAE) visa ainda estabelecer os procedimentos que contribuam para minimizar os danos causados nas áreas de jusante, decorrentes de situações críticas que possam vir a acontecer em virtude de riscos hidrológicos ou da ruptura da barragem. A atenção deste trabalho deverá ser voltada, principalmente, com as consequências à jusante com hipotética ruptura da barragem, com a indicação dos níveis e mapas das ondas de cheia normal e com a ruptura da barragem.

O Plano de Ação de Emergência (PAE) define as responsabilidades, conforme as atribuições de cada órgão de Governo e Organizações de suporte, sendo que para o agente operador deve caber a tarefa de alertar os órgãos públicos sobre a possibilidade de ocorrências de eventos extremos, independente da origem dos mesmos, visando à minimização de danos causados por um eventual desastre.

2.2 Organização do Relatório

O estudo está dividido segundo a seguinte estrutura:

Volume I - Texto

- Cap.1 – Introdução
- Cap.2 – Histórico

- Cap.3 – Informações Gerais da Barragem
- Cap.4 – Detecção, Avaliação e Classificação das Situações de Emergência
- Cap.5 – Estudo do Rompimento da Barragem
- Cap.6 – Agências e Entidades Envolvidas
- Cap.7 – Caracterização dos Níveis de Segurança e Risco de Ruptura
- Cap.8 – Responsabilidades de todos os Agentes Envolvidos
- Cap.9 – Programa de Ações Preventivas, tão logo Identificadas Situações Emergenciais
- Cap.10 – Acessos, Mapas de Áreas Sujeitas a Inundações Potenciais
- Cap.11 – Fluxo de Informação e Acionamento
- Cap.12 – Formulários de declaração de início da emergência, de declaração de encerramento da emergência e de mensagem de notificação
- Cap.13– Relação das entidades públicas e privadas que receberam cópia do PAE com os respectivos protocolos de recebimento
- Cap.14 – Conclusões e Recomendações
- Cap.15 – Equipe Técnica
- Cap.16 – Bibliografia
- Cap.17 – Anexos
 - Anexo I – Dados (somente digital)
 - Anexo II – Área Resguardada e Acessos
 - Anexo III – Curva de Referência
 - Anexo IV – Seções Restituição
 - Anexo V – Mapas de Inundação
 - Anexo VI – Zona de Auto salvamento
 - Anexo VI – Zona de Segurança Secundária
 - Anexo VIII – Fluxograma de Acionamento
 - Anexo IX – Apresentação PAE
 - Anexo X – Formulários
 - Anexo XI – ART

3 INFORMAÇÕES GERAIS DA BARRAGEM

A PCH Salto Forqueta está localizada no município de Putinga e São José do Herval - RS, no rio Forqueta, com potência instalada de 6,08 MW e entrou operação março de 2003.

O empreendimento é composto de uma barragem em concreto ciclópico com 29,50 m de altura máxima junto a estrutura de desvio e vertedouro em soleira livre com perfil creager na crista, 95 m de comprimento e calha lisa.

Adução é composta das seguintes estruturas: Tomada de água a montante da barragem na margem esquerda do reservatório, túnel com seção em arco-retângulo 3,80 x 3,80 m, chaminé de equilíbrio em concreto com diâmetro de 6 m, conduto forçado com diâmetro de 2,85 m e casa de força com duas unidades de Francis dupla com potência instalada total de 6,08 MW.

Abaixo será apresentado arranjo geral das estruturas da PCH Salto Forqueta e Ficha resumo da PCH Salto Forqueta.

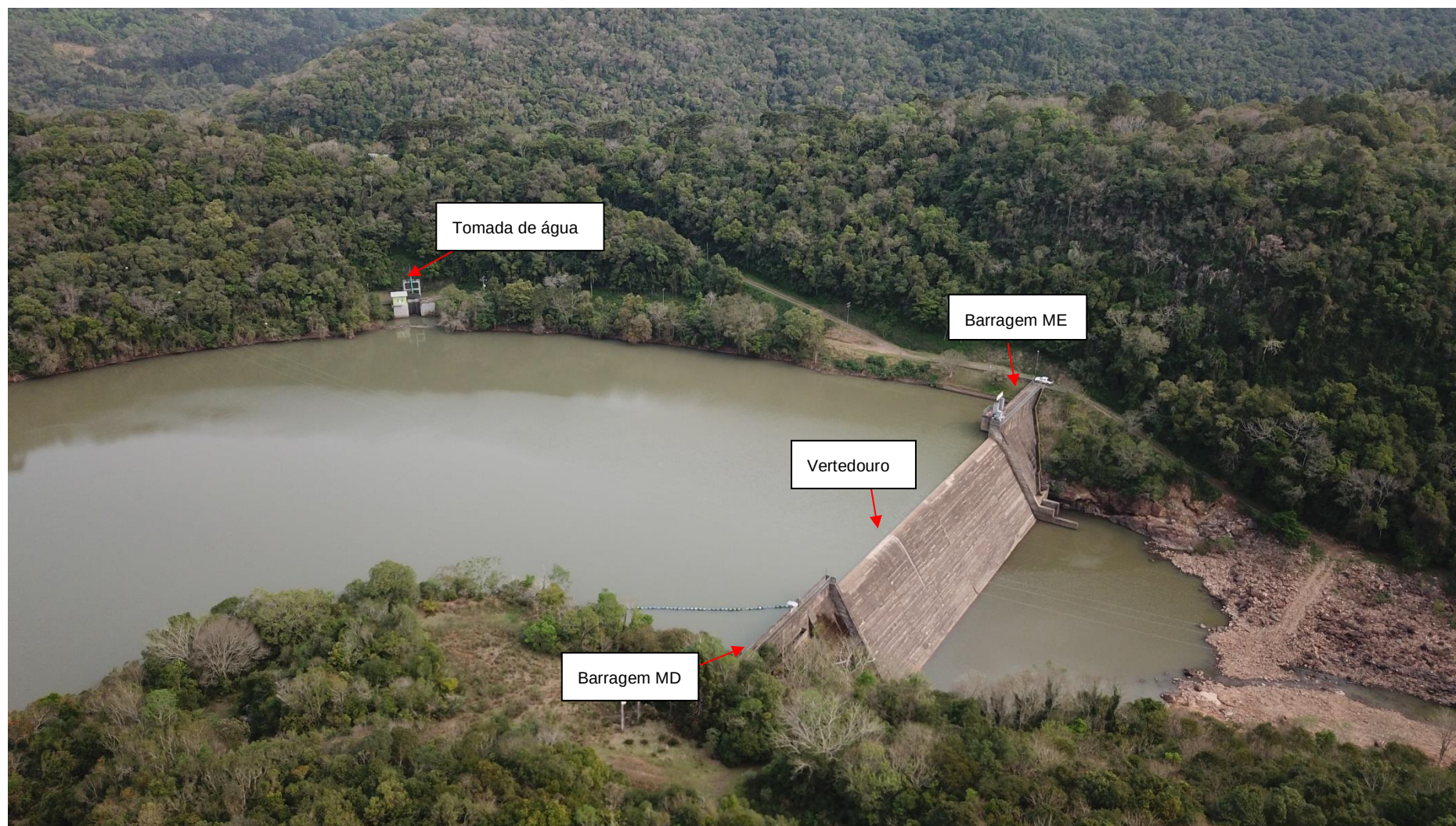


Figura 1 – Região do barramento da PCH Salto Forqueta



Figura 2 – Região da casa de força da PCH Salto Forqueta

				FICHA TÉCNICA - PCH SALTO FORQUETA			
IDENTIFICAÇÃO							
				Nome da Usina:		SALTO FORQUETA	
				Situação:		Em Operação	
				Idade da barragem (anos)		18 anos (2003 - 2021)	
				Tipo de fundação		Rocha Alterada com injeção	
				Instrumentação usada e quantidade		Dois medidores de deslocamento triortogonais e um medidor de vazão	
				Empresa:		Cooperativa de Distribuição de Energia Teutônia – CERTEL ENERGIA	
				Potência Instalada (MW):		6,08	
				Tipo de material utilizado na barragem		Concreto ciclópico	
Equipamentos de comunicação		Comunicação via rádio e Celular					
LOCALIZAÇÃO							
Município		Putinga/Margem esquerda e São José do Herval/Margem Direita		Curso d'água		Rio Forqueta	
Estado		RS		Sub-Bacia Nome/Código		Taquari/Antas / 86	
Latitude 29°05'00,8"		Longitude 52°12'29,4"W		Bacia Nome/Código		bacia hidrográfica do Atlântico Sudeste/86	
DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS							
VAZÕES CARACTERÍSTICAS				Área de Drenagem do Barramento (km²):		600	
Vazão MLT (m³/s)		18,4		VAZÕES EXTREMAS			
Vazão Firme Q95% (m³/s)		2,62		Vazão Máxima de Projeto (m³/s) (1.000 anos)		1802,1	
Vazão Mínima Média Mensal (m³/s)		0,31		Vazão Máxima de Desvio (m³/s)		-	
Vazão Sanitária (m³/s)		0,24					
Período do Histórico Completo:		1940 - 2000					
RESERVATÓRIO							
NÍVEIS D'ÁGUA DE MONTANTE				ÁREAS INUNDADAS			
NA Máximo Excepcional (m)		210,8		No NA Máximo Excepcional (km²)		0,49	
NA Máximo Normal (m)		206,8		No NA Máximo Normal (km²)		0,40	
NA Mínimo Normal (m)		205,3		No NA Mínimo Normal (km²)		0,38	
				VOLUMES			
NÍVEIS D'ÁGUA DE JUSANTE				No N.A. Máximo Max. (hm³)		5,13	
NA Máximo Excepcional (m)		180,76		No N.A. Máximo Normal (hm³)		3,40	
NA Máximo Normal (m)		173,26		No N.A. Mínimo Útil (hm³)		2,77	
NA Mínimo Normal (m)		172,76					
BARRAGEM (OMBEIRAS)							
Tipo				Gravidade			
Comprimento Total da Crista (m)				175,43			
Altura Máxima (m)				29,5			
Cota da Crista (m) (Antes 2011)				210,8			
Cota da Crista (m) e Altura Máxima (m) - (Após obra de 2011)				211,8 e 30,5			
VERTEDOIRO							
Tipo		CREAGER (Soleira Livre)		Tipo: Estrutural		Tipo VAGAO	
Capacidade (m³/s)		1.802,10		Altura Total (m)		12	
Comprimento Total (m)		95,5		Acionamento da Comporta		Automático c/ Pistão Hidráulico	
Cota da Soleira (m)		206,8		Comprimento Total (m)		6	
				Largura da Comporta (m)		4	
				Altura da Comporta (m)		3,9	
CANAL/TÚNEL DE ADUÇÃO				CONDUTO FORÇADO			
Comprimento (m)		124		Diâmetro Interno (m)		2,85	
Seção		Arco Retângulo		Número de Unidades		1	
Base (m)		3,8		Comprimento (m)		76	
Arco (m)		1,95					
CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO				CASA DE FORÇA			
Diâmetro (m)		6		Tipo		Abrigada	
Altura Máxima (m)		9,6		Unidades Geradoras		2	
				Largura (m)		10	
				Comprimento (m)		30	
TURBINAS				GERADOR			
Tipo		FRANCIS DUPLA		Potência Nominal Unitária (MVA)		3,8	
Quantidade 2		2		Tensão Nominal (kV)		6,6	
Potência Nominal Unitária (MW)		3,2		Rotação Nominal (rpm)		514	
Vazão Nominal Unitária (m³/s)		11,3		Fator de Potência		0,8	
Rotação Síncrona (rpm)		514		Rendimento Máximo (%)		96	
Rendimento Máximo (%)		92					
ESTUDOS ENERGÉTICOS E SISTEMA DE TRANSMISSÃO							
Potência da Usina (MW)		6,08		Tensão (kV)		69	
Energia Firme (MW)		3,34		Extensão (km)		30	
Queda Bruta Máxima (m)		33,54		Local de Conexão		Subestação Canudos do Vale	
Queda Líquida de Referência (m)		31,75					

(*) Adaptada - Ficha Técnica PSB

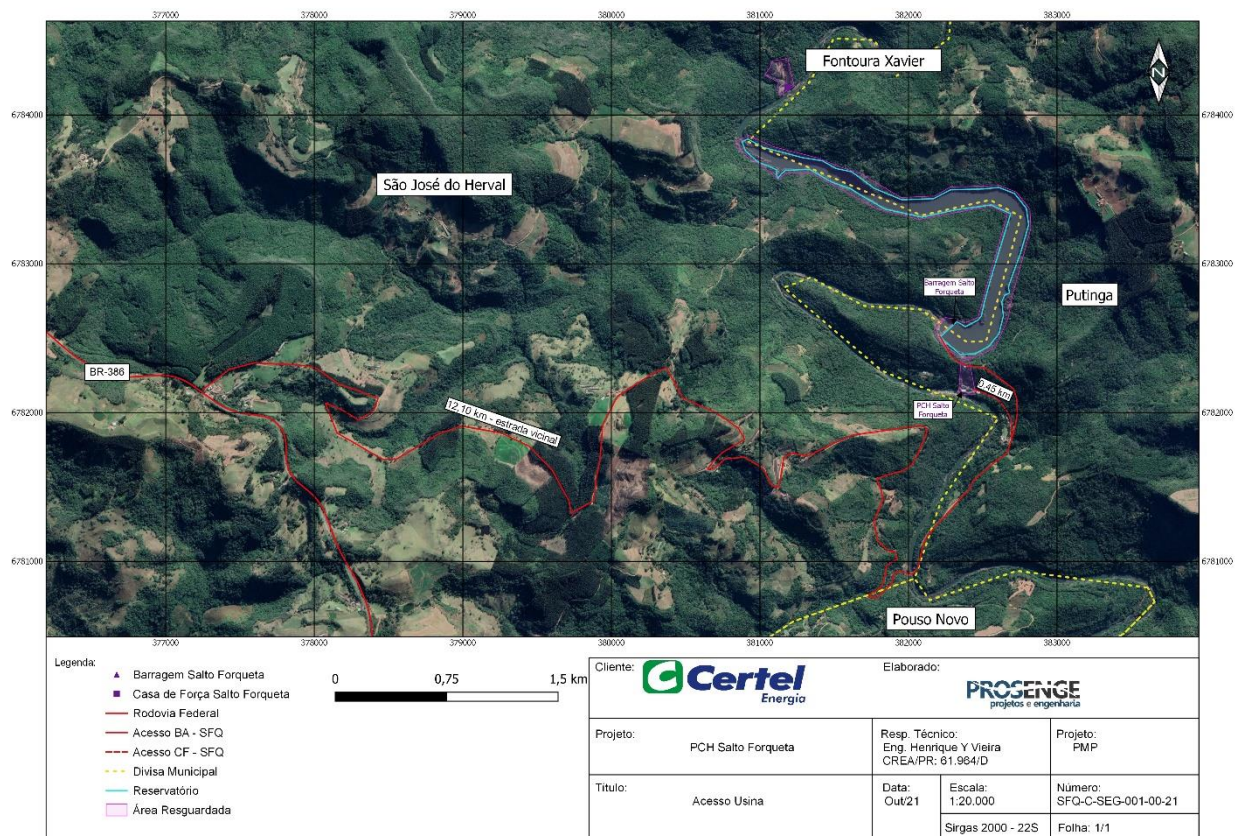


Figura 4 – Localização e acesso da Usina

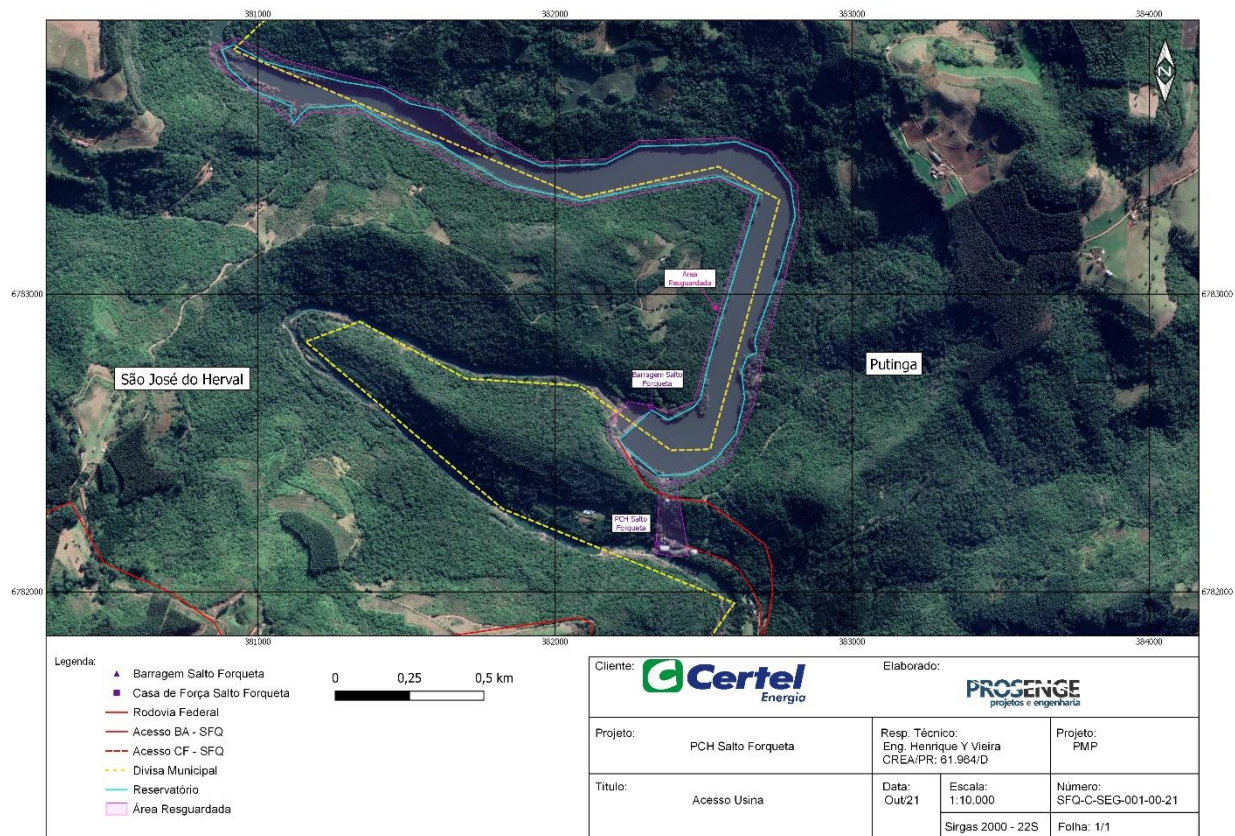


Figura 5 - Mapa de da área resguardada

3.1.2 Reservatório

O nível de água máximo normal no reservatório da PCH Salto Forqueta está fixado na EI 206,80 m. Nesta elevação, o reservatório acumula um volume na ordem de 3,40 hm³ e ocupa uma área de 0,405 km².

A tabela e figura abaixo apresentam a curva cota x área x volume do reservatório.

Tabela 1 – Cota x área x volume – Salto Forqueta

Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)	Cota (m)	Área (km ²)	Volume (hm ³)
204	0,344	2,27	207,6	0,4202	3,738
204,2	0,3495	2,274	207,8	0,4241	3,822
204,4	0,3546	2,43	208	0,4279	3,906
204,6	0,3598	2,495	208,2	0,4317	3,989
204,8	0,3649	2,57	208,4	0,4356	4,071
205	0,3701	2,65	208,6	0,4395	4,153
205,2	0,374	2,73	208,8	0,4433	4,234
205,4	0,3778	2,81	209	0,4472	4,317
205,6	0,3817	2,89	209,2	0,451	4,399
205,8	0,3855	2,974	209,4	0,4549	4,481
206	0,3894	3,057	209,6	0,4588	4,567
206,2	0,3932	3,141	209,8	0,4626	4,652
206,4	0,3971	3,226	210	0,4665	4,742
206,6	0,4009	3,311	210,2	0,4715	4,834
206,8	0,4048	3,396	210,4	0,4764	4,93
207	0,4086	3,482	210,6	0,4814	5,029
207,2	0,4125	3,568	210,8	0,4864	5,131
207,4	0,4164	3,653			

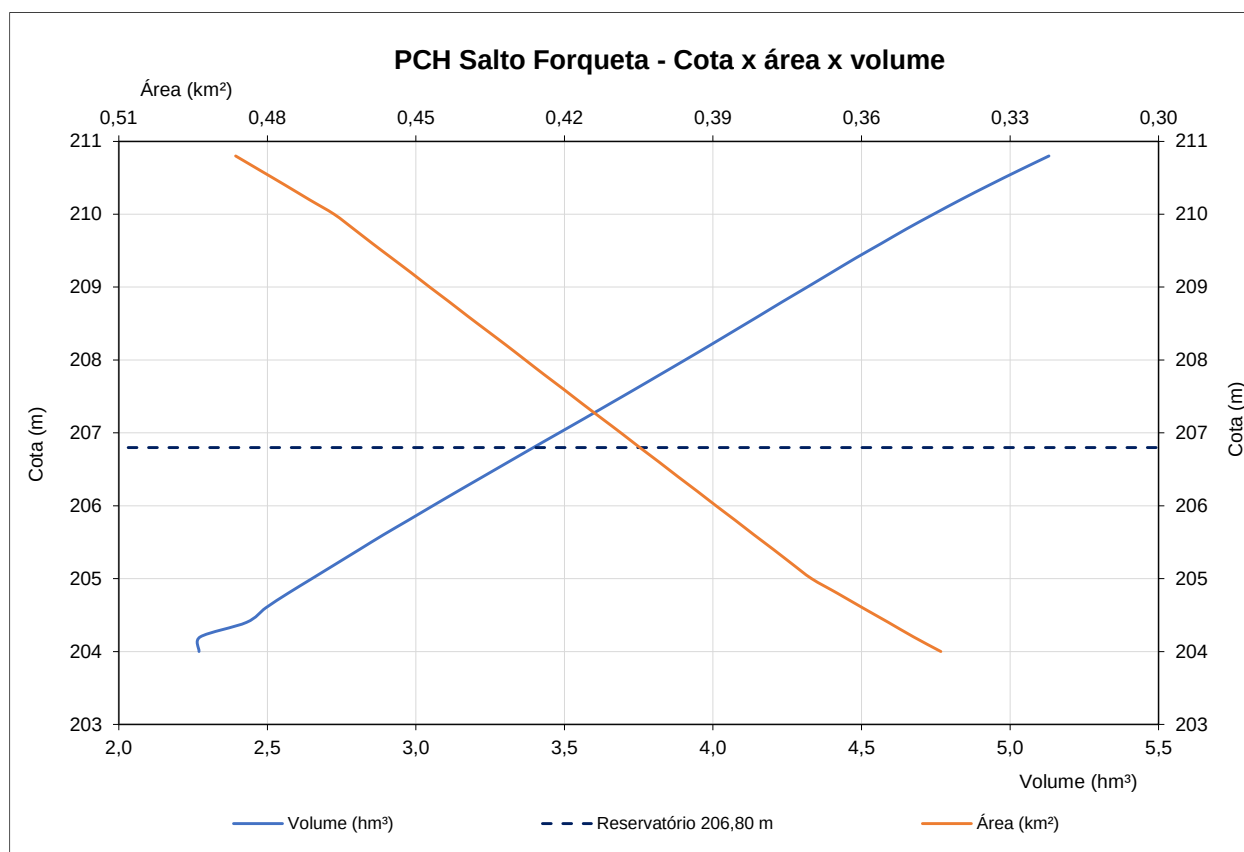


Figura 6 - Cota x área x volume – Reservatório PCH Salto Forqueta

3.1.3 Usinas de jusante

A Tabela 2 abaixo apresenta a localização relativa da PCH Salto Forqueta na divisão de quedas do rio Forqueta. Somente a PCHs Rastro de Auto e Salto Forqueta estão materializadas em operação.

Tabela 2 – Aproveitamentos Hidrelétricos no rio Forqueta previstos, próximos a PCH Salto Forqueta

Posição em relação à PCH Salto Forqueta	Aproveitamento	Potência Instalada (MW)	Proprietário	Situação
Montante	CGH Pedras Brancas	4,30	CERFOX – Cooperativa de Geração e Desenvolvimento Fontoura Xavier	DRI
	CGH São Pedro	4,40	Cooperativa de Energia e Desenvolvimento Rurais Fontoura Xavier Ltda.	Eixo Inventariado
	PCH Foz do Jacutinga	5,50	CERTEL Desenvolvimento	DRS – Projeto Básico
	PCH Rastro de Auto	7,02	Certel Rastro de Auto Geração de Energia S/A	Operação
PCH Salto Forqueta		6,08	Cooperativa de Distribuição de Energia Teutônia – CERTEL ENERGIA	Operação
Jusante	PCH Moinho Velho	4,10	CERTEL Desenvolvimento	DRS – Projeto Básico
	PCH Vale Fundo	5,60		
	PCH Vale do Leite	6,00		
	PCH Olaria	4,00		

Fonte (Aneel, 2021)

- Não existe nenhuma usina a jusante da PCH Salto Forqueta em operação.

3.1.4 Barragem

O barramento da PCH Salto Forqueta consiste somente em fechamentos nas ombreiras direita e esquerda executados em concreto tipo ciclópico com altura máxima de 29,50 m junto a estrutura de desvio. As ombreiras passaram por uma alteamento de 1,0 m após evento extremo de cheia ocorrido em 2010, chegando à altura máxima de 30,50 m. A cota da crista da barragem é de 211,80 m nas duas margens.

Na margem direita a barragem apresenta 20,00 m de comprimento e na margem esquerda apresenta 36,33 m (incluindo a estrutura da descarga de fundo).

O desenho SFQPEC00-006 apresenta planta e seção do barramento (Figura 10).

Após o evento de enchente ocorrido em 2010 foi realizada uma inspeção e análise numérica do barramento de modo avaliar as possíveis consequências na estrutura, onde chegou-se a conclusão que a barragem resistiu adequadamente, esta análise se encontra no Anexo I – 2 estruturas.

3.1.5 Vertedouro

O vertedouro da PCH Salto Forqueta situa-se transversalmente no alinhamento da calha natural do rio e é formado por uma soleira vertente não controlada com 95,00 m de largura livre, crista na El. 206,80 m e altura máxima de cerca de 25,50 m. Esta estrutura possibilita o vertimento da cheia 1.000 anos, cujo pico é de 1.802,10 m³/s, com uma sobrelevação de 4,00 m o que garante uma borda livre de 1,00 m e nível de água máximo maximorum na El. 210,80 m.

O paramento de montante do vertedouro é vertical enquanto o paramento de jusante possui declividade de 0,65 H: 1,0 V com calha lisa em concreto convencional, sendo que a crista construída com perfil *Creager*.

Abaixo está apresentada a curva de descarga do vertedouro.

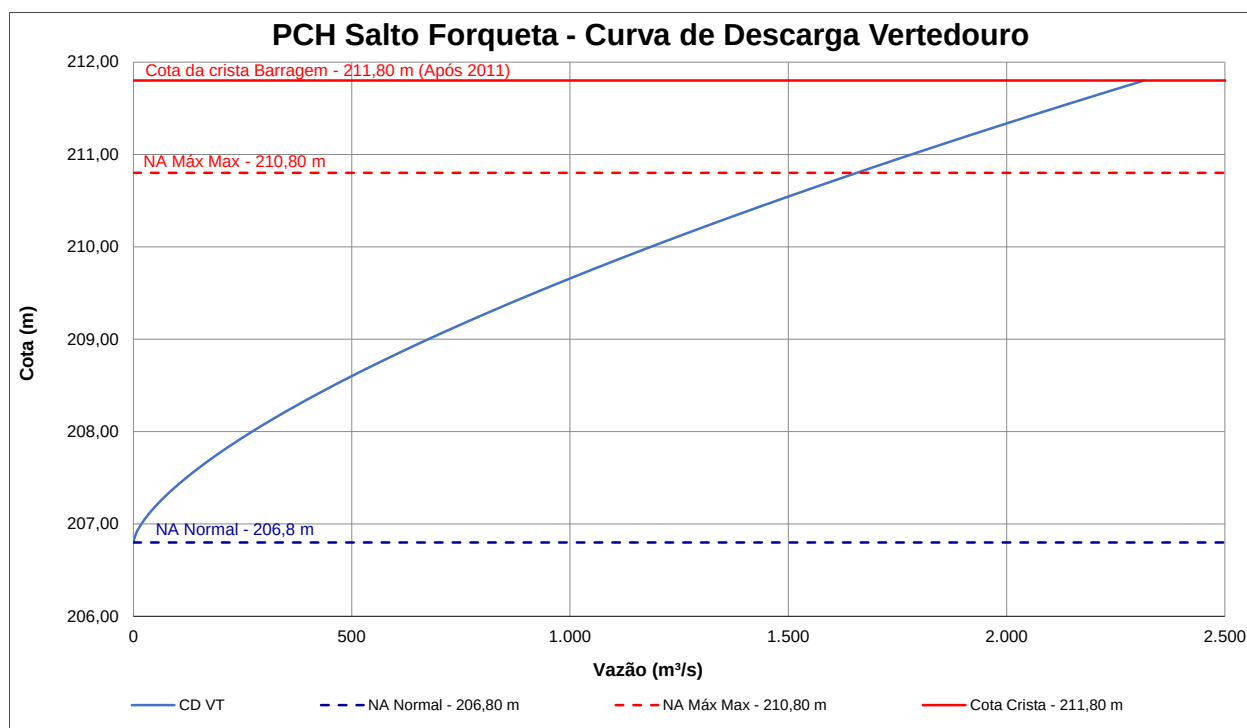


Figura 7 – Curva de Descarga – Vertedouro



Figura 8 – Vertedouro da PCH Salto Forqueta

Os documentos do projeto executivo do Vertedouro estão apresentados no Anexo I – 2- Estruturas.

3.2 Circuito Hidráulico de Adução

3.2.1 Tomada de Água

A estrutura da tomada de água estará localizada na margem esquerda do reservatório, a montante da barragem. A estrutura possui soleira na El. 198,80 m e coroamento na El. 210,80 m. Junto a sua entrada, existe uma grade, destinado a impedir a entrada de materiais com

dimensões que possam danificar os equipamentos e limpa grades para retirada contínua dos materiais acumulados. A grade possui 4,00 m de largura por 7,00 m de altura.

Para manutenção no túnel ou conduto forçado o fechamento da tomada de água ocorre por meio de uma comporta vagão, com dimensões de (4,00 x 4,00) m. A movimentação desta comporta é realizada por pistão hidráulico.

O circuito de geração está indicado no desenho SFQPR-R00-043 (Figura 14) e da tomada de água no desenho SFQPEC01-113 (Figura 15).

3.2.2 Túnel de Adução

Após a tomada de água o circuito apresenta o túnel de adução com seção em arco retângulo de 3,80 m de largura por 3,80 m de altura e comprimento de 127 m.

O perfil e seção típica do túnel de adução estão indicados no desenho SFQPR-R00-043 (Figura 14).

3.2.3 Chaminé de Equilíbrio

Antes do conduto forçado está localizada a chaminé de equilíbrio em concreto armado que possui seção circular de 6,0 m de diâmetro desde a cota 198,10 m até a elevação 212,10 m. A chaminé foi dimensionada para absorver a rejeição total de carga associado ao nível do reservatório com a passagem da cheia com TR de 1.000 anos.

O circuito de geração se encontra no desenho SFQPR-R00-043 (Figura 14) e da chaminé de equilíbrio no desenho sfqpec01-201A (Figura 16).

3.2.4 Conduto Forçado

Logo após chaminé de equilíbrio inicia-se o trecho blindado com 76,00 m de extensão e diâmetro de 2,85 m. Após a bifurcação o diâmetro para a 1,95 m para as duas unidades geradoras da casa de força.

O circuito de geração está apresentado no desenho SFQPR-R00-043 (Figura 14).

3.2.5 Casa de Força e Canal de Fuga

A casa de força da PCH Salto Forqueta é do tipo abrigada, e foi projetada para acomodar duas unidades geradoras do tipo Francis dupla de eixo horizontal. Os respectivos geradores estarão dispostos ao lado esquerdo das turbinas.

A fundação da Casa de Força está na El. 170,56 m e o piso dos sala de máquinas está na El. 173,76 m.

O nível de água normal no canal de fuga está na El. 173,26 m e o cota de proteção encontra-se na El. 181,26 m (cota do piso sala de comando).

Na sucção estão instaladas duas ranhuras por turbina para comportas tipo stop-logs.

O canal de fuga, com função de restituir a água utilizada ao leito natural do rio é construído em concreto armado. Este canal possui 10,50 m de comprimento.

A casa de força e o canal de fuga podem ser vistos nos desenhos PCHSF2016-03 e 04 (Figura 17 e Figura 18).

3.3 Instrumentação Existente

A instrumentação instalada na barragem da PCH Salto Forqueta é composta de:

- Medidor de Vazão MV (dentro da galeria de drenagem);
- Medidor triortogonal de junta MT (02 – Duas unidades, todos na galeria de drenagem da barragem).

3.4 Níveis Operacionais e Ficha Técnica

Os níveis da PCH Salto Forqueta são:

- NA Normal Montante = 206,80 m;
- NA Máximo Maximorum Montante = 210,80 m (TR=1.000 anos);
- Cota Proteção Barramento = 211,80 m;
- NA Normal Jusante = 173,26 m;
- NA Máximo Maximorum Jusante = 180,76 m
- Cota de Proteção Casa de Força = Pátio está na El. 179,76 m, porém a Casa de Força foi vedada até El. 181,26 m.

O SFQ-C-SEG-002-00-21- Área Resguardada (Anexo II) apresenta as áreas de proteção do reservatório e casa de força bem como o arranjo geral da usina com destaque as principais estruturas.

As figuras abaixo apresentam arranjo geral e estruturas civis da Usina. Os desenhos principais do Barramento e arranjo estão apresentados no Anexo I – Dados, 2 - Estruturas.

Todos os documentos da Usina estão apresentados no Anexo I do Plano de Segurança da Barragem – 01 - PSB_Barragem_Salto_Forgeta_Certel.

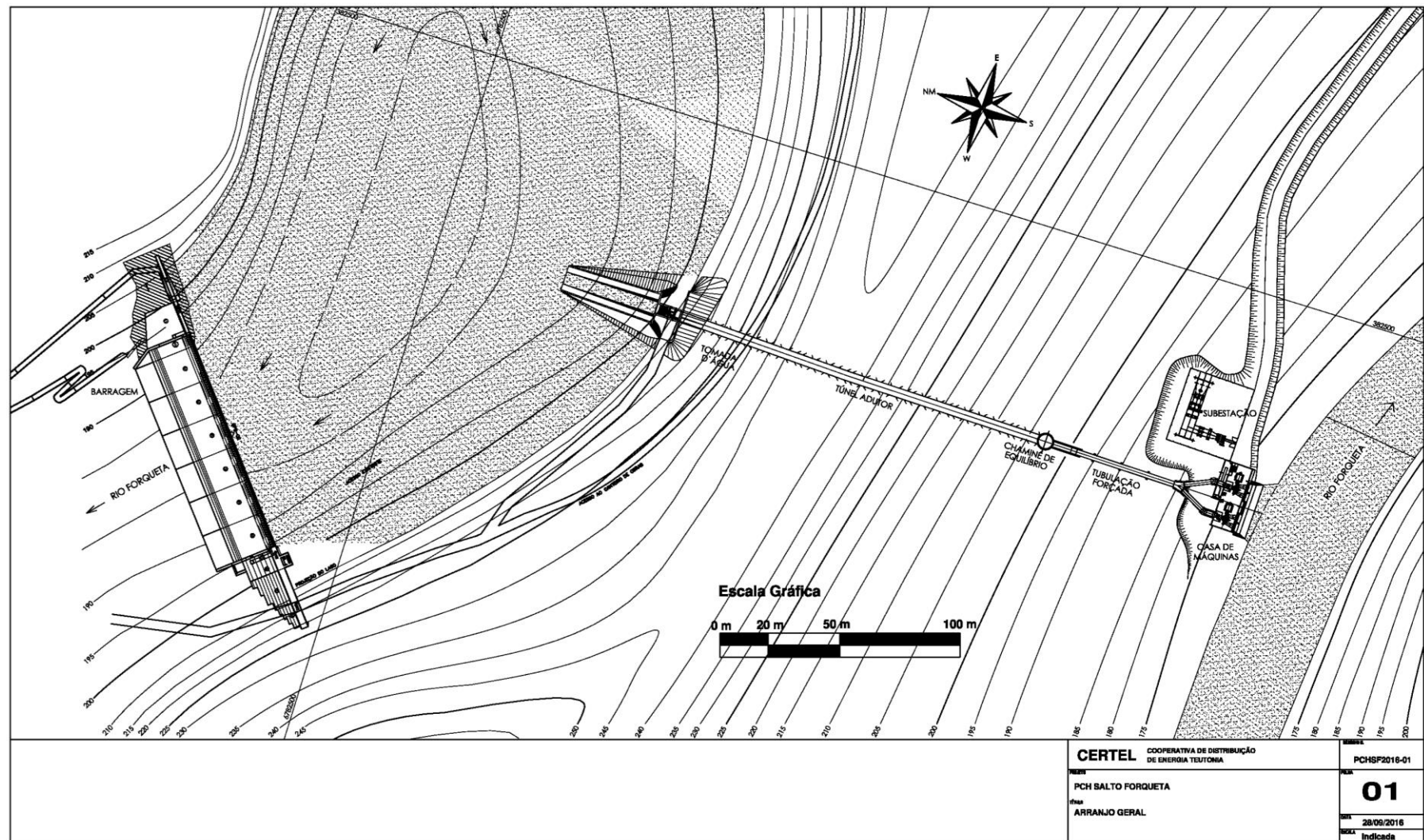


Figura 9 – Arranjo geral da PCH Salto Forqueta

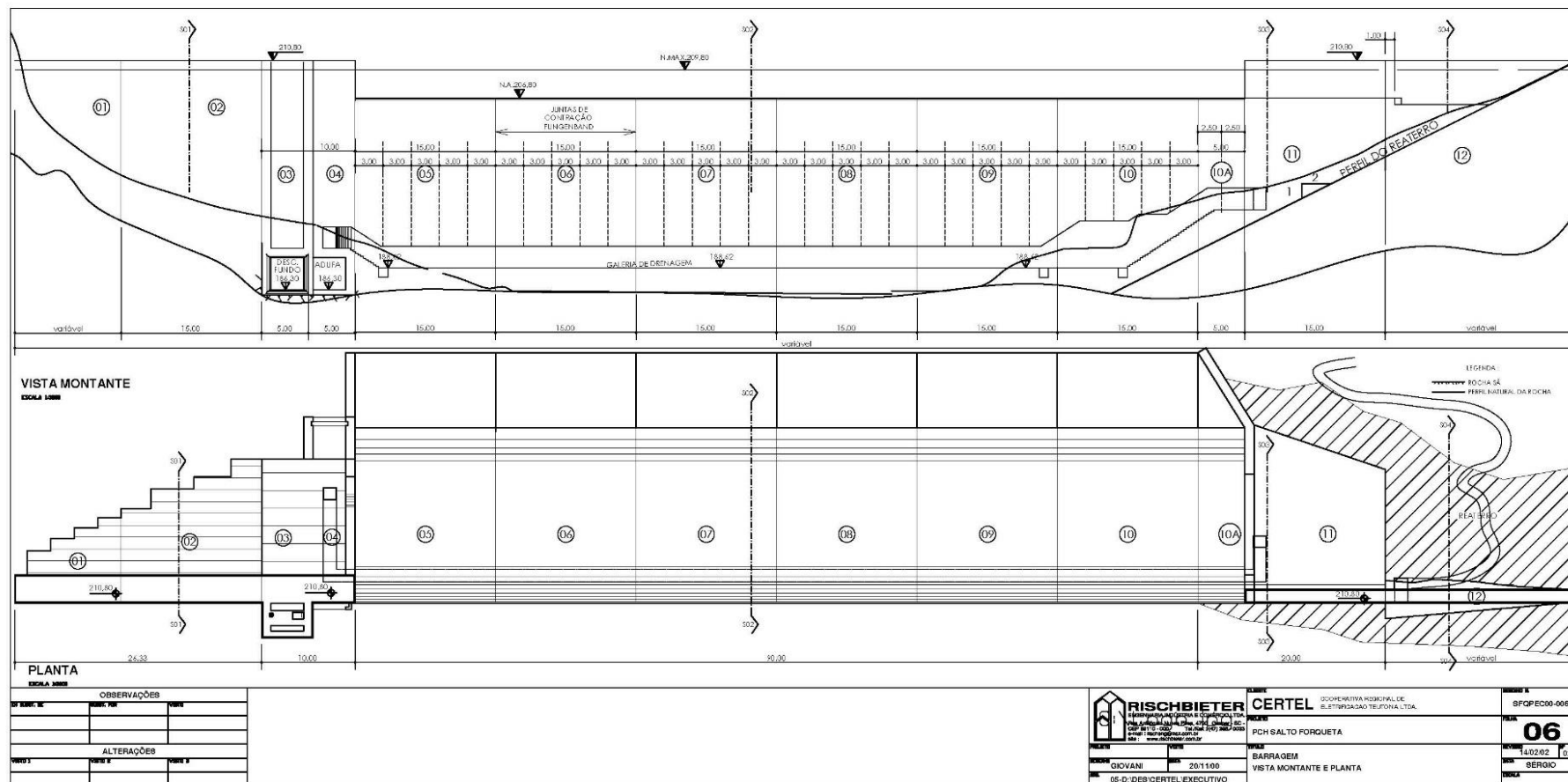


Figura 10 – Barramento - Planta e Seção

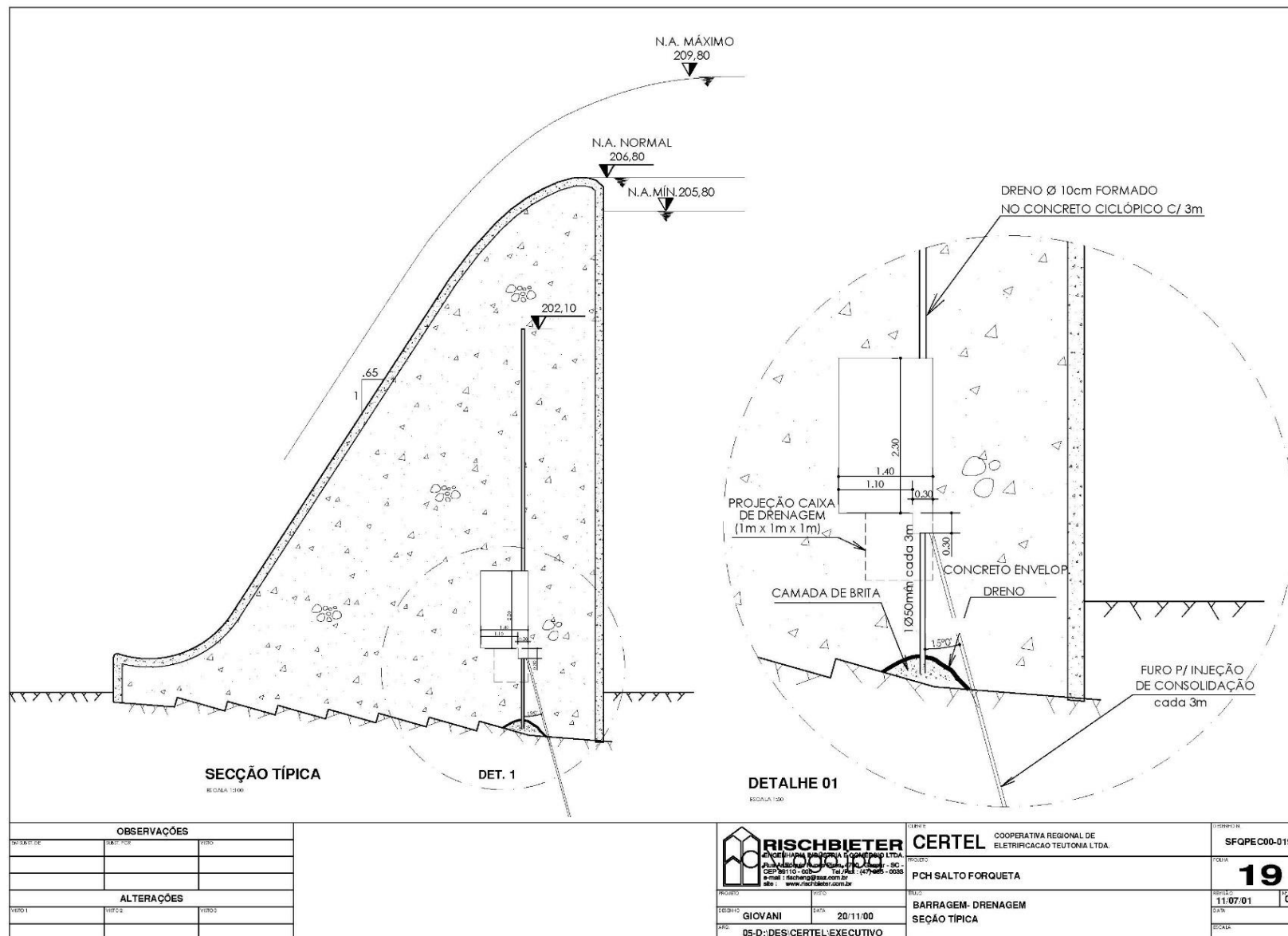


Figura 11 – Vertedouro – Seção



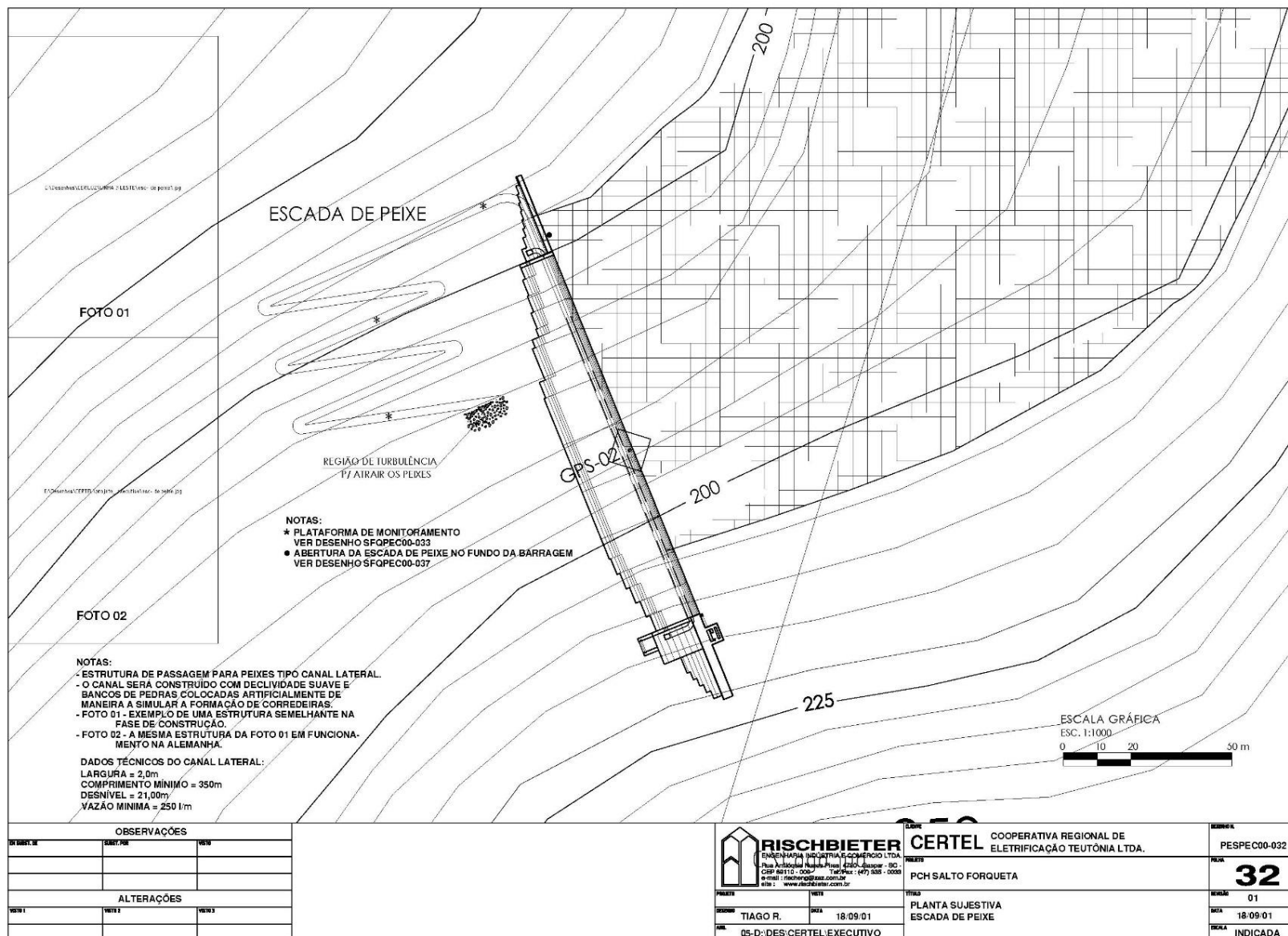


Figura 13 – Escada de Peixe – Planta



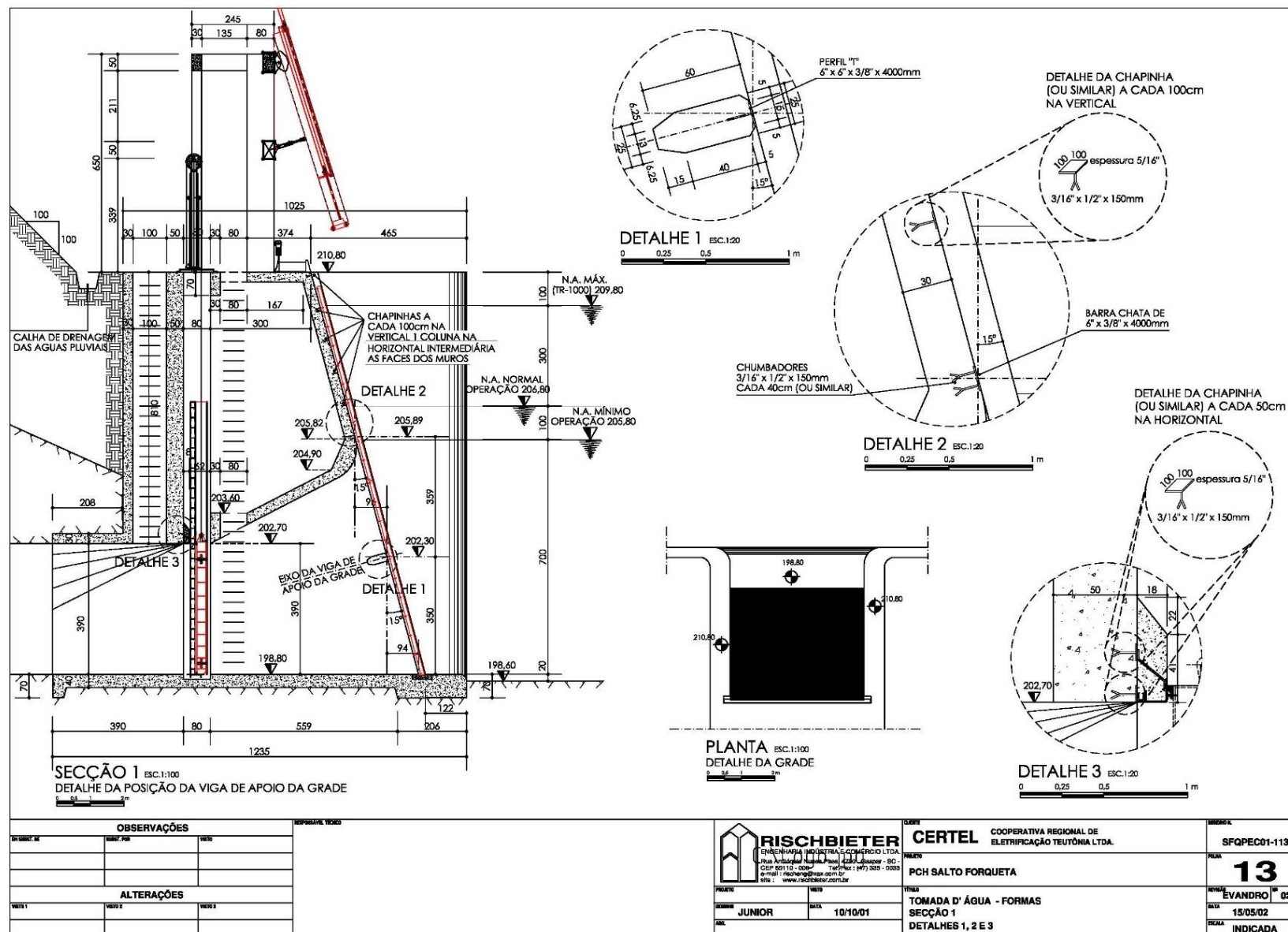


Figura 15 – Tomada de água

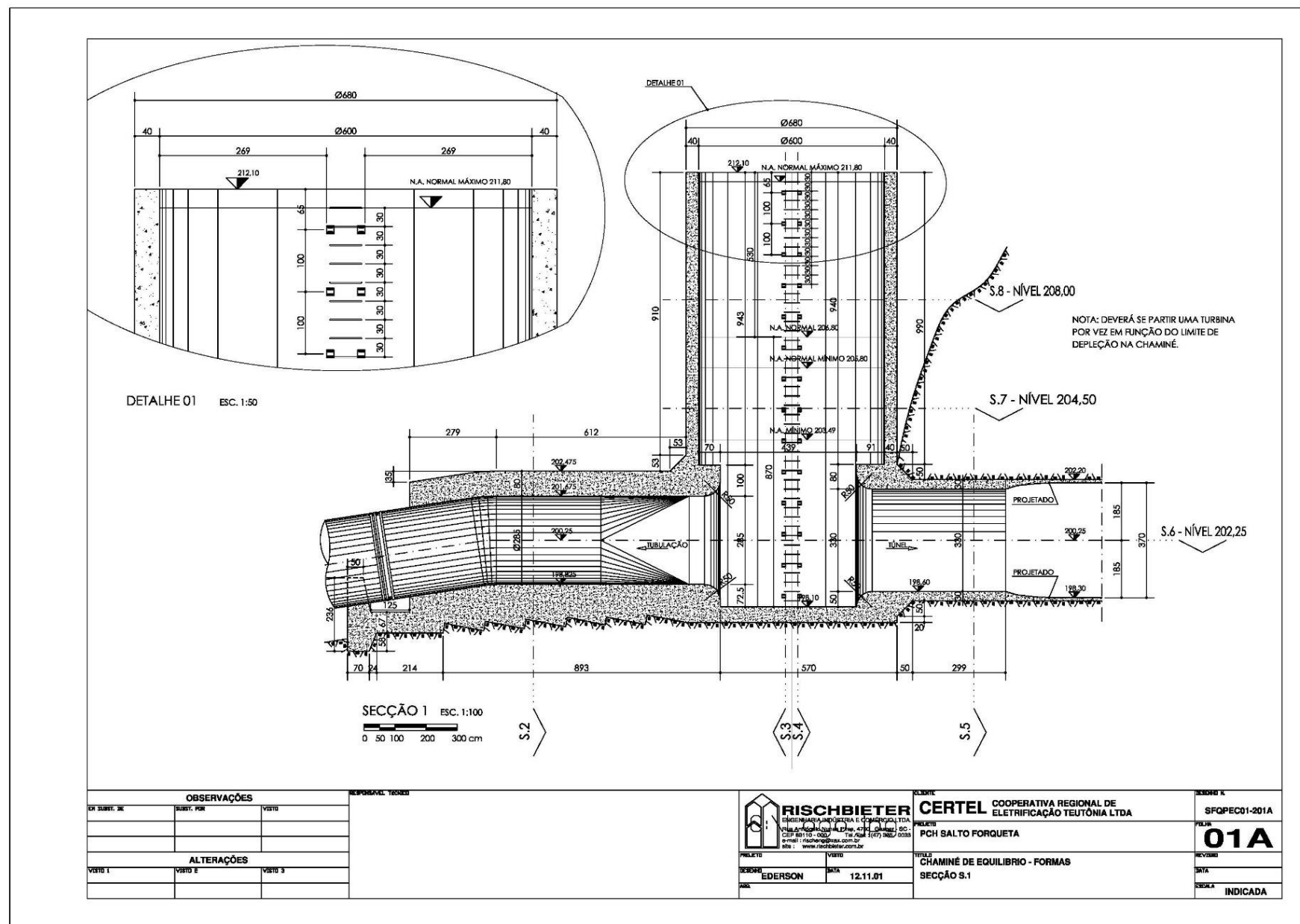
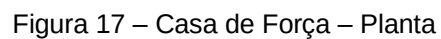


Figura 16 – Chaminé de Equilíbrio



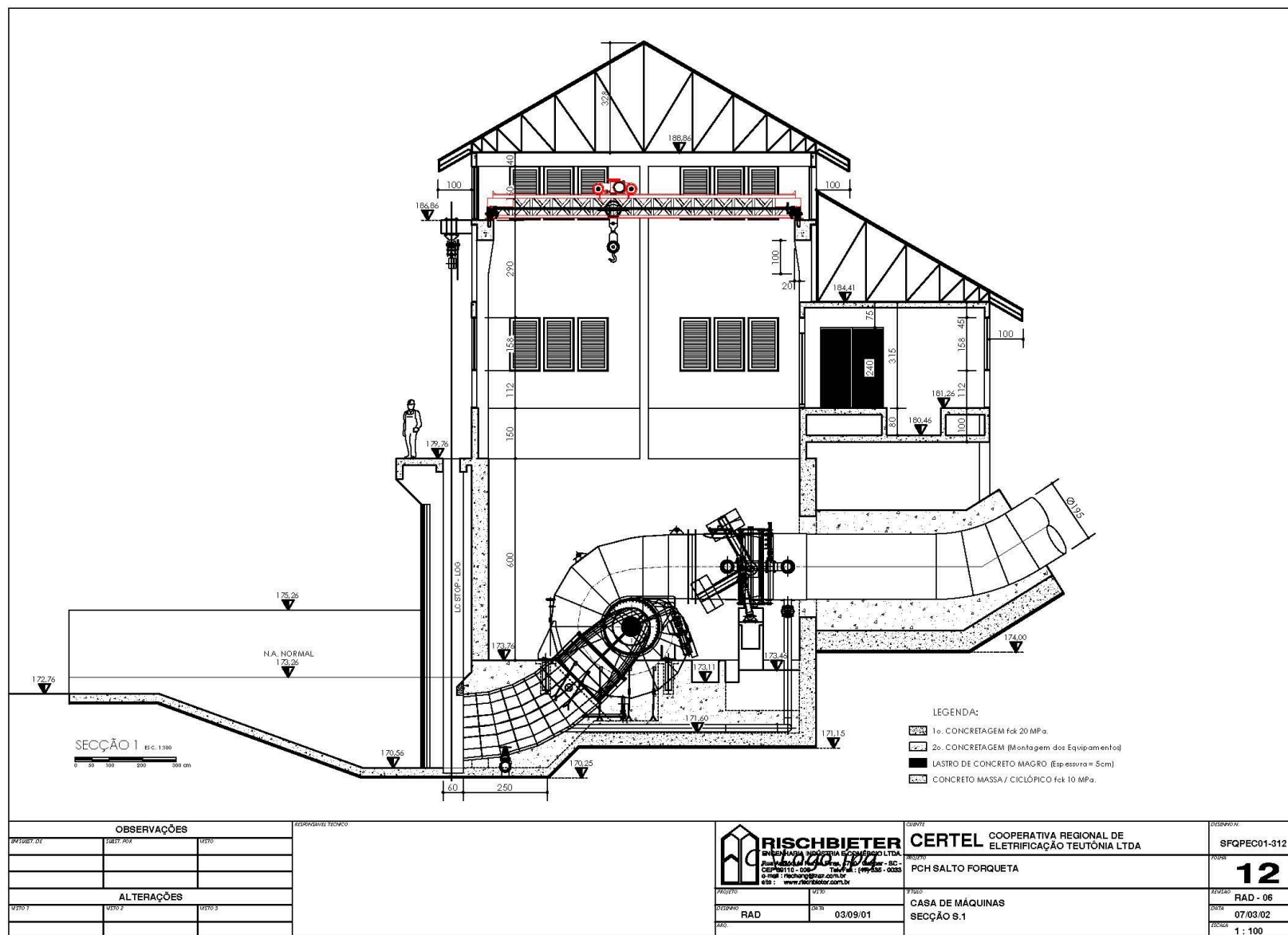


Figura 18 - Casa de Força – Seção Longitudinal

4 DETECÇÃO, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA

4.1 Avaliação do Risco

O estudo das ameaças de desastres e do grau de vulnerabilidade dos corpos e sistemas hidráulicos receptores aos efeitos adversos permite a avaliação, a definição e hierarquização das áreas de maior risco. Os riscos identificados para o barramento da PCH Salto Forqueta são de natureza hidrológica e estrutural, conforme descrito a seguir.

4.1.1 Risco Hidrológico

A bacia hidrográfica da Pequena Central Hidrelétrica Salto Forqueta possui área de drenagem de 600 Km². No reservatório o volume total é de 3,40 hm³ e formado por um barramento de concreto com altura máxima de 29,50 m.

A probabilidade de uma determinada cheia ocorrer ou ser ultrapassada num ano qualquer é o inverso do tempo de retorno $P = \frac{1}{TR}$, e a de não acontecer é $p = 1 - P$.

A probabilidade de ocorrer pelo menos uma cheia que seja igual e (ou exceda) àquela de período de retorno TR, num intervalo de “n” anos qualquer pode ser dada pela expressão:

$$J = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^n$$

Equação 1: Risco de Ocorrência do evento de Projeto com Tempo de Retorno

Portanto, o risco adotado pelo projeto da obra hidráulica da PCH Salto Forqueta pode ser analisado pela Tabela a seguir:

Tabela 3 – Risco de Ocorrência do evento de Projeto com Tempo de Retorno TR (%)

TR (anos)	Período de Vida da Estrutura (em anos)			
	1	10	25	50
100	1,00	9,56	22,21	39,49
500	0,20	1,98	4,88	9,52
1.000	0,10	0,99	2,47	4,88
10.000	0,01	0,10	0,25	0,50

É importante ressaltar que os riscos assumidos pelo projeto são significativamente pequenos, ou seja, para um tempo de retorno adotado no projeto (TR=1.000 anos) os riscos de ocorrerem cheias maiores ou iguais à cheia do projeto variam de **0,10% a 4,88%** considerando os diferentes períodos de vida útil do empreendimento.

4.1.2 Risco de Colapso Estrutural

A Barragem e Vertedouro da PCH Salto Forqueta foram concluídos em 2003 e projetado obedecendo aos critérios da Eletrobrás e as condições de estabilidade estão com fatores segurança superiores aos preconizados. A memória de cálculo de verificação da enchentes de 2011 está apresentada no Anexo I – dados, 2-Estruturas.

O Vertedouro da PCH apresenta boas condições de segurança, sem presença de infiltrações maiores ou pontos de deterioração. A capacidade de descarga está atendendo o tempo de recorrência de 1.000 anos.

Com o sistema operando normalmente não há risco nenhum referente a capacidade de descarga e operação do vertedouro. Segue abaixo foto do Barramento.



Figura 19 – Vista Geral do Barramento

Além disso, como prevenção de risco de colapso estrutural, o Plano de Segurança da Barragem (01 - PSB_Barragem_Salto_Forqueta_Certel), tem como objetivo determinar as condições relativas à segurança estrutural e operacional das barragens, identificando os problemas e recomendando tanto reparos corretivos, restrições operacionais e/ou modificações quanto análise/estudos para determinar as soluções dos problemas.

Conforme observado na vistoria e dados do projeto não ocorrem problemas estruturais no barramento da PCH Salto Forqueta, sendo assim o risco de colapso estrutural é praticamente nulo. Além de que, não existe formulação determinista para o cálculo do risco estrutural. Porém é de extrema importância o monitoramento da instrumentação da Barragem para análise do comportamento da mesma.

4.2 Identificação das Emergências Potenciais

Para identificação dos pontos de emergências foram determinados níveis de água ao longo do rio a jusante da PCH Salto Forqueta e o tempo de percurso da onda de enchente. A definição das emergências foi definida a partir do preconizado no Volume IV - Guia de Orientação e

Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE, item 5.2.2 Cenários a simular, da Agência Nacional das águas (ANA), conforme destacado abaixo:

“Para atribuição dos valores das vazões afluentes ao reservatório no instante inicial da ruptura, dever-se-á adotar a prática comum, orientada por questões de segurança, de considerar a contribuição de um hidrograma de vazão afluente. Assim, poder-se-á optar:

- pela vazão média anual (ou a vazão média do semestre seco ou do semestre úmido), ou por uma cheia associada a um menor tempo de recorrência ($T = 100$ anos, por exemplo) num cenário de ruptura em dia de sol;*
- por uma cheia conhecida (por exemplo, a cheia de projeto ou uma cheia associada a um tempo de recorrência elevado: $T = 1\ 000$ a $5\ 000$ anos), num cenário de ruptura por galgamento.”*

A partir destes níveis foram elaborados mapas de inundação, com os níveis máximos e o tempo de propagação da onda de enchente correspondente sendo então identificadas e classificadas as emergências potenciais:

a) Situação Normal – Ruptura em dia de sol

Correspondem à condição natural de escoamento do hidrograma de cheias no tempo de retorno de 10 anos de recorrência.

b) Situação Enchentes – Ruptura com enchentes

Correspondem à condição enchente extrema de escoamento do hidrograma de cheias no tempo de retorno de 100 e 1.000 anos de recorrência, sendo a última enchente correspondente a cheia de dimensionamento do vertedouro.

4.2.1 Classificação das Situações

A gestão da emergência é efetuada em função do nível de resposta necessário para a situação no momento.

Os níveis de resposta devem ser definidos tanto para situação inicial com níveis de enchentes naturais para os diversos tempos de recorrência quanto para a situação de ruptura.

A classificação do nível de resposta deve ser feita em quatro níveis, de acordo com a descrição das características gerais de cada situação de emergência em potencial da barragem. A convenção é utilizada para graduar as situações que podem comprometer a segurança da barragem e ocupações a jusante e ativar um processo de emergência na barragem. Foi adaptado de acordo com a Barragem a convecção indicada no Item 2.2, do Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens (ANA) - Volume IV - Guia de Orientação e Formulários do Plano de Ação de Emergência – PAE, conforme abaixo:

0	NORMAL (VERDE)	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos na barragem não comprometam a segurança da estrutura, mas devam ser controladas e monitoradas ao longo do tempo;
1	ATENÇÃO (AMARELO)	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos na barragem não comprometam a segurança da estrutura no curto prazo, mas devam ser controladas, monitoradas ou reparadas;
2	ALERTA (LARANJA)	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos na barragem comprometam a segurança da estrutura no curto prazo, mas podem ser controladas, monitoradas ou reparadas;
3	EMERGÊNCIA 1 (VERMELHO CLARO)	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos na barragem representem risco a segurança da estrutura que demandam a retirada dos possíveis atingidos, mas podem ser tomadas providências para a eliminação do problema
4	EMERGÊNCIA 2 (VERMELHO ESCURO)	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos na barragem representem risco de ruptura iminente que demandam a retirada dos possíveis atingidos sem possibilidade de providências para a eliminação do problema

No Plano de Ação de Emergência e na curva de Operação, o nível – Emergência foi adaptado e dividido em 2 subníveis, Vermelho Claro e Vermelho Escuro, conforme destacado abaixo:

- Vermelho Claro – Essa condição se caracteriza pela necessidade de retirada dos atingidos na Zona de Autossalvamento - ZAS e alerta para a defesa civil da ocorrência de um evento de cheias extremas, acima do TR 1.000 anos, ou de problema na estrutura do barramento que pode ocasionar o rompimento podendo ser evitado com as manutenções corretas;
- Vermelho Escuro – Nessa condição é necessária a retirada urgente dos atingidos na Zona de Autossalvamento - ZAS e alerta para a defesa civil da eminência ou da ocorrência do rompimento. As condições hidrológicas extremas ultrapassam a cota da crista da barragem ou as patologias na estrutura não permitem a recuperação.

Importante observar que a emergência 2 pode ocorrer sem que passe pela emergência 1, por exemplo uma patologia descoberta em inspeção que não permite a recuperação passa diretamente para o nível de emergência 2.

5 ESTUDO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM

Este capítulo apresenta os resultados obtidos nas simulações das consequências (hidrograma de ruptura) para as hipóteses acidentais identificadas no capítulo 0 (cheias natural/extremas e rompimento da barragem).

Nesta etapa ocorre a estimativa e avaliação das consequências e seus respectivos efeitos físicos decorrentes de eventos anormais que possam ocorrer, bem como a determinação e o mapeamento das áreas vulneráveis devido as ondas de cheia em cada um dos cenários de acidentes. O comportamento da onda de enchente e as áreas atingidas são obtidos mediante a utilização de programas simuladores de rompimento e propagação das cheias.

5.1 Metodologia

No estudo de rompimento da barragem da PCH Salto Forqueta foi utilizado o modelo computacional HEC-RAS 5.0.5 (desenvolvido por *U.S. Army Corps of Engineers*), que se baseia no método de *Standard Step Method* (HENDERSON, 1966).

O cenário a ser simulado é determinado por informações lançadas no programa, de modo a identificar a forma como se dará o rompimento da barragem e as condições geográficas e ambientais que influenciam no comportamento da onda de cheia.

Na caracterização do cenário as seguintes informações são necessárias:

- Geografia da região e geometria do rio;
- Tipo e geometria da barragem;
- Causa do rompimento;
- Formação da brecha;
- Dados sócio-ambientais.

5.1.1 Geografia da Região e Geometria do Rio

A geografia da região define as áreas atingidas pela onda de passagem de cheia e pela inundação permitindo identificar os pontos de risco.

A caracterização adequada da geometria das seções no vale a jusante da barragem é muito importante na simulação da cheia, porque existe um forte efeito de atenuação da onda ao longo do trecho inundado. Vales mais encaixados atenuam menos a onda de cheia na sua propagação para jusante que vales mais abertos com largas áreas inundáveis. Neste efeito a geometria do vale e da área inundável tem mais importância que a própria calha do rio.

Os mapas de cheia possuem um erro equivalente à metade da distância das curvas de níveis obtidas, ou seja, no caso da simulação para a PCH Salto Forqueta o erro é de 0,50 m a 2,50 m, devido o trecho possuir as curvas de nível dos desenhos que reproduzem o terreno equidistantes de 1,00 m até 5,00 m.

5.1.2 Tipo e Geometria da Barragem

A caracterização da brecha de rompimento com suas dimensões, tempo do seu desenvolvimento e formação são influenciados pelo tipo de barragem. As características de projeto, de construção e suas dimensões influenciam na abertura da brecha e com isso no tempo de propagação e intensidade da onda de cheia. Os dados do reservatório também influenciam na abertura, considerando que quanto maior o volume para um mesmo desnível a brecha tende a ser maior.

5.1.3 Potenciais Causas de Rompimento de Barragem

A causa de rompimento é importante pois determina a velocidade com que ocorre a formação da brecha.

As causas de rompimento podem ser por galgamento, entubamento ou infiltração e falhas estruturais (New Jersey Department of Environmental Protection, 2007).

5.1.4 Galgamento

O galgamento é a passagem da água sobre a barragem em partes não projetadas para verter água. O galgamento pode ser causado pela má operação do reservatório durante a cheia, devido a uma cheia extraordinária onde o dispositivo extravasador (vertedouro) não possui capacidade de vazão compatível, a ocorrência de problemas que impedem o dispositivo extravasador de operar normalmente ou pela formação de uma onda dentro do reservatório, de origem sísmica ou provocada pelo deslizamento de uma grande quantidade de terra das encostas.

Se o tempo e a intensidade do galgamento são suficientes, inicia-se uma brecha em um ponto qualquer mais fraco na crista da barragem e a brecha cresce com o tempo, por erosão, numa velocidade que depende da vazão de galgamento, do material da barragem e das características do reservatório (Collischonn, 1997).

A Figura 20 demonstra a formação de uma brecha por galgamento, sendo que o processo de formação segue a sequência apresentada abaixo.

- a) Início em um ponto mais fraco;
- b) Brecha em forma de “V”;
- c) Aprofundamento da brecha;
- d) Aumento lateral por erosão.

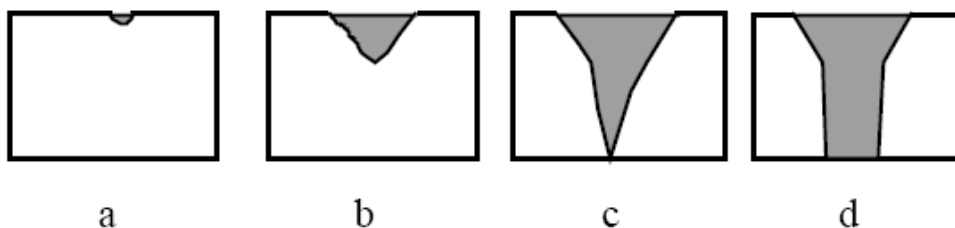


Figura 20 – Formação de brecha por galgamento

Fonte: COLLISCHONN, 1997, p. 32

5.1.5 Infiltração (Piping)

A infiltração ocorre devido à passagem da água através das paredes da barragem (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2002, p. 116). A água que se movimenta através da barragem, ou de suas fundações, pode originar na formação de uma brecha se os volumes de água e material sólido superam determinados limites de segurança. A brecha inicia como um poro em um ponto qualquer da barragem e este poro cresce, por erosão, para todos os lados, até ocorrer o colapso. Esse fenômeno também é conhecido como piping.

A Figura 21 mostra a formação de uma brecha por entubamento ou infiltração, típica de barragens de terra, que também ocorre conforme a sequência a seguir.

- a) Surgimento do poro;
- b) Aumento por erosão;
- c) Colapso da porção superior e erosão.

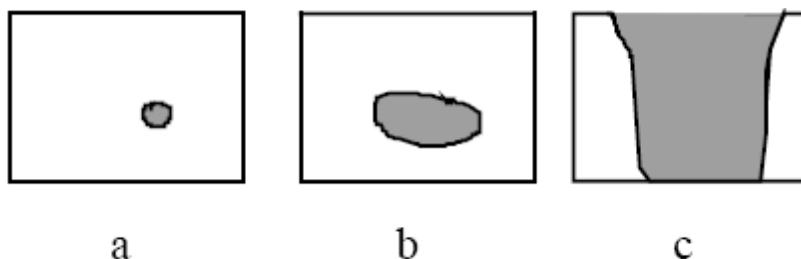


Figura 21 – Formação da brecha por infiltração

Fonte: COLLISCHONN, 1997, p. 32

5.1.6 Falhas nas fundações e estruturais

Nas barragens de concreto do tipo gravidade pode ocorrer uma falha estrutural geral, no caso de uma situação de instabilidade provocada por cargas hidrostáticas e uma deficiente capacidade de equilíbrio global, situação resultante de erro ou deficiência no projeto ou de um problema generalizado nas respectivas fundações.

Admite-se que o cenário mais provável é o da abertura da brecha por remoção sucessiva de blocos ou a ruptura da zona superior do perfil da barragem no caso de excederem as tensões limites numa zona menos espessa do perfil da barragem resultando de modo geral em uma ruptura parcial e gradual. O terreno sobre o qual a barragem está e a ligação da barragem ao terreno nas ombreiras podem deslizar sob o efeito das acomodações geológicas que resultam do enchimento do reservatório ou da saturação do material da fundação por infiltração (Almeida 2007).

Em barragens de aterro compactado a distribuição das pressões sobre o terreno de fundação ocorre de maneira mais branda e gradual reduzindo a possibilidade de falhas estruturais, porém a bibliografia indica diversos casos de falhas com rompimentos onde a falha nos estudos de geologia e geotecnia resultaram no colapso do barramento. Neste caso o colapso ocorre no enchimento ou apenas alguns dias após com a saturação da fundação.

A Figura 22 apresenta o comportamento de um rompimento resultante de uma falha nas fundações ou de estruturas, onde ocorre a formação de uma brecha que apresenta características parecidas seja a barragem de terra ou de concreto em gravidade (a), ou barragens de concreto em arco (b).

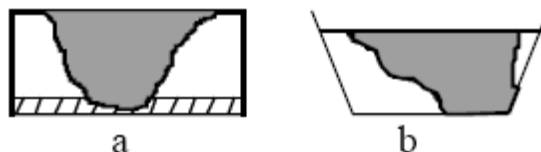


Figura 22 – Brechas resultantes de falhas nas fundações

Fonte: COLLISCHONN, 1997, p. 33

5.1.7 Ações de guerra

Durante guerras as barragens são pontos estratégicos pelo seu significado econômico para um país, bem como pelo potencial destrutivo de uma inundação resultante de uma ruptura. A formação da brecha depende da intensidade e da localização da explosão com a qual a barragem é atingida.

Durante a Segunda Guerra Mundial os países aliados desenvolveram armas especiais para implodir barragens. As implosões mais conhecidas são as das barragens de Moehne e de Eder, na Alemanha.

OBSERVAÇÃO: Do ponto de vista de simulação de rompimento, as causas de falhas nas fundações estruturais e por ações de guerra se comportarão como uma falha por galgamento ou infiltração, com diferenciação no tempo de formação da brecha e geometria, que devido as suas características podem ser considerados como rompimentos progressivos ou até mesmo catastróficos e imediatos conforme determina Collischonn, 1997.

5.1.8 Casos Estatísticos

Entre as causas de rompimentos, Ramos e Melo (2007) identificam que, em pesquisa envolvendo 1105 casos de deterioração de barragens pertencentes a 33 países, e em duas publicações elaboradas pela ICOLD e pela USCOLD (ICOLD, 1974 e USCOLD, 1975), a capacidade de vazão insuficiente ou o mau funcionamento dos órgãos de descarga de cheias associado ao galgamento foram responsáveis por cerca de 42% do número total de rupturas em barragens. Por sua vez as relacionadas com as fundações (percolação, erosão interna), com as erosões localizadas e com o deficiente comportamento estrutural foram responsáveis por cerca de 23%.

5.1.9 Formação da Brecha

A formação da brecha pode ser descrita por três parâmetros básicos:

- Tamanho;
- Tempo de formação;
- Forma geométrica.

Todos estes parâmetros são fortemente influenciados pela causa do rompimento e pelo tipo de barragem. Eles influenciam diretamente na vazão e na altura da onda de enchente decorrente do rompimento. Uma brecha maior ou rompimento catastrófico e com tempo de formação mais

rápido gera uma onda de enchente de maior volume e o esvaziamento mais rápido do reservatório, enquanto uma brecha menor e com tempo de formação mais lento geram uma onda de enchente menor e com esvaziamento lento do reservatório.

O manual do Hec-Ras (Agosto de 2014) indica, de acordo com referências internacionais, valores para formação da brecha, conforme a Figura 11 a seguir.

Table 3. Ranges of Possible Values for Breach Characteristics

Dam Type	Average Breach Width (B_{ave})	Horizontal Component of Breach Side Slope (H) (H:V)	Failure Time, t_f (hours)	Agency
Earthen/Rockfill	(0.5 to 3.0) x HD	0 to 1.0	0.5 to 4.0	USACE 1980
	(1.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 1.0	FERC
	(2.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0 (slightly larger)	0.1 to 1.0	NWS
	(0.5 to 5.0) x HD*	0 to 1.0	0.1 to 4.0*	USACE 2007
Concrete Gravity	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	USACE 1980
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.3	FERC
	Usually $\leq 0.5 L$	Vertical	0.1 to 0.2	NWS
	Multiple Monoliths	Vertical	0.1 to 0.5	USACE 2007
Concrete Arch	Entire Dam	Valley wall slope	≤ 0.1	USACE 1980
	Entire Dam	0 to valley walls	≤ 0.1	FERC
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	NWS
	(0.8 x L) to L	0 to valley walls	≤ 0.1	USACE 2007
Slag/Refuse	(0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3	FERC
	(0.8 x L) to L		≤ 0.1	NWS

*Note: Dams that have very large volumes of water, and have long dam crest lengths, will continue to erode for long durations (i.e., as long as a significant amount of water is flowing through the breach), and may therefore have longer breach widths and times than what is shown in Table 3. HD = height of the dam; L = length of the dam crest; FERC - Federal Energy Regulatory Commission; NWS - National Weather Service

Figura 23 – Tamanhos e tempo para formação da brecha

Fonte: Manual do Hec-Ras (Agosto/2004)

5.1.10 Tamanho da Brecha

Barragens de concreto em arco apresentam ruptura total e praticamente instantânea (ALMEIDA e FRANCO, 1993; ICOLD, 1996; e FRANCO, 1996 *apud* RIBEIRO, 2007).

Barragens de concreto por gravidade apresentam ruptura de um ou dois blocos (ALMEIDA e FRANCO, 1993; ICOLD, 1996; e FRANCO, 1996 *apud* RIBEIRO, 2007). Existe dificuldade de se prever o número de seções monolíticas que devem se deslocar e sofrer colapso, porém é possível determinar a geometria para simulação aumentando a largura da base da brecha de modo a representar o número de seções monolíticas deslocadas. O número de blocos rompidos poderá ser fixado tendo em conta a velocidade de descida do nível a montante, uma vez que uma rápida descida corresponde a uma redução significativa das solicitações para os blocos que não rompem, evitando os rompimentos de novos blocos nas laterais do primeiro rompimento.

Em barragens de terra não ocorre o rompimento total da estrutura do talude, este rompimento também não é instantâneo, a brecha que se forma como resultado do rompimento tende a apresentar uma largura média (B) de $0,5H < B < 3H$, onde H é a altura da barragem. Desta forma,

normalmente a largura da brecha em barragens de terra é muitas vezes inferior à largura total da barragem (Collischonn, 1997).

5.1.11 Tempo de Rompimento

Para as barragens de concreto em arco que são simuladas através da ruptura total da estrutura, o tempo de rompimento é instantâneo, ocorrendo em alguns minutos (Martins e Viseu, 2007).

Em barragens de concreto por gravidade o tempo de formação da brecha é da ordem de minutos. Em barragens de terra por gravidade, onde ocorre a ruptura em forma de brechas, o tempo de formação da mesma é usualmente maior e depende da altura da barragem, do material utilizado na construção, do grau de compactação e da magnitude e duração da vazão de galgamento. O tempo de formação da brecha é maior em casos de infiltração que em casos de galgamento. Na Figura 24 observa-se a probabilidade de o tempo de ruptura da brecha ser menor que um dado valor constante.

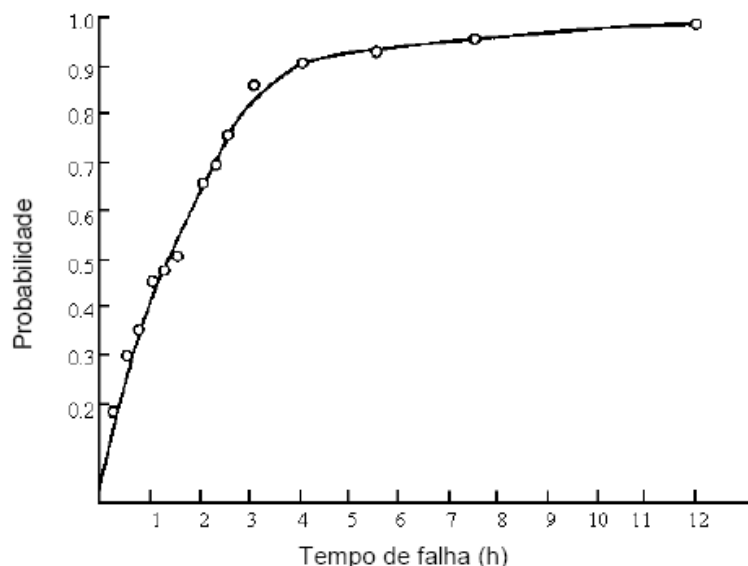


Figura 24 – Tempo de formação da brecha

Fonte: MARTINS; VISEU, 2007, p. 9

O gráfico demonstra que metade das situações de rompimento ocorre em no mínimo 90 minutos, tendendo para tempos maiores de formação da brecha, desta forma, resultados de simulação que objetivam valores médios podem utilizar este tempo de rompimento conforme observam Singh e Scarlatos (1988) *apud* Martins e Viseu (2007).

De acordo com a Figura 23, para Barragens de terra o tempo de formação da brecha é entre 6 minutos a 4 horas, e Barragens de Concreto de 6 minutos a 1 hora.

5.1.12 Trecho do Cálculo

O trecho da modelagem hidráulica é um fator muito importante a se considerar. O trecho de estudo deverá incidir entre a seção de início do reservatório da barragem em ruptura, a montante, e uma determinada seção de importância a jusante.

A Resolução Normativa Nº 696, de 15 de Dezembro de 2015 da ANEEL, no Art. 3 estabelece:

“§3º A área de abrangência dos estudos de que trata o §2º deverá compreender as barragens de jusante que disponham de capacidade para amortecimento da cheia associada.”

De acordo com as recomendações do Volume IV - Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE, item 5.2.3 Extensão de Cálculo, da Agência Nacional das águas (ANA) que estabelece:

“Os critérios mais adequados para a fixação da fronteira de jusante são os que se baseiam nas fronteiras físicas, ou seja, a foz do rio no oceano, a seção de confluência com outro rio de maior dimensão ou um reservatório a jusante. Estas fronteiras são aliás facilmente modeladas em modelo numérico.

Para se determinar a fronteira a jusante poder-se-á igualmente adotar uma seção a partir da qual se estabelece um grau de risco que se considera como aceitável; neste caso, dever-se-á considerar uma seção onde as alturas de água atinjam a ordem de grandeza das correspondentes a determinadas cheias características (cheia de projeto do vertedouro, maior cheia natural conhecida, cheia natural com determinado tempo de recorrência, por exemplo, 100 anos).

Diversos outros textos normativos definem porém de forma clara e explícita qual o critério de fixação da fronteira de jusante, por exemplo, a legislação finlandesa especifica que o cálculo da onda de inundação se deve processar até 50 km a jusante da barragem; por seu lado, a legislação de alguns estados canadenses postula que as populações que se encontram a mais de três horas da zona atingida pela onda de inundação não devem ser consideradas em risco, pelo que o cálculo da onda de inundação não deve cobrir uma seção atingida pela cheia para lá desse intervalo de tempo.

Graham (1998) sugere que é muito importante que os estudos do cálculo da onda de inundação incidam nos primeiros 30 km a jusante da barragem em causa. Com efeito, este autor mostra que a vulnerabilidade das pessoas em risco diminui muito a partir desta distância, nomeadamente pelas seguintes razões: primeiro, porque as áreas mais a jusante recebem mais e melhores alertas de emergência do que as a montante; segundo, porque a energia da onda de inundação, tal como a velocidade de propagação da respectiva frente, se torna menor. Na verdade, a informação de rupturas históricas de barragens confirma estes fatos, indicando que uma grande percentagem das vítimas mortais ocorre nos primeiros 25 km, sendo que esta distância é ainda menor para as pequenas barragens. A experiência norte-americana (com base num registo de 23 rupturas de barragens que ocorreram no período de 1960 a 1997 e ocasionaram vítimas mortais) corrobora igualmente estes fatos ao assinalar que cerca de 50% ocorreram a menos de 4,8 km da seção da barragem acidentada e 99% nos primeiros 24 km a jusante da mesma, num universo total de 318 vítimas mortais.”

De acordo com ANA - Volume IV - Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE, Anexo Cotação - Extensão do Vale a jusante poderá ser:

Volume Armazenado do Reservatório (hm³)	Classe da Extensão do vale a Jusante	Extensão do vale a Jusante aconselhada – L (km)
3-50	Pequena	Máximo 25
50-200	Média	25<L<100
>200	Significativa	Mínimo 100

5.1.13 Modelagem Matemática

A simulação do rompimento utiliza o modelo HEC-RAS versão 5.0.5, onde os métodos de cálculo são adotados para a análise dos regimes gradualmente variáveis, baseados nas equações de Saint-Venant, que calculam o escoamento da água em rios, canais e reservatórios em regime permanente e não permanente, número de Froude menor ou maior que 1 respectivamente.

Portanto, o escoamento obedece a leis da física, sendo representado por variáveis como vazão, profundidade e velocidade, e o comportamento é descrito por equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento.

O escoamento em rios ocorre em uma direção longitudinal, podendo ser representado pelas equações unidimensionais de Saint-Venant. As variáveis das equações de Saint-Venant são a velocidade “V” e a altura de água “h”, que podem ser apresentadas de forma não-conservativa pelas equações da continuidade e da dinâmica.

Com a equação da continuidade, que representa o princípio da conservação de massa, pode-se considerar a diferença de os fluxos de entrada e saída, sendo o volume de controle igual à variação do armazenamento no interior do fluxo.

As equações que expressam o princípio da conservação da quantidade de movimento, sendo igual ao somatório das forças que atuam sobre um volume de controle, podem ser apresentadas da seguinte forma:

- Equação da continuidade:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_L$$

- Equação da dinâmica:

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

Onde:

Q = vazão;

A = seção transversal;

t = tempo;

x = distância medida na direção do escoamento;

qL = contribuição lateral

V = velocidade de escoamento;

g = aceleração da gravidade;

h = profundidade do escoamento;

S0 = declividade do leito;

Sf = declividade da linha de energia.

A vazão (Q) e a altura da superfície de água (h) em cada local ao longo do rio são estimadas utilizando uma representação algébrica de Saint-Venant. Q e h são determinados em cada local para cada intervalo de tempo.

O HEC-RAS aplica as equações em regime permanente, para casos em que se necessita simular o fluxo das águas, e não permanente, para casos de simulações de rompimentos, e apresenta o resultado em forma de dados, tabelas e figuras que demonstram as seções transversais, o vale atingido pela enchente (de acordo com as informações lançadas pelo usuário) e gráficos, sendo que todas estas informações são utilizadas para se avaliar os impactos do rompimento de uma barragem.

5.1.14 Identificação das áreas atingidas

A identificação das áreas atingidas é executada com a apresentação do mapa de inundação, que indica as áreas inundadas com as alturas máximas atingidas pela onda de enchente, permitindo a separação da zona atingida da não atingida.

Todas as pessoas localizadas na zona atingida devem ser evacuadas.

5.1.15 Apresentação dos valores de altura ao longo do tempo

Os valores de altura da onda ao longo do tempo servem para a identificação do tempo de chegada da onda de enchente ao longo do trecho de jusante atingido. O tempo de chegada da onda em cada ponto é importante para o plano de evacuação e para o alerta da população sob risco na zona inundada, permitindo que seja realizado a evacuação em tempo hábil.

A bibliografia internacional define dois tipos de eventos: aqueles em que o tempo disponível para alertar e evacuar a população é superior a 90 minutos (1 hora e meia), e aqueles em que o tempo é inferior a 90 minutos. Entre os eventos cujo tempo de alerta é superior a 90 minutos, a perda média de vidas é de 0,04 % da população ameaçada, já quando o tempo de alerta é inferior a 90 minutos a perda média equivale a 13 %.

Para a população localizada na área atingida em tempo inferior a 90 minutos recomenda-se um levantamento detalhado para definição das estratégias para o Plano de Emergência.

5.1.16 Zoneamento de Risco

Esse processo consiste na divisão do território potencialmente atingido pela onda de cheia, sendo classificada segundo os riscos envolvidos, a magnitude do dano, a vulnerabilidade e os tempos de alerta envolvidos (Balbi, 2008).

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

- áreas atingidas (determina quais elementos em risco serão afetadas, 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.

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. A USBR (1999) adotou um critério para estimar a perda de vidas em função do tempo de alerta (Quadro 2 a seguir).

Quadro 1 - Número esperado de vítimas em função do tempo de alerta

Tempo de aviso (min)	Perda de vidas	Número esperado de vítimas
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 x número de pessoas em risco

Fonte: Adaptado de USBR, 1999.

Segundo Cestari (2013) a importância de uma submersão se deve à capacidade da cheia de provocar danos às pessoas, edificações e aos bens. Os principais parâmetros para classificar os danos são: a área atingida, a profundidade da cheia (H) e a sua velocidade de propagação (V). A ameaça provocada por esses fatores combinados corresponde ao risco hidrodinâmico calculado pela equação a seguir.

$$\text{Risco hidrodinâmico} = H \times V$$

Onde:

Risco hidrodinâmico = m^2/s

H = profundidade (m);

V = velocidade do fluxo (m/s)

De acordo com o estudo de Synaven et al., (2000) que teve como objetivo de estabelecer valores para os quais as cheias provocam danos, obteve-se as seguintes referências do

Quadro 2.

Quadro 2 - Consequências do Risco Hidrodinâmico

Risco Hidrodinâmico (m ² /s)	Consequências
<0,5	Crianças e deficientes são arrastados
0,5 – 1	Adultos são arrastados
1 – 3	Danos de submersão em edifícios e estruturais em casas fracas
3 – 7	Danos estruturais em edifícios e possível colapso
> 7	Colapso de certos edifícios

Fonte: Adaptado de SYNAVEN, 2000.

Viseu (2006) estabeleceu critérios para graduação do risco em função da profundidade e da velocidade. Considera-se o fato de que na área inundada existam 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. Os Quadros 4 e 5 a seguir apresentam estas graduações.

Quadro 3 - Nível de perigo para seres humanos

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

Fonte: Adaptado de VISEU, 1998

Quadro 4 - Nível de perigo para edificações

Nível	Classe	Inundação Dinâmica (HxV)	Velocidade (V)
Reduzido	Verde	< 3 m ² /s	< 2 m/s
Médio	Amarelo	3 m ² /s – 5 m ² /s	2 m/s – 4 m/s
Importante	Laranja	5 m ² /s – 7 m ² /s	4 m/s – 5,5 m/s
Muito Importante	Vermelho	> 7 m ² /s	> 5,5 m/s

Fonte: Adaptado de VISEU, 1998

O risco hidrodinâmico será avaliado somente para a condição de dimensionamento do Vertedouro, ou seja, TR 1.000 anos, e seguirá a legenda da Tabela 15 a seguir.

Tabela 4 - Legenda para Risco Hidrodinâmico

Risco Hidrodinâmico (m ² /s)	Consequências
< 0,5	Crianças e deficientes são arrastados
0,5 - 1	Adultos são arrastados
1 - 3	Danos de submersão em edifícios e estruturas em casas fracas
3-7	Danos estruturais em edifícios e possível colapso
>7	Colapso de certos edifícios

5.2 Dados de entrada utilizados

5.2.1 Trecho da análise

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece o trecho de análise da simulação do rompimento da Barragem deverá ser estendido até Barragem de jusante com capacidade de amortecimento da onda. Já a Agência Nacional de Águas – ANA no Volume IV - Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE, item 5.2.3 Extensão de Cálculo, da Agência Nacional das águas (ANA) que estabelece conforme descrito item 5.1.12, que resumidamente descreve:

- Fronteiras físicas, ou seja, a foz do rio no oceano, a seção de confluência com outro rio de maior dimensão ou um reservatório a jusante;
- População que se encontram com mais de três horas após rompimento não são consideradas áreas de risco;
- Volume Reservatório entre 3 - 50 hm³ - análise da simulação do rompimento da Barragem no trecho a jusante até máximo 25 km.

A informação de rupturas históricas de barragens confirma estes fatos, indicando que a grande maioria das vítimas fatais ocorrem nos primeiros 25 km, sendo que esta distância diminui conforme a redução da altura da barragem e do volume do reservatório.

Para o estudo na PCH Salto Forqueta como o volume do reservatório está entre 3 - 50 hm³ (3,40 hm³) a extensão do trecho de modelagem foi considerada desde o reservatório da PCH Rastro de Auto até 25 km a jusante do Barramento da PCH Salto Forqueta.

Assim o trecho definido para o estudo foi de cerca de 32,20 km ao longo do eixo do rio Forqueta, incluindo o trecho desde o reservatório da PCH Rastro de Auto até 25 km a jusante da Barragem da PCH Salto Forqueta, passando pelos ribeirinhos de jusante e pelo local das casas de força das duas usinas, atendendo todas as recomendações nacionais (ANEEL e ANA) e internacionais.

As características da Usina com barragem de média altura (29,50 m), volume do reservatório pequeno (3.40 hm³) e vale de jusante aberto dissipando a onda em menor tempo indicam que o critério e o trecho de análise estão de acordo com a bibliografia.

5.2.2 Geografia da região e geometria do rio

Foram alimentados no software os dados de seção transversal em distâncias conforme locais onde foram obtidos níveis de água e de acordo com as mudanças percebidas na geografia da região de forma a se obter maior fidelidade na simulação.

O desenho RDA-C-SRE-001-00-21 – Seções na Restituição – Folha 01 a 05 presente no Anexo IV apresenta a localização das seções transversais obtidas pela restituição e utilizadas no modelo.

5.2.2.1 Cartografia

Foi utilizado a restituição existente fornecido pela CERTEL oriundo dos Projetos básicos do rio Forqueta.

A restituição aerofotogramétrica abrange a maior parte da área em estudo e foi executada com curvas de nível equidistantes de 1,00 m próximo a calha e de 5 m no restante, utilizando-se as imagens disponíveis no Google Earth.

A Restituição aerofotogramétrica do Inventário do Rio Forqueta no trecho entre a PCH Foz do Jacutinga e a CGH Olaria.

Todos estes dados estão apresentados no Anexo I – Dados, 1 – Cartografia e Topografia.

5.2.2.2 Topografia

Os dados utilizados de topografia também foram extraídos dos Projetos Básicos do rio Forqueta existentes, no trecho de jusante da Barragem da PCH Rastro de Auto, foram:

5.2.2.2.1 PCH Rastro de auto

- Levantamento de 03 seções topobatimétricas no local previsto para a implantação da casa de máquinas da PCHRDA.
- Levantamento de 03 seções topobatimétricas localizadas a jusante do local onde foi construído o barramento da PCHRDA.

5.2.2.2.2 PCH Salto Forqueta

- Levantamento de 03 seções topobatimétricas na região da casa de máquinas da PCHSF.
- Levantamento de 07 seções topobatimétricas localizada a montante e a jusante da posição da casa de máquinas da PCHSF.
- Levantamento de 01 seção topobatimétrica localizada a jusante da laje de dissipação do barramento da PCHSF.

5.2.2.2.3 PCH Moinho Velho

- Seções topobatimétricas B1, B2 e B3.
- Seções topobatimétricas B4, B5 e B6.
- Seções topobatimétricas B7 e B8.

5.2.2.2.4 PCH Vale Fundo

- Seção topobatimétrica barramento SB01.
- Seção topobatimétrica barramento SB02.
- Seção topobatimétrica barramento SB03.
- Seção topobatimétrica barramento SB04.
- Seção topobatimétrica barramento SB05.

- Seções topobatimétricas B01 e B02.
- Seções topobatimétricas B03, B04 e B05.
- Seções topobatimétricas B06 e B07.

5.2.2.2.5 PCH Vale Do Leite

- Seção topobatimétrica 01B.
- Seção topobatimétrica 01A.
- Seção topobatimétrica 01.
- Seção topobatimétrica 02.
- Seção topobatimétrica 03.
- Seção topobatimétrica 04.
- Seção topobatimétrica 05.

5.2.2.2.6 CGH Olaria

- Seções topobatimétricas S-00 e S-01.
- Seções topobatimétricas S-02 e S-03
- Seções topobatimétricas S-04 e S-05

Todos estes dados estão apresentados no Anexo I – Dados, 1 – Cartografia e Topografia.

5.2.3 Geometria da barragem

A barragem de enrocamento da margem esquerda, com altura máxima de 29,50 m no centro da Barragem/vertedouro, tem comprimento total de 175,43 m e cota de proteção das ombreiras na EL. 211,80 m. O vertedouro de soleira livre tem 95,50 m de comprimento e crista na EL. 206,80 m. Para o lançamento de dados no software foram utilizadas as referências dos desenhos da Tabela a seguir na Tabela 5.

Tabela 5 – Fontes da geometria da Barragem (Anexo I - Dados) – Projetista Electra Power (Projeto Executivo)

Código	Revisão	Título	Ano
SFQPEC00-03	0	Arranjo Geral	2000
SFQPEC00-06	0	Barragem – Vista de Montante e Planta	
SFQPEC00-19	0	Barragem – Seção Típica	
SFQPEC00-25	0	Descarga de Fundo – Vista de Montante	

5.2.4 Hidrograma de Cheias

O capítulo tem por finalidade apresentar os estudos hidrológicos realizados para a obtenção do Hidrograma de Cheias para os diferentes tempos de recorrência calculados em relação a área da bacia hidrográfica no eixo do barramento da PCH Salto Forqueta.

5.2.4.1 Vazões de Cheias

Para a definição do hidrograma foram utilizadas as vazões de cheia recalculadas no “Estudo do lago de regularização e estudos da PCH Foz do Jacutinga e Vale do Leite” que foram desenvolvidas em 2021 pelo Eng. Elizeu Riba, e estão indicadas na Tabela 6 abaixo onde em negrito estão as vazões utilizadas na simulação do rompimento da barragem.

Tabela 6 – Vazões de Cheias na PCH Salto Forqueta – (1957-2014)

TR (anos)	Cheia Nor (m³/s)	Cheia Inst (m³/s)
10	627	866
50	879	1.215
100	986	1.362
500	1.233	1.703
1.000	1.339	1.850
10.000	1.691	2.336

Para os estudos de rompimento foram consideradas as vazões de 10, 100 e 1.000 anos. Assim o hidrograma de cheias foi definido com base nessas três vazões. O hidrograma é obtido através da multiplicação do tempo de concentração da bacia (considerado 10 horas) pelo adimensional (t/t_p) e o valor da vazão de cheia para o respectivo tempo de recorrência pelo adimensional (Q/Q_p). O pico da cheia é considerado no tempo $t/t_p=1$ ou seja exatamente no tempo de concentração da bacia hidrográfica.

O menor valor de vazão considerado foi a Q_{mlt} que no caso da PCH Salto Forqueta é de 18,40 m³/s, sendo que onde os valores forem menores que este serão substituídos.

A Tabela 7 apresenta os valores do coeficiente de desagregação e os valores de tempo e vazão do hidrograma para cada cheia definida. O valor do tempo é o mesmo para todos os cenários sendo que apenas a vazão muda conforme o tempo de recorrência. Os valores de vazão correspondente ao tempo no hidrograma obtidos e utilizados no programa Hec-Ras também estão indicados na Tabela 7. As curvas dos hidrogramas estão indicadas no Gráfico 1 abaixo.

Tabela 7 – Coeficientes de Desagregação e Valores do Hidrograma para TR 10, 100 e 1.000 anos

Coef Desagregação		Tempo (h)	Vazão (m³/s)		
t/tp	Q/Qp		10	100	1.000
0,000	0	0	18,40	18,40	18,40
0,100	0,015	1	18,40	20,44	27,75
0,200	0,075	2	64,95	102,18	138,73
0,300	0,16	3	138,56	217,97	295,95
0,400	0,28	4	242,47	381,46	517,91
0,500	0,43	5	372,37	585,81	795,37
0,600	0,6	6	519,59	817,40	1.109,81
0,700	0,77	7	666,80	1.049,00	1.424,26
0,800	0,89	8	770,72	1.212,48	1.646,22
0,900	0,97	9	840,00	1.321,47	1.794,20
1,000	1	10	865,98	1.362,34	1.849,69
1,100	0,98	11	848,66	1.335,09	1.812,69
1,200	0,92	12	796,70	1.253,35	1.701,71
1,300	0,84	13	727,42	1.144,37	1.553,74
1,400	0,75	14	649,48	1.021,76	1.387,27
1,500	0,65	15	562,89	885,52	1.202,30
1,600	0,57	16	493,61	776,53	1.054,32
1,800	0,43	18	372,37	585,81	795,37
2,000	0,32	20	277,11	435,95	591,90
2,200	0,24	22	207,84	326,96	443,92
2,400	0,18	24	155,88	245,22	332,94
2,600	0,13	26	112,58	177,10	240,46
2,800	0,098	28	84,87	133,51	181,27
3,000	0,075	30	64,95	102,18	138,73
3,500	0,036	35	31,18	49,04	66,59
4,000	0,018	40	18,40	24,52	33,29
4,500	0,009	45	18,40	18,40	18,40
5,000	0,004	50	18,40	18,40	18,40

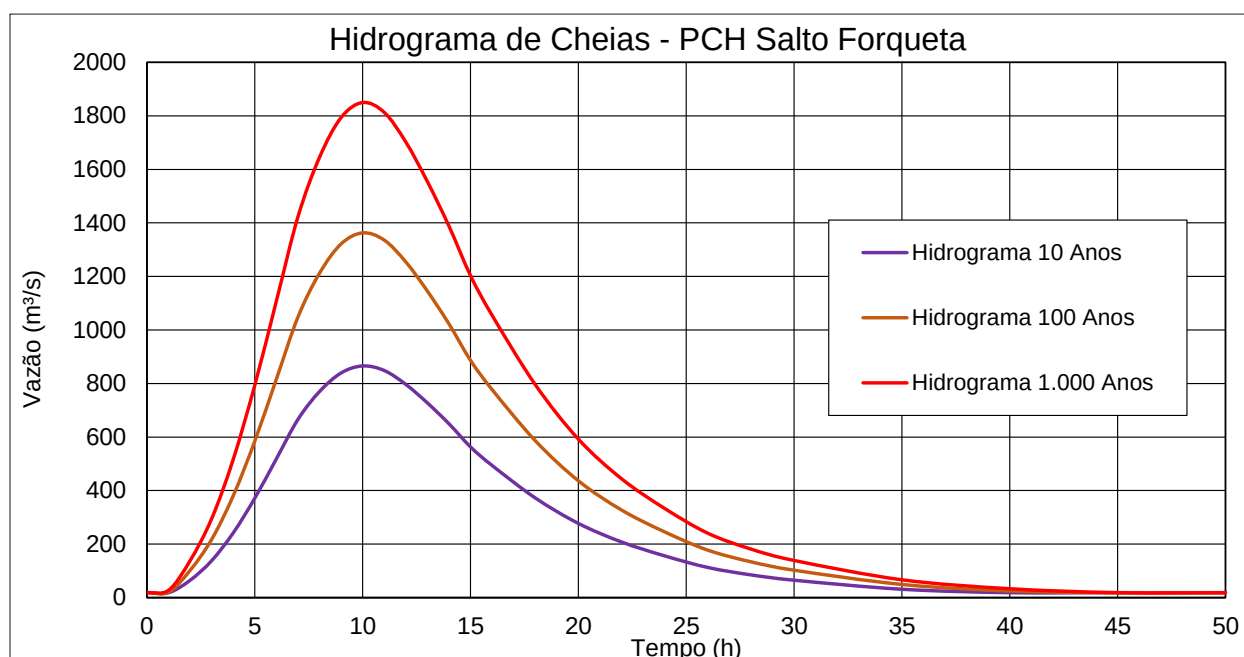


Gráfico 1 – Hidrograma de Cheias PCH Salto Forqueta

5.2.5 Capacidade de descarga do vertedouro

O vertedouro da PCH Salto Forqueta possui capacidade de descarga de 1.802,10 m³/s correspondente a cheia instantânea com tempo de recorrência de 1.000 anos com o nível do reservatório na elevação 210,80 m. Abaixo o Gráfico 2 apresenta a curva d descarga do vertedouro da PCH Salto Forqueta, bem como tabela indicando os níveis no reservatório para as respectivas vazões.

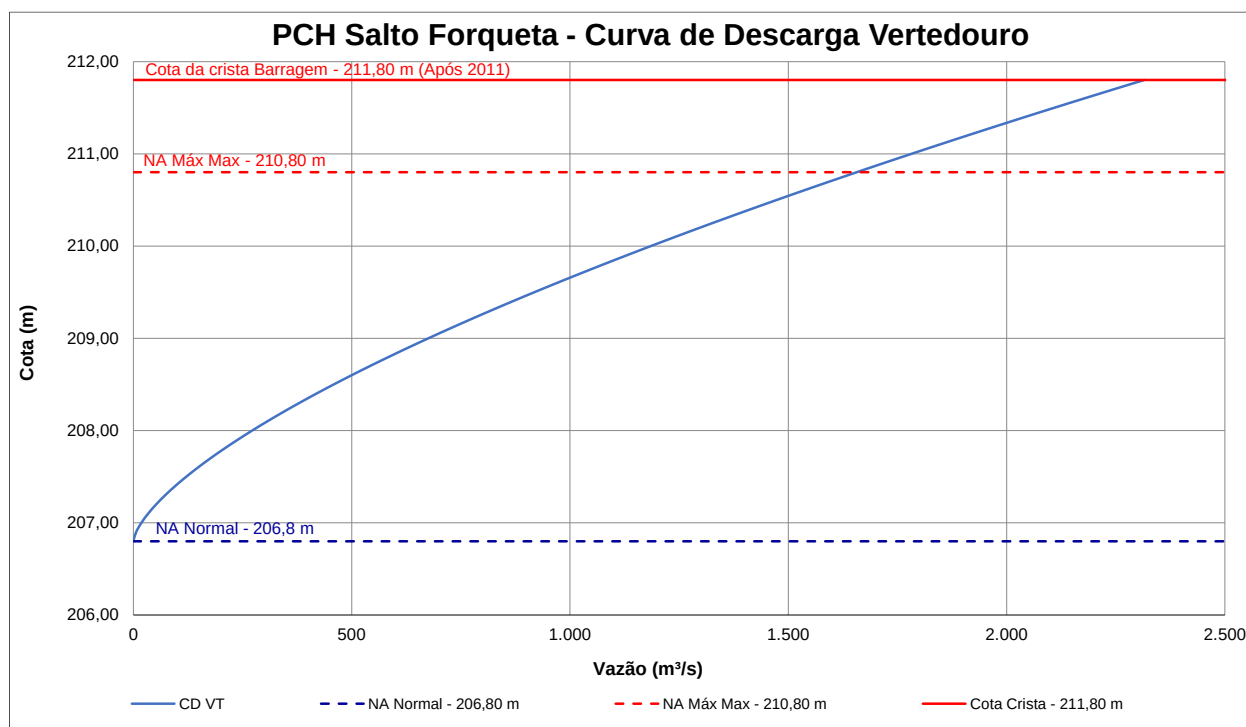


Gráfico 2 – Curva de Descarga Vertedouro PCH Salto Forqueta

5.2.6 Calibração do modelo matemático

A geometria do modelo matemático compreende aproximadamente 32,20 km de extensão, a partir do reservatório da PCH Rastro de Auto, de acordo com a Figura 25 a seguir. Ao todo foram inseridas 234 seções transversais, com média de 200 m de espaçamento entre elas, interpoladas a cada 50 m.

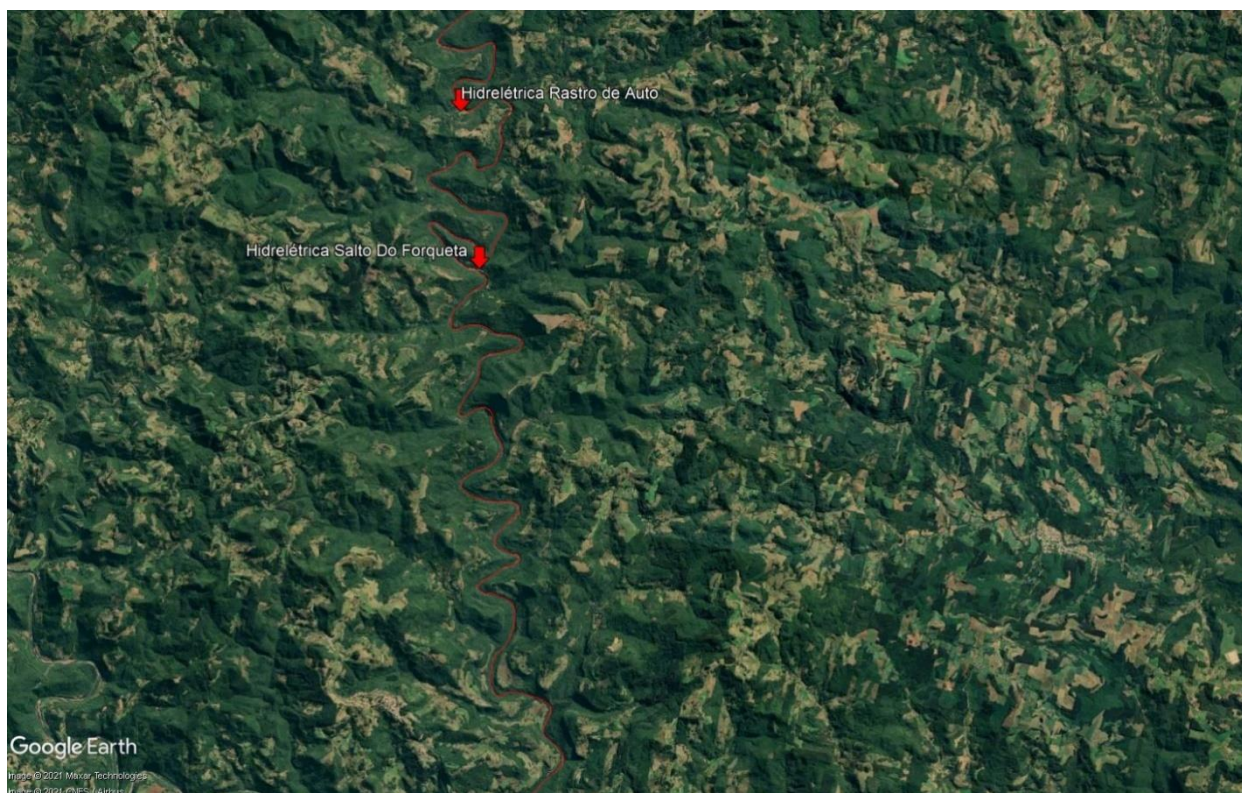


Figura 25 – Abrangência do modelo computacional (Google Earth)

A calibração do modelo foi realizada com base nas informações dos itens 5.1 e 5.2, a restituição das vazões no curso d'água, e as seções topobatimétricas, calibrando o fundo das seções provenientes da restituição, com a variação do coeficiente de manning e inserção de seções de controles ao longo do curso d'água.

Para calibração do modelo foram definidos parâmetros conforme detalhados a seguir.

A calibração do modelo foi realizada com base nas informações dos itens 5.1 e 5.2, a restituição das vazões no curso d'água, e as seções topobatimétricas, calibrando o fundo das seções provenientes da restituição, com a variação do coeficiente de manning e inserção de seções de controles ao longo do curso d'água.

Para calibração do modelo foram definidos parâmetros conforme detalhados a seguir.

5.2.6.1 Coeficiente de Rugosidade

Os coeficientes de rugosidade de Manning foram atribuídos a partir de valores reportados em bibliografia, considerando-se o julgamento de engenharia aplicado às variações da cobertura vegetal mapeada, e estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Parâmetros de rugosidade de Manning

Tipologia	Coeficiente de rugosidade de Manning (n)
Corpo d'água	0,040
Área Urbanizada	0,045

5.2.6.2 Fundo do rio – Calha

A calha do rio foi definida de acordo com seções topobatimétricas variando de 1,00 a 1,50 m.

5.2.6.3 Seções do modelo

A Figura 26 apresenta as 234 seções lançadas no programa, desde o reservatório até 32,00 km a jusante da barragem. No desenho SFO-C-SRE-001-00-21 – Seções na Restituição – Folhas 01 a 05, apresentados Anexo IV, estão indicadas a localização das seções a partir da montante da barragem da PCH Rastro de Auto.

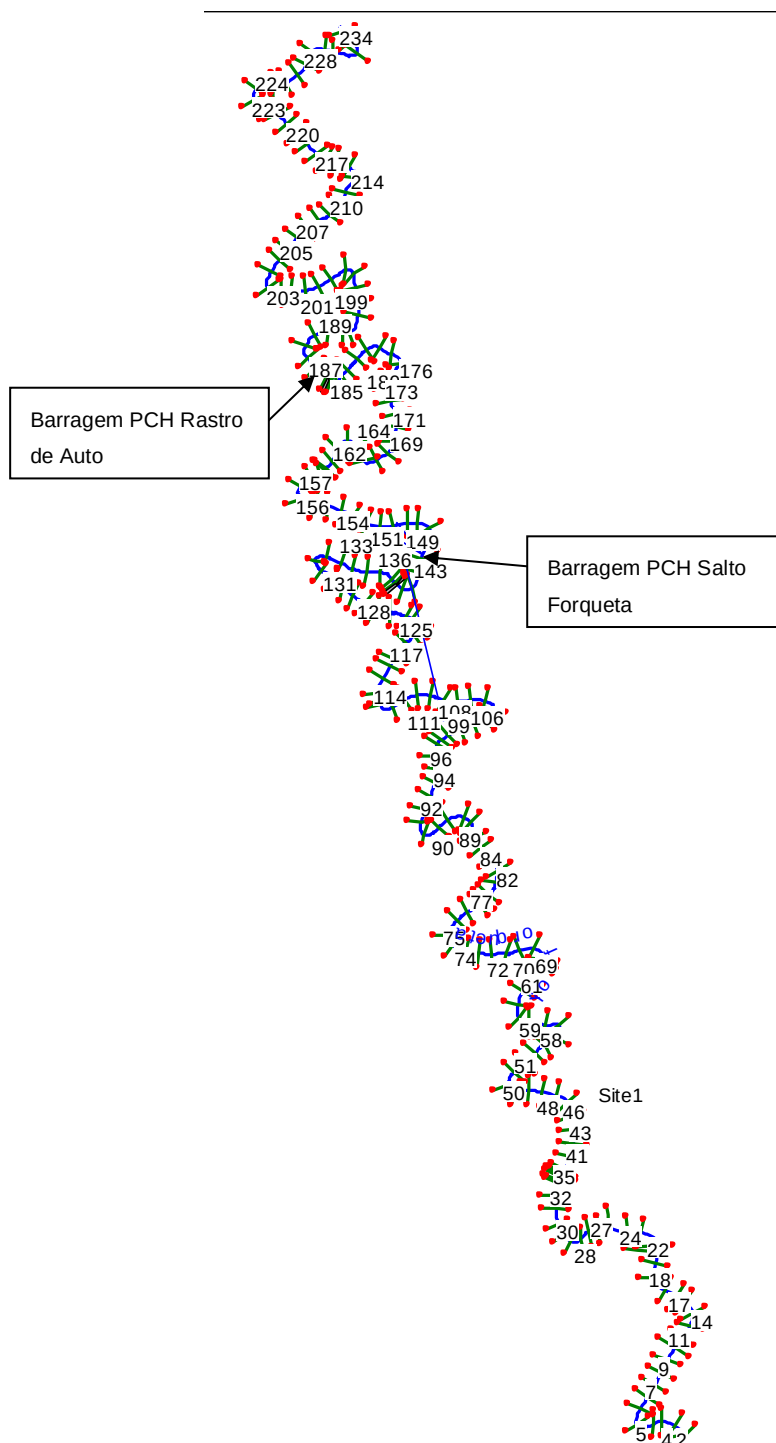


Figura 26 – Geometria do rio - Seções lançadas no Hec-Ras

5.2.6.4 Pontos de calibração

O Quadro 5 a seguir apresenta estes pontos utilizados na calibração do modelo, conforme citado acima item 5.2.2.2.

Quadro 5 – Pontos de Apoio para calibração do rio

Seção	Descrição	Nível de Água Campo (m)	Cota Ponte (m)	Usina
184	Eixo A-D Rastro	236.51		Rastro
183	Eixo C-B Rastro	236.51		
182	Eixo E-F Rastro	236.5		
161	Eixo 3 Rastro	207.216		
160	Eixo 2 Rastro	206.637		
159	Eixo 1 Rastro	206.637		
139	Barragem SFO	185.8		Salto Forqueta
126	Batimetria 1 - CF SFO	177.2		Moinho Velho
125	Perfil 1 - CF SFO	173.09		Salto Forqueta
	Perfil 2 - CF SFO	173.04		
	Perfil 3 - CF SFO	172.99		
124	B-08 MV	170.58		Moinho Velho
122	Batimetria 2 - CF SFO	172.8		
121	Batimetria 3 - CF SFO	172.55		
120	Batimetria 4 - CF SFO	172.46		
119	Batimetria 5 - CF SFO	170.72		
118	Batimetria 6 - CF SFO	169.28		Salto Forqueta
117	B-07 MV	166.61		Moinho Velho
114	B-06 MV	164.35		
113	Batimetria 7 e Ponte - CF SFO		170.3	
110	B-05 MV	159.89		
106	B-04 MV	156.73		
102	B-03 MV	154.32		Vale Fundo
98	B-02 MV	154.686		
96	B-01 MV	153.47		
	B07- VF	153.47		
90	B06- VF	147.82		
87	B05 - VF	144.82		
83	B04 - VF	136.982		
79	B03 - VF	133.985		
75	B02 - VF	131.865		
71	B01 - VF	128.412		
67	SB05 - VF	128.492		
66	SB04 - VF	128.147		
65	SB03 - VF	128.098		Vale do Leite
64	SB02 - VF	128.033		
63	SB01 - VF	128.03		
39	ST05-VL	104.09		
38	ST04-VL	104.05		Olaria
37	ST03-VL	103.2		

Seção	Descrição	Nível de Água Campo (m)	Cota Ponte (m)	Usina
36	ST02-VL	102.11		Vale do Leite
35	ST01-VL	101.9		
34	ST01A-VL	101.88		Olaria
33	ST01B-VL	101.82		
30	S04-OL	100.413		
28	Seção 01	100.615		
27	Seção 02	100.211		
26	Seção 03	98.345		
24	S03-OL	96.802		
21	Seção 04	95.17		
20	S02-OL			
16	S01-OL	91.24		
11	S00-OL	88.177		

5.2.6.5 Perfil do Rio calibrado

Na Figura 27 a seguir está representado o perfil do escoamento da calibração da propagação da onda ao longo do trecho estudado com vazão média de 15 m³/s.

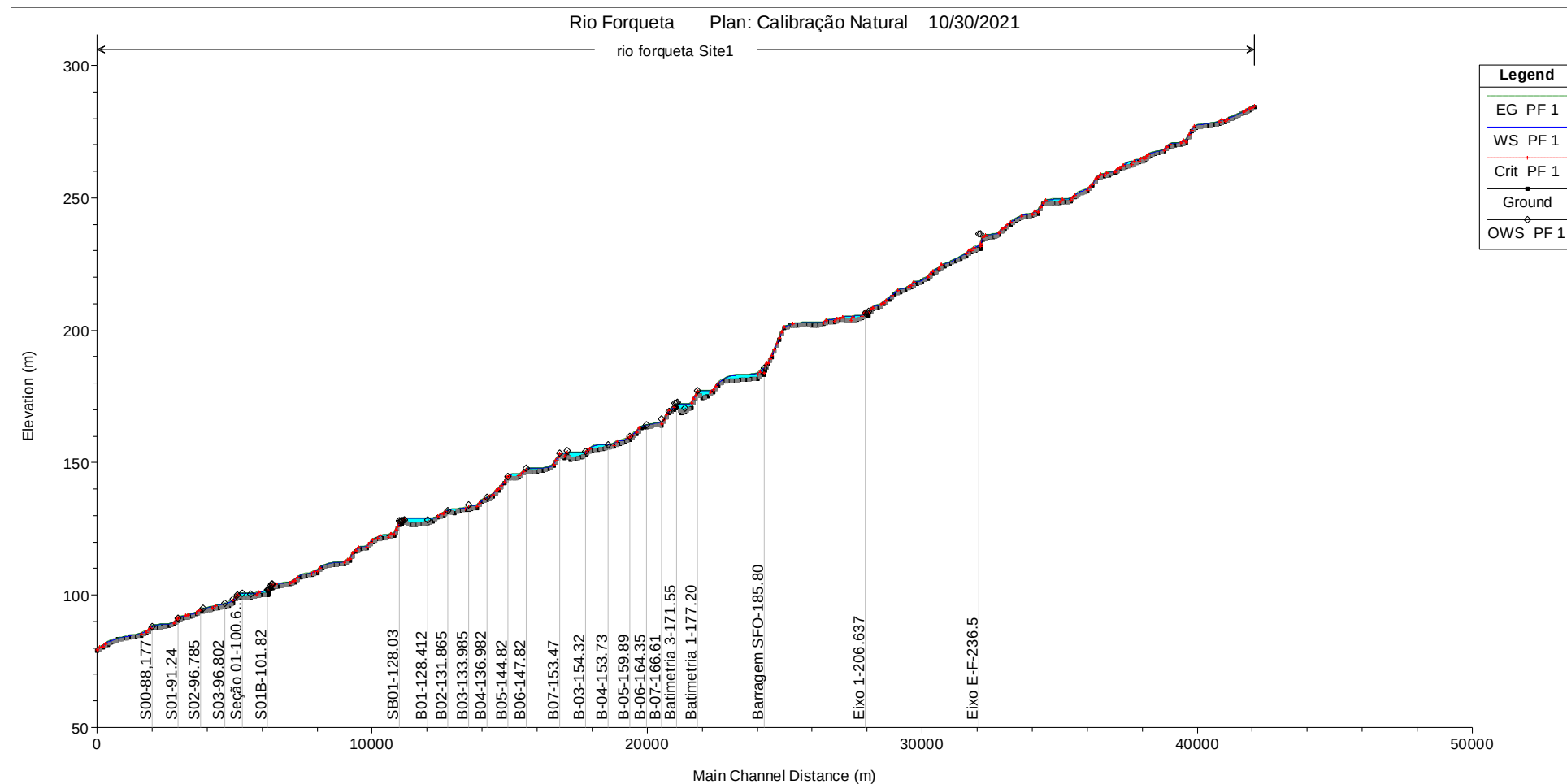


Figura 27 – Perfil do rio calibrado – Vazão média

5.3 Causa considerada para o rompimento

Para a cheia de 1.000 anos, a vazão máxima instantânea calculada é de 1849 m³/s, vazão essa que o vertedouro tem capacidade de escoar sem ocorrer o galgamento da barragem. Portanto para o rompimento foi considerada a hipótese de **formação de brecha por falha de fundação ou colapso estrutural do concreto do bloco mais alto da barragem**. O início do rompimento foi definido como sendo no mesmo momento do pico do hidrograma de cheias resultando assim na pior onda de cheia possível.

A simulação de rompimento de múltiplos blocos de concreto da estrutura do barramento resulta na pior hipótese com os maiores danos a jusante, porém deve ser mantido o controle nas estruturas auxiliares como vertedouro e ombreiras. Qualquer aumento repentino no fluxo, principalmente se houver infiltração de grande porte deve ser sinal para a entrada em nível de alerta podendo entrar em nível de **EMERGÊNCIA**, caso ocorra a ruptura por vazamento.

5.3.1 Dados utilizados para formação da brecha

Para a simulação de rompimento foi adotada uma geometria retangular de múltiplos blocos do vertedouro, largura 30,00 m, rompendo região central atendendo os critérios científicos de tamanho da brecha (Item 5.1.9). A Figura 28 apresenta a modelagem da barragem no programa de simulação Hec-Ras.

O tempo de formação adotado foi de 6 minutos, barragem de média altura 29,50 m, e de acordo com os critérios científicos de tempo de formação da brecha para estrutura de concreto, conforme descrito e apresentado no Quadro 6 e na Figura 24 e definido no item 5.1.11.

Quadro 6 - Características da brecha inicial considerada – Salto Forqueta

CARACTERÍSTICA DA BRECHA FORMADA	PCH Salto Forqueta
Tempo de ruptura (h)	0,10 h
Forma da brecha	Retangular
Largura da brecha (m)	30,00
Profundidade da brecha (m)	29,50
Localização da brecha	VT - Margem Esquerda

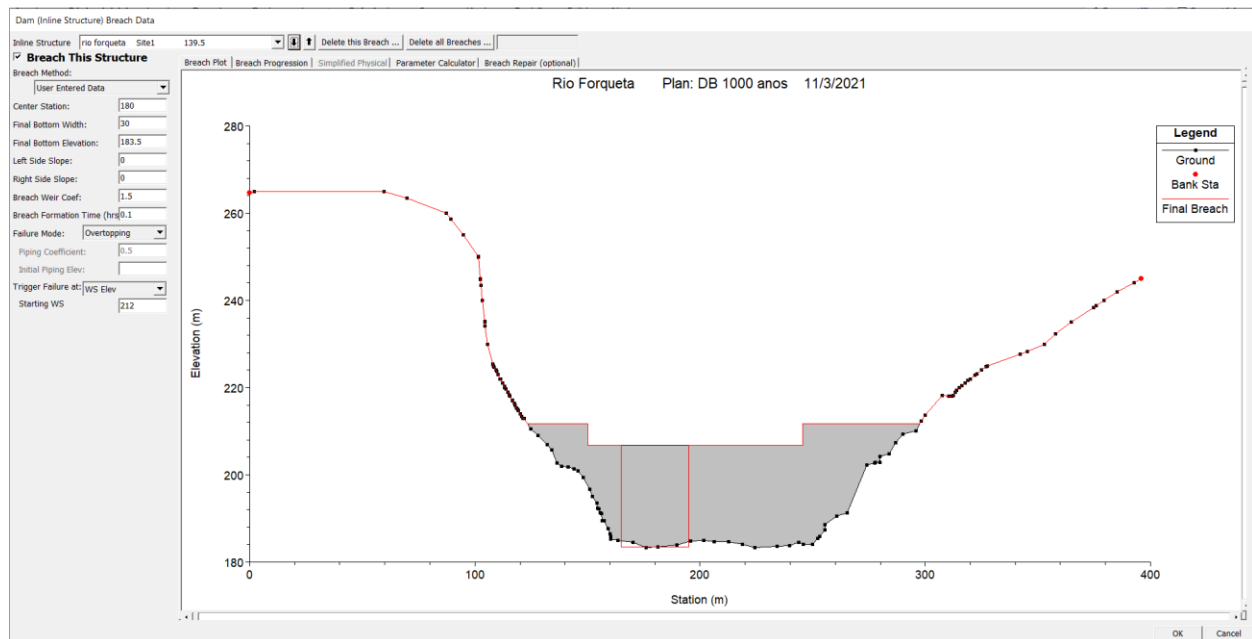


Figura 28 – Dados do Barramento Salto Forqueta com Brecha rompimento – Hec-Ras

5.4 Simulações Realizadas

Primeiramente simulou-se o Rio Forqueta na situação natural para as três vazões (TR 10, TR 100, e TR 1.000 anos), para depois simular o rompimento da barragem (dam break) da PCH Salto Forqueta.

A definição das vazões a serem simuladas estão de acordo com preconizado no item 4.2:

- Simulação 1 – Condição de enchente sem rompimento da Barragem (Natural);
- Simulação 2 – Condição de enchente com Rompimento da Barragem da PCH Salto Forqueta (Dam Break).

Na tabela abaixo estão apresentados os picos de vazão dos hidrogramas de cheias na barragem da PCH Salto Forqueta.

Tabela 9 – Hidrogramas para PCH Salto Forqueta

TR (anos)	Pico Máximo do Hidrograma de Cheias (m³/s)
10	866
100	1.362
1.000	1.849

5.4.1 Resultados Básicos Simulação 1

A Tabela 10 apresenta os resultados dos níveis de água obtidos na Barragem, Casa de Força e Ponte de jusante na jusante da PCH Salto Forqueta somente com a consideração de enchente, sem rompimento da Barragem de Salto Forqueta nos diferentes tempos de recorrência considerados.

Ocorre inundação da ponte a jusante da PCH Salto Forqueta e inundação da Casa de Força da PCH Salto Forqueta na TR 1.000 anos.

Tabela 10 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Salto Forqueta sem rompimento da Barragem

Estrutura	Distância em relação Barragem Salto Forqueta (km)	Cota de Proteção (m)	10 ANOS	100 ANOS	1000 ANOS
			NA Máximo Enchente (m)		
Barragem Salto Forqueta	0,00	211,80	209,35	210,25	211,03
Casa de Força Salto Forqueta	2,94	179,76	178,03	179,56	180,76
Ponte Jusante	4,41	168,98	170,16	171,18	172,02

(*) Destacados em vermelho ocorre inundação

5.4.2 Resultados Básicos Simulação 2

Todas as simulações de rompimento foram efetuadas para os tempos de recorrência de 10, 100, e 1.000 anos, com o rompimento ocorrendo no nível máximo conforme enchentes para cada tempo de recorrência considerado.

A Tabela 11 apresenta os resultados dos níveis de água obtido na Barragem, Casa de Força e Ponte de jusante com a consideração do rompimento da Barragem de Salto Forqueta.

Ocorreram inundações na Casa de Forçada Salto Forqueta e na ponte jusante.

Tabela 11 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Salto Forqueta com rompimento da Barragem

Estrutura	Distância em relação Barragem Salto Forqueta (km)	Cota de Proteção (m)	10 ANOS	100 ANOS	1000 ANOS
			NA Máximo Rompimento (m)		
Barragem Salto Forqueta	0,00	211,80	209,34	210,24	211,02
Casa de Força Salto Forqueta	2,94	179,76	182,74	183,56	184,21
Ponte Jusante	4,41	168,98	173,49	174,34	175,07

(*) Destacados em vermelho ocorre inundação

5.5 Altura Máxima da Onda

Foi verificada a cota de proteção da Casa de Força da Salto Forqueta e da Ponte de jusante (acesso PCH Salto Forqueta).

Ocorre inundação da Ponte de Jusante com rompimento da barragem em qualquer condição hidrológica e inundação da Casa de Força da PCH Salto Forqueta com rompimento da Barragem a partir da TR 100 anos.

Tabela 12 – Níveis Estruturas – Natural e com rompimento Barragem Salto Forqueta

Estrutura	Condição	Cota de Proteção (m)	NA Máximo (m)		
			10 ANOS	100 ANOS	1000 ANOS
Casa de Força Salto Forqueta	Natural sem rompimento	179,76	178,03	179,56	180,76
	Com rompimento barragem		182,74	183,56	184,21
Ponte Jusante	Natural sem rompimento	168,98	170,16	171,18	172,02
	Com rompimento barragem		173,49	174,34	175,07

(*) Destacados em vermelho ocorre inundação

A Tabela 13 e Tabela 14 apresentam os níveis máximos obtidos nas simulações, com e sem dam break, e altura máxima da onda (Δ), que é a diferença de nível entre as duas hipóteses para todas as seções da restituição definidas no estudo. Também está apresentado a velocidade e vazão máxima obtida em cada seção. O ponto do barramento a jusante estão selecionados junto com outras seções de interesse que estão definidas nas descrições.

- Condição Natural – Sem rompimento da Barragem;
- Dam Break – Com rompimento da Barragem.

Tabela 13 – Resultados Obtidos- Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 10 e TR 100 anos

PERFIL					10 ANOS					100 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ			Natural	Dam Break	Δ		
234		165,00	42071	284,15	288,81	288,81	0,00	4,00	818,23	289,69	289,69	0,00	4,45	1287,23
233		221,60	41906	283,22	287,50	287,50	0,00	3,04	818,00	288,58	288,58	0,00	3,37	1286,88
232		364,48	41685	282,06	286,80	286,80	0,00	2,45	817,58	287,99	287,99	0,00	2,80	1286,31
231		120,00	41320	280,17	285,95	285,95	0,00	2,25	816,93	287,18	287,18	0,00	2,62	1285,19
230		200,00	41200	279,76	285,38	285,38	0,00	3,05	816,88	286,61	286,61	0,00	3,37	1285,14
229		200,00	41000	278,49	284,94	284,94	0,00	2,12	816,77	286,15	286,15	0,00	2,68	1285,02
228		200,00	40800	277,97	284,18	284,18	0,00	3,09	816,64	285,41	285,41	0,00	3,34	1284,89
227		200,00	40600	277,52	283,44	283,44	0,00	2,88	816,49	284,59	284,59	0,00	3,37	1284,70
226		200,00	40400	277,23	282,56	282,56	0,00	3,22	816,22	283,65	283,65	0,00	3,74	1284,53
225		241,55	40200	276,94	281,88	281,88	0,00	2,60	816,20	282,98	282,98	0,00	3,08	1284,35
224		158,48	39959	276,41	281,00	281,00	0,00	2,11	816,15	282,04	282,04	0,00	2,53	1284,11
223		200,00	39800	275,02	279,06	279,06	0,00	5,23	816,11	280,06	280,06	0,00	5,54	1284,09
222		200,00	39600	270,67	276,77	276,77	0,00	3,37	816,07	278,04	278,04	0,00	4,00	1284,06
221		200,00	39400	270,23	275,53	275,53	0,00	3,24	816,01	276,72	276,72	0,00	3,73	1284,00
220		200,00	39200	269,87	275,03	275,03	0,00	2,52	815,90	276,36	276,36	0,00	2,80	1283,88
219		200,00	39000	269,26	273,98	273,98	0,00	2,70	815,73	275,39	275,39	0,00	3,07	1283,30
218		200,00	38800	267,55	273,38	273,38	0,00	2,67	815,69	274,84	274,84	0,00	3,03	1283,29
217		140,01	38600	267,06	272,57	272,57	0,00	3,15	815,63	273,93	273,93	0,00	3,75	1283,24
216		160,00	38460	266,73	272,32	272,32	0,00	2,52	815,58	273,78	273,78	0,00	2,88	1283,20
215		202,45	38300	265,82	271,82	271,82	0,00	2,70	815,49	273,41	273,41	0,00	2,86	1283,12
214		205,70	38098	264,18	271,58	271,58	0,00	1,95	815,25	273,23	273,23	0,00	2,27	1283,00
213		291,84	37892	263,45	270,65	270,65	0,00	2,76	815,24	272,22	272,22	0,00	3,17	1282,91
212		200,00	37600	262,15	269,78	269,78	0,00	1,24	815,20	271,24	271,24	0,00	1,55	1282,75
211		200,00	37400	261,53	267,84	267,84	0,00	3,86	815,17	269,12	269,12	0,00	4,58	1282,52
210		200,00	37200	260,84	267,31	267,31	0,00	2,51	815,12	268,87	268,87	0,00	2,69	1282,50
209		200,00	37000	259,32	265,79	265,79	0,00	3,52	815,07	267,18	267,18	0,00	4,18	1282,47

PERFIL					10 ANOS					100 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ			Natural	Dam Break	Δ		
208		200,00	36800	258,60	265,54	265,54	0,00	2,59	815,01	266,96	266,96	0,00	3,16	1282,43
207		200,00	36600	258,08	264,31	264,31	0,00	3,24	814,94	265,67	265,67	0,00	3,85	1282,38
206		200,00	36400	257,41	263,09	263,09	0,00	3,46	814,88	264,63	264,63	0,00	3,81	1282,30
205		200,00	36200	254,51	260,96	260,96	0,00	3,75	814,87	262,92	262,92	0,00	4,17	1282,23
204		247,85	36000	252,41	259,10	259,10	0,00	5,26	814,85	260,60	260,60	0,00	6,39	1282,16
203		207,60	35752	251,75	258,18	258,18	0,00	3,36	814,83	259,69	259,69	0,00	3,96	1282,09
202		144,57	35545	250,18	256,67	256,67	0,00	4,29	814,78	258,21	258,21	0,00	4,76	1281,94
201		200,00	35400	248,58	255,89	255,89	0,00	3,91	814,55	257,17	257,17	0,00	4,74	1281,92
200		200,00	35200	248,40	255,93	255,93	0,00	2,21	814,54	257,31	257,31	0,00	2,80	1281,88
199		200,00	35000	248,20	255,50	255,50	0,00	2,25	814,52	256,84	256,84	0,00	2,79	1281,83
198		253,86	34800	248,01	255,25	255,25	0,00	2,08	814,49	256,59	256,59	0,00	2,44	1281,76
197		146,19	34546	247,78	254,57	254,57	0,00	2,48	814,44	255,82	255,82	0,00	2,91	1281,65
196		200,00	34400	247,65	253,12	253,12	0,00	4,58	814,40	254,46	254,46	0,00	4,62	1281,59
195		200,00	34200	243,82	252,60	252,60	0,00	2,65	814,17	253,73	253,73	0,00	3,40	1281,37
194		200,00	34000	243,23	252,48	252,48	0,00	1,95	814,17	253,54	253,54	0,00	2,66	1281,35
193		286,44	33800	242,86	252,31	252,32	0,01	2,08	814,15	253,25	253,25	0,00	2,85	1281,33
192		113,52	33514	242,03	252,18	252,18	0,00	1,25	814,12	253,03	253,03	0,00	1,73	1281,28
191		200,00	33400	241,58	252,11	252,11	0,00	1,44	813,63	252,90	252,90	0,00	2,05	1281,25
190		200,00	33200	239,71	252,11	252,11	0,00	1,11	813,63	252,90	252,90	0,00	1,60	1281,21
189		200,00	33000	238,15	252,00	252,00	0,00	1,55	813,62	252,66	252,66	0,00	2,29	1280,73
188		220,00	32800	236,23	252,04	252,04	0,00	0,90	813,61	252,75	252,75	0,00	1,33	1281,12
187		180,00	32580	235,21	252,04	252,04	0,00	0,69	813,59	252,76	252,76	0,00	1,03	1280,72
186		200,00	32400	234,82	252,02	252,02	0,00	0,85	813,58	252,71	252,71	0,00	1,26	1280,72
185		75,34	32200	231,00	252,05	252,05	0,00	0,30	813,55	252,77	252,77	0,00	0,45	1280,71
184,5	Barragem Rastro de Auto													
184	Eixo A-D-236.51	15,68	32125	230,96	239,40	239,40	0,00	2,58	813,91	240,53	240,53	0,00	3,37	1280,90
183	Eixo C-B-236.51	64,52	32109	230,59	239,34	239,34	0,00	2,69	813,91	240,46	240,46	0,00	3,48	1280,90
182	Eixo E-F-236.5	119,52	32045	230,80	238,39	238,40	0,01	5,09	813,90	239,32	239,32	0,00	5,54	1280,89

PERFIL					10 ANOS					100 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ			Natural	Dam Break	Δ		
181		124,95	31925	230,22	237,07	237,07	0,00	2,98	861,05	238,62	238,62	0,00	2,98	1355,20
180		200,00	31800	229,52	236,41	236,41	0,00	3,16	861,00	237,98	237,98	0,00	3,53	1355,13
179		200,00	31600	228,05	235,25	235,25	0,00	3,56	860,94	236,93	236,93	0,00	3,95	1354,97
178		200,00	31400	227,07	233,78	233,78	0,00	4,55	860,88	235,27	235,27	0,00	5,25	1354,96
177		200,00	31200	226,11	231,92	231,92	0,00	5,33	860,83	233,16	233,16	0,00	6,26	1354,95
176		200,00	31000	225,08	231,07	231,07	0,00	3,15	860,75	232,35	232,35	0,00	3,65	1354,94
175		200,00	30800	224,17	229,78	229,78	0,00	4,08	860,74	230,96	230,96	0,00	4,62	1354,91
174		200,00	30600	222,92	229,10	229,10	0,00	2,62	860,72	230,44	230,44	0,00	3,11	1354,86
173		200,00	30400	221,20	227,33	227,33	0,00	5,15	860,69	228,48	228,48	0,00	5,70	1354,81
172		200,00	30200	219,53	224,92	224,92	0,00	4,74	860,67	226,13	226,13	0,00	5,40	1354,77
171		200,00	30000	218,34	223,85	223,85	0,00	3,67	860,63	225,20	225,20	0,00	4,25	1354,59
170		200,00	29800	217,38	223,49	223,49	0,00	2,78	860,58	224,86	224,86	0,00	3,34	1354,59
169		200,00	29600	216,40	221,85	221,85	0,00	4,23	860,52	223,05	223,05	0,00	4,98	1354,58
168		200,00	29400	215,45	221,59	221,59	0,00	2,55	860,51	222,94	222,94	0,00	3,06	1354,56
167		200,00	29200	214,49	220,02	220,02	0,00	4,73	860,49	221,08	221,08	0,00	5,62	1354,55
166		200,00	29000	213,57	218,57	218,57	0,00	3,45	860,48	219,89	219,89	0,00	3,61	1354,52
165		200,00	28800	211,64	217,19	217,19	0,00	3,83	860,45	218,37	218,37	0,00	4,46	1354,48
164		200,00	28600	209,82	215,24	215,24	0,00	4,75	860,42	216,25	216,25	0,00	5,49	1354,45
163		200,00	28400	208,48	214,10	214,10	0,00	2,93	860,28	215,38	215,38	0,00	3,30	1353,97
162		145,71	28200	208,10	212,62	212,62	0,00	4,23	860,01	213,70	213,70	0,00	4,92	1353,83
161	Eixo 3-207.216	34,64	28054	205,62	212,43	212,43	0,00	2,73	859,94	213,56	213,56	0,00	3,37	1353,73
160	Eixo 2-206.637	79,62	28020	205,27	211,68	211,68	0,00	4,48	859,93	212,66	212,66	0,00	5,42	1353,71
159	Eixo 1-206.637	140,00	27940	205,21	210,74	210,74	0,00	4,49	859,90	211,77	211,77	0,00	5,11	1353,67
158		177,76	27800	203,03	209,59	209,58	-0,01	3,51	859,82	210,70	210,70	0,00	4,23	1353,57
157		202,23	27622	200,34	209,33	209,32	-0,01	2,68	859,68	210,28	210,27	-0,01	3,37	1353,37
156		220,02	27420	197,72	209,50	209,49	-0,01	0,98	859,41	210,54	210,53	-0,01	1,30	1352,99
155		200,01	27200	195,71	209,45	209,44	-0,01	1,05	859,05	210,45	210,44	-0,01	1,43	1352,51
154		200,01	27000	193,26	209,42	209,41	-0,01	1,03	858,79	210,39	210,39	0,00	1,45	1352,16

PERFIL					10 ANOS					100 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ			Natural	Dam Break	Δ		
153		200,01	26800	192,42	209,37	209,36	-0,01	1,19	858,57	210,30	210,29	-0,01	1,70	1351,88
152		200,01	26600	191,47	209,36	209,35	-0,01	1,06	858,40	210,26	210,26	0,00	1,55	1351,67
151		200,01	26400	190,57	209,37	209,36	-0,01	0,78	858,20	210,29	210,28	-0,01	1,14	1351,43
150		200,01	26200	189,62	209,36	209,35	-0,01	0,80	857,95	210,26	210,25	-0,01	1,16	1351,14
149		200,01	26000	189,57	209,36	209,35	-0,01	0,59	857,66	210,27	210,27	0,00	0,87	1350,80
148		150,12	25800	189,51	209,36	209,35	-0,01	0,52	857,32	210,27	210,27	0,00	0,77	1350,42
147		194,22	25650	188,69	209,36	209,35	-0,01	0,57	857,08	210,26	210,25	-0,01	0,84	1350,14
146		255,69	25456	187,83	209,35	209,34	-0,01	0,62	856,78	210,24	210,23	-0,01	0,92	1349,81
145		200,01	25200	187,16	209,35	209,34	-0,01	0,42	856,31	210,26	210,25	-0,01	0,63	1349,30
144		200,01	25000	186,15	209,35	209,34	-0,01	0,45	855,91	210,25	210,24	-0,01	0,66	1348,88
143		260,01	24800	186,02	209,35	209,34	-0,01	0,39	855,52	210,25	210,24	-0,01	0,58	1348,47
142		140,00	24540	184,92	209,35	209,35	0,00	0,20	854,83	210,26	210,25	-0,01	0,30	1347,75
141		101,01	24400	184,31	209,35	209,34	-0,01	0,22	854,38	210,26	210,25	-0,01	0,34	1347,30
140	Barragem SFO-185.80	38,99	24299	183,27	209,35	209,34	-0,01	0,28	854,09	210,25	210,24	-0,01	0,42	1347,01
139,5	Barragem Salto Forqueta													
139		60,01	24260	183,27	191,69	198,27	6,58	2,54	3810,25	193,28	199,09	5,81	2,67	4272,44
138		200,00	24200	183,56	190,89	197,06	6,17	5,46	3788,13	192,40	197,95	5,55	5,39	4252,94
137		200,00	24000	181,60	190,80	196,97	6,17	4,38	3720,68	192,37	197,75	5,38	4,56	4190,51
136		200,00	23800	181,47	190,00	195,13	5,13	6,47	3665,09	191,38	195,83	4,45	6,71	4139,56
135		200,00	23600	181,32	189,59	194,76	5,17	5,40	3606,89	190,98	195,47	4,49	5,67	4086,76
134		216,10	23400	181,17	189,36	194,28	4,92	4,99	3546,07	190,70	194,94	4,24	5,29	4033,20
133		199,44	23184	181,02	188,71	192,65	3,94	5,71	3486,56	189,89	193,10	3,21	6,13	3980,86
132		184,44	22984	180,90	187,08	191,17	4,09	5,68	3245,91	188,26	191,82	3,56	5,77	3763,99
131		200,00	22800	180,63	186,07	190,83	4,76	3,77	3230,19	187,30	191,65	4,35	3,80	3746,47
130		200,00	22600	179,19	184,56	189,41	4,85	5,09	3201,96	185,90	190,36	4,46	5,01	3717,04
129		200,00	22400	176,54	183,56	188,67	5,11	4,74	3170,80	185,14	189,49	4,35	4,98	3687,08
128		200,00	22200	175,15	183,24	187,97	4,73	4,85	3143,15	184,72	188,71	3,99	5,20	3662,42
127		162,48	22000	174,37	182,99	187,66	4,67	4,28	3114,80	184,43	188,40	3,97	4,58	3637,08

PERFIL					10 ANOS					100 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ			Natural	Dam Break	Δ		
126	Batimetria 1-177.20	237,50	21838	176,14	181,36	185,58	4,22	7,60	3091,25	182,67	186,27	3,60	7,84	3615,80
125		236,95	21600	170,72	178,93	183,74	4,81	5,23	3051,70	180,63	184,45	3,82	5,59	3580,09
124	B-08-170.58	115,62	21363	169,13	178,03	182,74	4,71	4,67	2903,31	179,56	183,56	4,00	4,91	3419,26
123		143,97	21247	168,79	178,12	183,06	4,94	3,30	2901,55	179,72	183,88	4,16	3,65	3490,17
122	Batimetria 2-172.8	20,89	21103	170,50	177,29	181,60	4,31	5,68	2898,99	178,69	182,29	3,60	6,03	3418,15
121	Batimetria 3-171.55	69,06	21083	170,62	177,26	181,79	4,53	5,11	2898,49	178,67	182,50	3,83	5,43	3417,80
120	Batimetria 4-172.46	47,79	21014	170,49	176,56	180,89	4,33	6,01	2896,49	177,87	181,64	3,77	6,25	3416,16
119	Batimetria 5-170.72	163,28	20966	170,05	175,99	180,00	4,01	7,38	2895,30	177,20	180,79	3,59	7,70	3415,19
118	Batimetria 6-169.28	285,72	20802	168,73	173,54	177,81	4,27	7,75	2891,22	174,78	178,70	3,92	8,10	3412,85
117	B-07-166.61	116,76	20517	164,01	171,97	176,53	4,56	5,67	2880,93	173,46	177,35	3,89	6,19	3406,77
116		200,00	20400	164,29	171,33	174,83	3,50	7,12	2876,02	172,52	175,56	3,04	7,65	3403,63
115		227,00	20200	164,03	171,22	174,92	3,70	4,73	2864,02	172,46	175,62	3,16	5,15	3394,84
114	B-06-164.35	82,84	19973	163,31	171,11	174,78	3,67	3,65	2843,56	172,33	175,50	3,17	4,02	3380,39
113	Batimetria 7 e Ponte-168.98	90,14	19890	163,34	170,16	173,49	3,33	5,62	2834,97	171,18	174,34	3,16	5,61	3373,62
112		200,00	19800	162,93	168,89	173,00	4,11	4,21	2822,57	170,16	173,95	3,79	4,43	3363,44
111		224,05	19600	160,79	166,92	171,73	4,81	4,73	2783,46	168,46	172,88	4,42	4,82	3326,83
110	B-05-159.89	175,92	19376	158,59	165,78	170,82	5,04	4,77	2695,83	167,46	171,95	4,49	5,03	3287,27
109		200,00	19200	157,85	164,87	168,99	4,12	6,45	2693,43	166,32	169,88	3,56	6,86	3202,58
108		200,00	19000	157,07	164,07	168,78	4,71	4,84	2685,24	165,70	169,86	4,16	5,06	3197,03
107		217,50	18800	156,22	163,78	168,73	4,95	3,65	2673,97	165,52	169,85	4,33	3,87	3190,18
106	B-04-153.73	182,48	18583	155,75	162,90	166,88	3,98	5,80	2661,86	164,40	167,85	3,45	6,19	3181,68
105		200,00	18400	155,23	162,81	166,99	4,18	4,06	2651,68	164,36	168,04	3,68	4,38	3172,57
104		200,00	18200	154,94	162,52	166,34	3,82	4,49	2638,05	163,98	167,37	3,39	4,79	3160,99
103		247,30	18000	154,65	160,78	165,32	4,54	3,43	2517,11	162,36	166,48	4,12	3,61	3137,98
102	B-03-154.32	152,68	17753	153,02	160,47	165,27	4,80	2,44	2516,08	162,21	166,46	4,25	2,61	3092,63
101		200,00	17600	151,90	159,82	163,84	4,02	5,18	2515,26	161,29	164,82	3,53	5,63	3073,19
100		200,00	17400	151,43	159,38	163,00	3,62	5,25	2512,99	160,73	163,86	3,13	5,70	3018,12
99		117,00	17200	151,14	159,23	162,81	3,58	4,09	2509,48	160,56	163,69	3,13	4,47	3016,03

PERFIL					10 ANOS					100 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ			Natural	Dam Break	Δ		
98	B-02-154.686	83,00	17083	153,11	158,69	161,92	3,23	5,16	2506,50	159,89	162,81	2,92	5,44	3013,98
97		178,60	17000	151,83	158,39	161,46	3,07	5,12	2503,02	159,50	162,40	2,90	5,36	3010,87
96	B07-153.47	221,40	16821	152,53	157,44	161,02	3,58	4,21	2488,98	158,64	162,20	3,56	4,21	2999,83
95		200,00	16600	148,77	155,31	159,70	4,39	4,37	2475,87	157,00	160,81	3,81	4,59	2990,53
94		200,00	16400	147,49	154,61	158,59	3,98	5,17	2461,66	156,19	159,61	3,42	5,53	2980,86
93		200,00	16200	147,09	154,40	158,39	3,99	4,12	2381,08	155,97	159,41	3,44	4,59	2969,99
92		200,00	16000	146,74	154,24	158,35	4,11	3,18	2380,67	155,84	159,45	3,61	3,43	2956,10
91		211,00	15800	146,54	153,67	157,60	3,93	4,03	2379,65	155,21	158,64	3,43	4,33	2939,30
90	B06-147.82	249,00	15589	146,76	152,46	156,11	3,65	5,17	2376,25	153,90	156,99	3,09	5,57	2876,82
89		170,40	15340	144,44	152,09	156,24	4,15	2,67	2369,23	153,72	157,30	3,58	2,82	2898,53
88		245,60	15170	144,10	151,67	155,14	3,47	4,45	2364,78	153,06	155,99	2,93	4,89	2875,87
87	B05-144.82	123,99	14924	144,00	148,95	151,97	3,02	6,88	2359,82	150,11	152,79	2,68	7,32	2874,89
86		200,00	14800	142,24	147,18	150,33	3,15	7,24	2357,19	148,40	151,19	2,79	7,70	2874,06
85		200,00	14600	139,34	146,05	149,39	3,34	4,62	2351,64	147,44	150,32	2,88	4,88	2871,67
84		213,20	14400	137,33	143,96	147,19	3,23	5,64	2345,10	145,30	148,05	2,75	6,17	2868,36
83	B04-136.982	186,76	14187	135,85	141,00	144,06	3,06	6,63	2286,21	142,24	144,97	2,73	7,21	2863,50
82		200,00	14000	135,28	140,68	144,26	3,58	4,21	2284,12	142,15	145,26	3,11	4,62	2854,36
81		200,00	13800	132,92	140,24	144,15	3,91	3,09	2280,39	141,85	145,25	3,40	3,31	2839,59
80		102,99	13600	132,61	139,46	143,39	3,93	3,88	2275,39	141,10	144,46	3,36	4,14	2821,74
79	B03-133.985	97,00	13497	132,33	139,23	143,12	3,89	3,79	2272,79	140,85	144,17	3,32	4,08	2813,99
78		200,00	13400	132,28	139,06	142,95	3,89	3,63	2270,04	140,69	144,01	3,32	3,90	2805,69
77		200,00	13200	131,79	138,71	142,37	3,66	3,96	2264,95	140,27	143,32	3,05	4,34	2777,71
76		256,56	13000	131,02	138,18	141,65	3,47	3,79	2260,24	139,66	142,55	2,89	4,18	2777,08
75	B02-131.865	143,49	12744	131,34	136,44	139,05	2,61	5,29	2254,08	137,56	139,77	2,21	5,76	2775,75
74		200,00	12600	130,05	135,29	137,82	2,53	5,35	2195,94	136,34	138,70	2,36	5,64	2772,34
73		200,00	12400	129,23	134,83	137,99	3,16	2,92	2194,15	136,19	138,98	2,79	3,11	2761,73
72		176,36	12200	127,92	134,45	137,51	3,06	3,24	2192,23	135,79	138,45	2,66	3,55	2750,53
71	B01-128.412	223,65	12024	127,03	133,87	136,54	2,67	4,47	2189,84	135,05	137,33	2,28	4,92	2742,58

PERFIL					10 ANOS					100 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ			Natural	Dam Break	Δ		
70		200,00	11800	126,91	133,74	136,54	2,80	3,10	2184,87	134,96	137,40	2,44	3,41	2730,92
69		200,00	11600	126,66	133,41	135,90	2,49	3,92	2179,91	134,51	136,62	2,11	4,37	2720,05
68		243,25	11400	126,44	133,28	135,75	2,47	3,24	2174,22	134,35	136,49	2,14	3,56	2692,96
67	SB05-128.492	44,74	11157	127,82	132,18	134,26	2,08	5,12	2165,54	133,06	134,97	1,91	5,29	2691,89
66	SB04-128.147	37,00	11112	127,45	131,73	133,81	2,08	5,78	2163,50	132,62	134,54	1,92	5,77	2691,45
65	SB03-128.098	29,29	11075	126,75	131,29	133,42	2,13	5,87	2161,90	132,19	134,16	1,97	5,84	2691,03
64	SB02-128.033	41,30	11046	126,70	131,01	133,13	2,12	5,11	2160,52	131,90	133,91	2,01	5,12	2690,58
63	SB01-128.03	204,40	11005	126,49	130,66	132,77	2,11	5,19	2158,71	131,56	133,51	1,95	5,36	2689,82
62		200,00	10800	122,42	128,88	131,95	3,07	3,68	2150,14	130,30	132,91	2,61	3,94	2686,79
61		200,00	10600	121,67	128,36	131,26	2,90	3,62	2118,84	129,74	132,13	2,39	4,06	2682,51
60		200,00	10400	121,39	128,22	131,06	2,84	3,29	2118,14	129,58	131,92	2,34	3,69	2677,39
59		176,96	10200	121,10	126,29	128,54	2,25	4,00	2116,65	127,21	129,38	2,17	4,25	2671,84
58		223,00	10023	120,25	124,97	127,96	2,99	3,77	2112,33	126,35	128,89	2,54	3,97	2663,37
57		200,00	9800	117,75	123,45	125,86	2,41	5,68	2107,54	124,56	126,64	2,08	6,26	2654,57
56		200,00	9600	117,35	123,39	126,00	2,61	3,41	2104,14	124,58	126,86	2,28	3,80	2647,28
55		200,00	9400	116,32	121,12	123,49	2,37	6,22	2100,86	122,20	124,26	2,06	6,73	2640,07
54		200,00	9200	113,05	118,39	120,89	2,50	6,05	2097,37	119,56	121,72	2,16	6,59	2624,36
53		200,00	9000	111,87	117,68	120,33	2,65	4,86	2091,71	118,91	121,23	2,32	5,28	2623,04
52		200,00	8800	111,62	117,33	120,00	2,67	3,95	2084,09	118,58	120,93	2,35	4,34	2620,48
51		235,85	8600	111,38	117,09	119,75	2,66	3,55	2059,57	118,33	120,68	2,35	3,93	2617,35
50		164,16	8364	111,11	116,42	119,10	2,68	3,31	2058,60	117,65	120,07	2,42	3,55	2612,37
49		200,00	8200	110,57	115,23	117,79	2,56	4,98	2057,40	116,44	118,67	2,23	5,34	2608,00
48		200,00	8000	108,38	114,37	117,06	2,69	3,84	2055,04	115,63	118,03	2,40	4,12	2602,65
47		200,00	7800	107,69	113,17	116,02	2,85	4,10	2049,90	114,51	117,05	2,54	4,32	2563,50
46		200,00	7600	107,30	112,59	115,51	2,92	3,99	2043,11	113,96	116,58	2,62	4,19	2562,68
45		200,00	7400	106,74	112,14	115,16	3,02	3,60	2035,34	113,57	116,25	2,68	3,84	2561,40
44		200,00	7200	104,81	111,46	114,41	2,95	4,21	2027,78	112,88	115,47	2,59	4,53	2560,04
43		200,00	7000	104,14	110,34	113,20	2,86	4,31	2021,54	111,73	114,25	2,52	4,68	2558,39

PERFIL					10 ANOS					100 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ			Natural	Dam Break	Δ		
42		200,00	6800	103,70	109,80	112,30	2,50	4,91	2004,26	111,03	113,20	2,17	5,48	2556,13
41		200,00	6600	103,34	109,58	112,11	2,53	3,99	2003,26	110,81	113,04	2,23	4,46	2553,48
40		35,95	6400	102,90	108,19	110,85	2,66	4,99	2001,03	109,51	111,80	2,29	5,34	2549,18
39	S05-104.09	26,72	6364	102,47	108,09	110,92	2,83	4,50	2000,36	109,50	111,93	2,43	4,78	2548,11
38	S04-104.05	40,33	6337	103,35	108,30	111,20	2,90	3,62	1999,85	109,75	112,22	2,47	3,92	2547,28
37	S03-103.20	28,52	6297	102,42	108,24	111,18	2,94	3,47	1999,11	109,71	112,21	2,50	3,76	2546,03
36	S02-102.11	28,49	6269	101,44	108,21	111,15	2,94	3,41	1998,57	109,68	112,18	2,50	3,71	2545,14
35	S01-101.9	27,75	6240	100,65	108,12	111,06	2,94	3,50	1998,04	109,60	112,09	2,49	3,80	2544,25
34	S01A-101.88	25,45	6212	100,10	107,98	110,85	2,87	3,92	1997,53	109,41	111,85	2,44	4,24	2543,40
33	S01B-101.82	186,76	6187	99,98	107,90	110,77	2,87	3,94	1997,07	109,35	111,76	2,41	4,29	2542,64
32		200,00	6000	100,12	107,29	110,00	2,71	4,46	1993,47	108,62	110,98	2,36	4,78	2537,08
31		215,70	5800	99,65	106,26	108,95	2,69	3,66	1989,44	107,63	109,89	2,26	4,05	2509,85
30	S04-100.413	184,32	5584	99,23	105,76	108,31	2,55	3,94	1982,54	107,07	109,25	2,18	4,33	2509,29
29		123,75	5400	98,77	105,37	107,72	2,35	4,29	1977,95	106,59	108,56	1,97	4,76	2508,55
28	Seção 01-100.615	170,24	5276	98,70	104,86	107,32	2,46	4,34	1974,55	106,16	108,24	2,08	4,61	2507,68
27	Seção 02-100.211	147,84	5106	97,94	103,86	106,60	2,74	3,85	1955,47	105,12	107,73	2,61	3,91	2504,34
26	Seção 03-98.345	158,16	4958	96,38	103,51	106,67	3,16	2,73	1953,99	105,11	107,83	2,72	2,87	2500,75
25		140,49	4800	96,00	102,93	106,03	3,10	2,92	1952,69	104,50	107,18	2,68	3,08	2498,05
24	S03-96.802	259,56	4660	95,71	102,18	105,07	2,89	3,51	1951,48	103,64	106,17	2,53	3,73	2495,83
23		200,00	4400	95,12	101,44	104,15	2,71	2,83	1947,87	102,81	105,19	2,38	2,99	2490,63
22		342,37	4200	94,69	100,76	103,14	2,38	3,84	1944,17	101,98	104,04	2,06	4,23	2485,30
21	Seção 04-95.17	92,80	3858	93,80	99,65	101,59	1,94	4,37	1937,93	100,68	102,29	1,61	4,93	2477,30
20	S02-96.785	164,88	3765	93,67	99,09	101,26	2,17	4,16	1935,98	100,22	102,05	1,83	4,41	2464,58
19		200,00	3600	92,80	97,87	99,80	1,93	5,00	1932,36	98,87	100,52	1,65	5,49	2464,69
18		268,80	3400	91,83	96,89	98,97	2,08	3,84	1917,27	97,95	99,84	1,89	4,09	2463,97
17		191,24	3131	91,24	96,13	98,11	1,98	3,79	1916,16	97,14	98,93	1,79	4,17	2461,27
16	S01-91.24	140,01	2940	90,34	94,56	96,36	1,80	6,00	1914,70	95,50	97,11	1,61	6,41	2458,88
15		200,00	2800	88,93	94,03	96,34	2,31	3,28	1912,32	95,24	97,28	2,04	3,54	2455,82

PERFIL					10 ANOS					100 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ			Natural	Dam Break	Δ		
14		200,00	2600	88,47	93,70	96,00	2,30	3,15	1907,14	94,90	96,94	2,04	3,44	2449,66
13		200,00	2400	88,02	93,33	95,50	2,17	3,46	1901,91	94,46	96,41	1,95	3,78	2443,44
12		187,36	2200	87,75	92,88	95,01	2,13	3,47	1896,16	93,98	95,93	1,95	3,77	2436,75
11	S00-88,177	212,65	2013	87,74	91,70	93,96	2,26	4,55	1877,33	92,86	94,98	2,12	4,68	2420,74
10		200,00	1800	85,65	91,10	93,47	2,37	3,91	1876,79	92,36	94,47	2,11	4,24	2419,60
9		200,00	1600	84,65	90,35	92,79	2,44	3,53	1875,63	91,67	93,77	2,10	3,91	2418,04
8		200,00	1400	84,34	89,94	92,17	2,23	4,00	1874,07	91,14	93,06	1,92	4,46	2416,31
7		200,00	1200	84,03	89,27	91,45	2,18	4,25	1872,09	90,44	92,32	1,88	4,64	2414,19
6		228,65	1000	83,66	88,73	90,94	2,21	3,89	1869,40	89,94	91,82	1,88	4,28	2411,45
5		255,72	771	83,26	87,59	89,56	1,97	4,57	1865,47	88,66	90,45	1,79	4,89	2407,27
4		115,62	516	82,12	86,69	89,16	2,47	2,82	1858,04	88,02	90,24	2,22	3,02	2398,83
3		200,00	400	81,33	86,35	88,79	2,44	3,35	1853,91	87,68	89,86	2,18	3,58	2394,64
2		200,00	200	80,31	85,23	87,28	2,05	5,20	1848,63	86,37	88,13	1,76	5,75	2389,18
1		0,00	0	79,01	83,90	86,25	2,35	4,63	1844,09	85,20	87,24	2,04	4,99	2384,90

(*) Velocidade e vazão máxima obtida da simulação de dam break.

Tabela 14 – Resultados Obtidos- Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 1.000 anos

PERFIL					1000 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ		
234		165,00	42071	284,15	290,36	290,36	0,00	4,82	1747,70
233		221,60	41906	283,22	289,50	289,50	0,00	3,55	1747,26
232		364,48	41685	282,06	288,94	288,94	0,00	3,08	1746,54
231		120,00	41320	280,17	288,14	288,14	0,00	2,92	1744,94
230		200,00	41200	279,76	287,57	287,57	0,00	3,65	1744,89
229		200,00	41000	278,49	287,08	287,08	0,00	3,11	1744,76
228		200,00	40800	277,97	286,34	286,34	0,00	3,60	1744,62
227		200,00	40600	277,52	285,54	285,54	0,00	3,70	1744,42
226		200,00	40400	277,23	284,52	284,52	0,00	4,15	1744,23
225		241,55	40200	276,94	283,86	283,86	0,00	3,48	1744,03
224		158,48	39959	276,41	282,84	282,84	0,00	2,88	1743,78
223		200,00	39800	275,02	280,88	280,88	0,00	5,70	1743,48
222		200,00	39600	270,67	279,08	279,08	0,00	4,42	1743,46
221		200,00	39400	270,23	277,74	277,74	0,00	4,10	1743,41
220		200,00	39200	269,87	277,48	277,48	0,00	3,02	1743,26
219		200,00	39000	269,26	276,56	276,56	0,00	3,36	1743,09
218		200,00	38800	267,55	276,04	276,04	0,00	3,30	1742,27
217		140,01	38600	267,06	275,05	275,05	0,00	4,21	1742,25
216		160,00	38460	266,73	275,00	275,00	0,00	3,17	1742,21
215		202,45	38300	265,82	274,69	274,69	0,00	3,04	1742,15
214		205,70	38098	264,18	274,53	274,53	0,00	2,53	1742,06
213		291,84	37892	263,45	273,50	273,50	0,00	3,34	1741,98
212		200,00	37600	262,15	272,43	272,43	0,00	1,79	1741,83
211		200,00	37400	261,53	270,14	270,14	0,00	5,14	1741,71
210		200,00	37200	260,84	270,13	270,13	0,00	2,85	1741,55
209		200,00	37000	259,32	268,32	268,32	0,00	4,67	1741,24
208		200,00	36800	258,60	268,13	268,13	0,00	3,58	1741,22

PERFIL					1000 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ		
207		200,00	36600	258,08	266,87	266,87	0,00	4,22	1741,18
206		200,00	36400	257,41	266,07	266,07	0,00	3,93	1741,12
205		200,00	36200	254,51	264,43	264,43	0,00	4,55	1741,07
204		247,85	36000	252,41	261,90	261,90	0,00	7,03	1741,02
203		207,60	35752	251,75	260,86	260,86	0,00	4,41	1740,95
202		144,57	35545	250,18	259,45	259,45	0,00	4,99	1740,84
201		200,00	35400	248,58	258,20	258,20	0,00	5,32	1740,46
200		200,00	35200	248,40	258,39	258,39	0,00	3,28	1740,44
199		200,00	35000	248,20	257,88	257,88	0,00	3,22	1740,41
198		253,86	34800	248,01	257,64	257,64	0,00	2,73	1740,37
197		146,19	34546	247,78	256,83	256,83	0,00	3,23	1740,30
196		200,00	34400	247,65	255,55	255,55	0,00	4,74	1740,24
195		200,00	34200	243,82	254,74	254,74	0,00	3,92	1740,16
194		200,00	34000	243,23	254,48	254,48	0,00	3,22	1740,08
193		286,44	33800	242,86	254,08	254,08	0,00	3,46	1739,65
192		113,52	33514	242,03	253,80	253,80	0,00	2,09	1739,63
191		200,00	33400	241,58	253,59	253,59	0,00	2,56	1739,61
190		200,00	33200	239,71	253,59	253,59	0,00	2,02	1739,58
189		200,00	33000	238,15	253,21	253,21	0,00	2,94	1739,55
188		220,00	32800	236,23	253,36	253,36	0,00	1,71	1739,52
187		180,00	32580	235,21	253,38	253,38	0,00	1,33	1739,46
186		200,00	32400	234,82	253,30	253,30	0,00	1,62	1739,42
185		75,34	32200	231,00	253,39	253,39	0,00	0,59	1739,35
184,5	Barragem Rastro de Auto								
184	Eixo A-D-236.51	15,68	32125	230,96	241,41	241,41	0,00	3,99	1739,35
183	Eixo C-B-236.51	64,52	32109	230,59	241,32	241,32	0,00	4,09	1739,35
182	Eixo E-F-236.5	119,52	32045	230,80	240,12	240,12	0,00	5,80	1739,34
181		124,95	31925	230,22	239,89	239,89	0,00	3,08	1840,27

PERFIL					1000 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ		
180		200,00	31800	229,52	239,24	239,24	0,00	3,81	1840,22
179		200,00	31600	228,05	238,26	238,26	0,00	4,23	1840,14
178		200,00	31400	227,07	236,48	236,48	0,00	5,70	1840,08
177		200,00	31200	226,11	234,18	234,18	0,00	6,92	1840,03
176		200,00	31000	225,08	233,36	233,36	0,00	4,05	1839,97
175		200,00	30800	224,17	231,91	231,91	0,00	4,99	1839,75
174		200,00	30600	222,92	231,48	231,48	0,00	3,48	1839,73
173		200,00	30400	221,20	229,39	229,39	0,00	6,10	1839,72
172		200,00	30200	219,53	227,13	227,13	0,00	5,89	1839,71
171		200,00	30000	218,34	226,30	226,30	0,00	4,66	1839,67
170		200,00	29800	217,38	225,95	225,95	0,00	3,77	1839,62
169		200,00	29600	216,40	223,98	223,98	0,00	5,58	1839,58
168		200,00	29400	215,45	223,98	223,98	0,00	3,48	1839,52
167		200,00	29200	214,49	221,94	221,94	0,00	6,24	1839,46
166		200,00	29000	213,57	221,01	221,01	0,00	3,57	1839,38
165		200,00	28800	211,64	219,31	219,31	0,00	4,94	1839,28
164		200,00	28600	209,82	217,08	217,08	0,00	6,02	1839,21
163		200,00	28400	208,48	216,43	216,43	0,00	3,56	1839,10
162		145,71	28200	208,10	214,52	214,52	0,00	5,52	1838,98
161	Eixo 3-207.216	34,64	28054	205,62	214,42	214,41	-0,01	3,89	1838,89
160	Eixo 2-206.637	79,62	28020	205,27	213,50	213,50	0,00	6,05	1838,87
159	Eixo 1-206.637	140,00	27940	205,21	212,63	212,63	0,00	5,59	1838,83
158		177,76	27800	203,03	211,59	211,59	0,00	4,74	1838,73
157		202,23	27622	200,34	211,12	211,11	-0,01	3,80	1838,51
156		220,02	27420	197,72	211,46	211,45	-0,01	1,54	1838,08
155		200,01	27200	195,71	211,34	211,34	0,00	1,70	1837,54
154		200,01	27000	193,26	211,25	211,24	-0,01	1,79	1837,16
153		200,01	26800	192,42	211,10	211,09	-0,01	2,12	1836,85

PERFIL					1000 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ		
152		200,01	26600	191,47	211,04	211,04	0,00	1,98	1836,62
151		200,01	26400	190,57	211,08	211,07	-0,01	1,46	1836,37
150		200,01	26200	189,62	211,04	211,04	0,00	1,48	1836,05
149		200,01	26000	189,57	211,06	211,06	0,00	1,11	1835,68
148		150,12	25800	189,51	211,06	211,06	0,00	0,99	1835,27
147		194,22	25650	188,69	211,04	211,04	0,00	1,08	1834,97
146		255,69	25456	187,83	211,01	211,01	0,00	1,19	1834,62
145		200,01	25200	187,16	211,04	211,03	-0,01	0,81	1834,07
144		200,01	25000	186,15	211,02	211,02	0,00	0,86	1833,61
143		260,01	24800	186,02	211,02	211,02	0,00	0,76	1833,17
142		140,00	24540	184,92	211,04	211,03	-0,01	0,39	1832,39
141		101,01	24400	184,31	211,04	211,03	-0,01	0,44	1831,90
140	Barragem SFO-185.80	38,99	24299	183,27	211,03	211,02	-0,01	0,55	1831,59
139,5	Barragem Salto Forqueta								
139		60,01	24260	183,27	194,59	199,87	5,28	2,82	4781,34
138		200,00	24200	183,56	193,65	198,74	5,09	5,45	4755,57
137		200,00	24000	181,60	193,61	198,48	4,87	4,75	4677,90
136		200,00	23800	181,47	192,45	196,44	3,99	6,98	4616,22
135		200,00	23600	181,32	192,06	196,08	4,02	5,93	4558,81
134		216,10	23400	181,17	191,73	195,52	3,79	5,56	4500,20
133		199,44	23184	181,02	190,76	193,46	2,70	6,53	4444,76
132		184,44	22984	180,90	189,16	192,37	3,21	5,82	4220,46
131		200,00	22800	180,63	188,36	192,30	3,94	3,84	4201,10
130		200,00	22600	179,19	187,01	191,11	4,10	4,98	4172,96
129		200,00	22400	176,54	186,33	190,17	3,84	5,17	4145,93
128		200,00	22200	175,15	185,84	189,31	3,47	5,48	4123,26
127		162,48	22000	174,37	185,53	189,01	3,48	4,81	4099,49
126	Batimetria 1-177.20	237,50	21838	176,14	183,68	186,84	3,16	8,02	4079,32

PERFIL					1000 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ		
125		236,95	21600	170,72	181,84	185,03	3,19	5,87	4045,29
124	B-08-170.58	115,62	21363	169,13	180,76	184,21	3,45	5,28	3991,31
123		143,97	21247	168,79	180,99	184,55	3,56	3,87	3966,33
122	Batimetria 2-172.8	20,89	21103	170,50	179,85	182,76	2,91	6,39	3883,51
121	Batimetria 3-171.55	69,06	21083	170,62	179,91	183,00	3,09	5,84	3931,64
120	Batimetria 4-172.46	47,79	21014	170,49	179,05	182,09	3,04	6,60	3883,46
119	Batimetria 5-170.72	163,28	20966	170,05	178,18	181,53	3,35	7,63	3883,21
118	Batimetria 6-169.28	285,72	20802	168,73	175,84	179,44	3,60	8,37	3881,52
117	B-07-166.61	116,76	20517	164,01	174,59	178,01	3,42	6,63	3877,07
116		200,00	20400	164,29	173,35	176,18	2,83	8,05	3874,60
115		227,00	20200	164,03	173,35	176,20	2,85	5,50	3867,14
114	B-06-164.35	82,84	19973	163,31	173,21	176,09	2,88	4,32	3854,33
113	Batimetria 7 e Ponte-168.98	90,14	19890	163,34	172,02	175,07	3,05	5,60	3847,82
112		200,00	19800	162,93	171,24	174,75	3,51	4,58	3838,07
111		224,05	19600	160,79	169,76	173,81	4,05	4,89	3804,55
110	B-05-159.89	175,92	19376	158,59	168,82	172,89	4,07	5,17	3769,18
109		200,00	19200	157,85	167,44	170,63	3,19	7,21	3670,50
108		200,00	19000	157,07	166,96	170,73	3,77	5,26	3666,77
107		217,50	18800	156,22	166,83	170,76	3,93	4,05	3662,68
106	B-04-153.73	182,48	18583	155,75	165,42	168,58	3,16	6,58	3657,46
105		200,00	18400	155,23	165,42	168,82	3,40	4,69	3651,75
104		200,00	18200	154,94	164,91	168,09	3,18	5,11	3644,73
103		247,30	18000	154,65	163,70	167,49	3,79	3,65	3626,97
102	B-03-154.32	152,68	17753	153,02	163,60	167,47	3,87	2,72	3586,04
101		200,00	17600	151,90	162,46	165,68	3,22	5,93	3568,42
100		200,00	17400	151,43	161,77	164,61	2,84	6,07	3491,92
99		117,00	17200	151,14	161,58	164,45	2,87	4,79	3490,58
98	B-02-154.686	83,00	17083	153,11	160,80	163,59	2,79	5,66	3489,11

PERFIL					1000 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ		
97		178,60	17000	151,83	160,33	163,22	2,89	5,55	3486,53
96	B07-153.47	221,40	16821	152,53	159,52	163,17	3,65	4,27	3478,39
95		200,00	16600	148,77	158,34	161,74	3,40	4,79	3470,93
94		200,00	16400	147,49	157,43	160,44	3,01	5,84	3463,43
93		200,00	16200	147,09	157,22	160,25	3,03	4,89	3454,67
92		200,00	16000	146,74	157,12	160,37	3,25	3,59	3443,36
91		211,00	15800	146,54	156,43	159,52	3,09	4,53	3429,65
90	B06-147.82	249,00	15589	146,76	155,05	157,75	2,70	6,04	3416,10
89		170,40	15340	144,44	155,02	158,24	3,22	2,94	3395,72
88		245,60	15170	144,10	154,15	156,75	2,60	5,28	3382,36
87	B05-144.82	123,99	14924	144,00	151,07	153,50	2,43	7,69	3369,08
86		200,00	14800	142,24	149,40	151,93	2,53	8,06	3354,09
85		200,00	14600	139,34	148,51	151,10	2,59	5,09	3353,23
84		213,20	14400	137,33	146,35	148,73	2,38	6,64	3351,43
83	B04-136.982	186,76	14187	135,85	143,26	145,72	2,46	7,56	3348,12
82		200,00	14000	135,28	143,34	146,12	2,78	4,88	3341,09
81		200,00	13800	132,92	143,15	146,18	3,03	3,45	3329,81
80		102,99	13600	132,61	142,40	145,38	2,98	4,33	3316,51
79	B03-133.985	97,00	13497	132,33	142,14	145,08	2,94	4,29	3310,62
78		200,00	13400	132,28	141,98	144,94	2,96	4,09	3304,28
77		200,00	13200	131,79	141,48	144,14	2,66	4,71	3293,25
76		256,56	13000	131,02	140,81	143,29	2,48	4,54	3284,42
75	B02-131.865	143,49	12744	131,34	138,43	140,34	1,91	6,18	3258,06
74		200,00	12600	130,05	137,23	139,44	2,21	5,75	3256,00
73		200,00	12400	129,23	137,29	139,80	2,51	3,23	3249,43
72		176,36	12200	127,92	136,84	139,22	2,38	3,77	3242,70
71	B01-128.412	223,65	12024	127,03	135,97	137,99	2,02	5,26	3237,76
70		200,00	11800	126,91	135,92	138,11	2,19	3,65	3230,24

PERFIL					1000 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ		
69		200,00	11600	126,66	135,35	137,22	1,87	4,74	3223,13
68		243,25	11400	126,44	135,19	137,10	1,91	3,88	3215,74
67	SB05-128.492	44,74	11157	127,82	133,72	135,50	1,78	5,53	3205,77
66	SB04-128.147	37,00	11112	127,45	133,29	135,05	1,76	5,99	3203,58
65	SB03-128.098	29,29	11075	126,75	132,89	134,70	1,81	6,02	3201,73
64	SB02-128.033	41,30	11046	126,70	132,61	134,64	2,03	5,09	3175,56
63	SB01-128.03	204,40	11005	126,49	132,32	134,30	1,98	5,30	3175,43
62		200,00	10800	122,42	131,42	133,65	2,23	4,18	3175,43
61		200,00	10600	121,67	130,82	132,77	1,95	4,43	3174,78
60		200,00	10400	121,39	130,63	132,55	1,92	4,04	3174,03
59		176,96	10200	121,10	128,08	130,13	2,05	4,40	3172,91
58		223,00	10023	120,25	127,43	129,71	2,28	4,11	3167,49
57		200,00	9800	117,75	125,44	127,28	1,84	6,70	3161,74
56		200,00	9600	117,35	125,54	127,57	2,03	4,13	3157,41
55		200,00	9400	116,32	123,07	124,94	1,87	7,14	3153,00
54		200,00	9200	113,05	120,48	122,43	1,95	7,08	3148,47
53		200,00	9000	111,87	119,91	121,97	2,06	5,68	3142,34
52		200,00	8800	111,62	119,58	121,68	2,10	4,66	3111,54
51		235,85	8600	111,38	119,33	121,44	2,11	4,23	3111,11
50		164,16	8364	111,11	118,67	120,87	2,20	3,73	3109,47
49		200,00	8200	110,57	117,41	119,41	2,00	5,61	3107,71
48		200,00	8000	108,38	116,66	118,86	2,20	4,32	3104,81
47		200,00	7800	107,69	115,63	117,95	2,32	4,57	3098,85
46		200,00	7600	107,30	115,10	117,51	2,41	4,40	3092,03
45		200,00	7400	106,74	114,74	117,19	2,45	4,07	3084,57
44		200,00	7200	104,81	114,02	116,36	2,34	4,83	3077,57
43		200,00	7000	104,14	112,85	115,12	2,27	5,02	3071,71
42		200,00	6800	103,70	112,01	113,92	1,91	5,91	3046,28

PERFIL					1000 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ		
41		200,00	6600	103,34	111,81	113,79	1,98	4,82	3045,86
40		35,95	6400	102,90	110,57	112,60	2,03	5,58	3044,49
39	S05-104.09	26,72	6364	102,47	110,62	112,75	2,13	5,01	3044,08
38	S04-104.05	40,33	6337	103,35	110,88	113,06	2,18	4,16	3043,80
37	S03-103.20	28,52	6297	102,42	110,86	113,05	2,19	4,00	3043,39
36	S02-102.11	28,49	6269	101,44	110,83	113,02	2,19	3,95	3043,11
35	S01-101.9	27,75	6240	100,65	110,74	112,92	2,18	4,06	3042,83
34	S01A-101.88	25,45	6212	100,10	110,54	112,67	2,13	4,49	3042,54
33	S01B-101.82	186,76	6187	99,98	110,47	112,57	2,10	4,57	3042,28
32		200,00	6000	100,12	109,71	111,77	2,06	5,05	3040,09
31		215,70	5800	99,65	108,68	110,73	2,05	4,34	3036,44
30	S04-100.413	184,32	5584	99,23	108,07	110,07	2,00	4,65	3030,65
29		123,75	5400	98,77	107,51	109,26	1,75	5,19	3026,74
28	Seção 01-100.615	170,24	5276	98,70	107,11	109,02	1,91	4,84	3023,53
27	Seção 02-100.211	147,84	5106	97,94	106,32	108,68	2,36	3,97	3015,37
26	Seção 03-98.345	158,16	4958	96,38	106,38	108,77	2,39	3,01	3007,09
25		140,49	4800	96,00	105,76	108,09	2,33	3,24	3000,92
24	S03-96.802	259,56	4660	95,71	104,82	107,05	2,23	3,91	2991,09
23		200,00	4400	95,12	103,92	106,07	2,15	3,09	2989,59
22		342,37	4200	94,69	102,95	104,81	1,86	4,51	2987,66
21	Seção 04-95.17	92,80	3858	93,80	101,45	102,94	1,49	5,33	2984,00
20	S02-96.785	164,88	3765	93,67	101,10	102,72	1,62	4,66	2982,57
19		200,00	3600	92,80	99,66	101,13	1,47	5,92	2980,34
18		268,80	3400	91,83	98,83	100,59	1,76	4,28	2976,47
17		191,24	3131	91,24	97,98	99,62	1,64	4,48	2969,00
16	S01-91.24	140,01	2940	90,34	96,25	97,74	1,49	6,74	2963,72
15		200,00	2800	88,93	96,22	98,09	1,87	3,72	2946,14
14		200,00	2600	88,47	95,89	97,75	1,86	3,65	2943,87

PERFIL					1000 ANOS				
Seção	Descrição	Distância entre seções (m)	Distância Acumulada (m)	Cota do Fundo (m)	NA (m)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
					Natural	Dam Break	Δ		
13		200,00	2400	88,02	95,40	97,21	1,81	4,01	2941,29
12		187,36	2200	87,75	94,92	96,74	1,82	3,98	2938,11
11	S00-88,177	212,65	2013	87,74	93,88	95,85	1,97	4,79	2934,43
10		200,00	1800	85,65	93,39	95,30	1,91	4,50	2929,82
9		200,00	1600	84,65	92,71	94,58	1,87	4,22	2925,81
8		200,00	1400	84,34	92,10	93,79	1,69	4,84	2921,98
7		200,00	1200	84,03	91,39	93,04	1,65	4,96	2917,85
6		228,65	1000	83,66	90,88	92,54	1,66	4,57	2902,32
5		255,72	771	83,26	89,52	91,26	1,74	5,03	2901,14
4		115,62	516	82,12	89,12	91,14	2,02	3,18	2897,77
3		200,00	400	81,33	88,76	90,75	1,99	3,75	2896,36
2		200,00	200	80,31	87,25	88,85	1,60	6,19	2894,38
1		0,00	0	79,01	86,22	88,07	1,85	5,29	2892,76

(*) Velocidade e vazão máxima obtida da simulação de dam break.

5.6 Limite Físico a Jusante da PCH Salto Forqueta

O limite físico do trecho estudado, foi do início do reservatório da PCH Rastro de Auto até 25 km a jusante da PCH Salto Forqueta, compreendendo cerca de 32,20 km. Este trecho compreende:

- limite máximo de 25 km - Volume Reservatório entre 3 - 50 hm³, de acordo ANA.

5.7 Relação Nível de água x Tempo das Seções de Interesse

As benfeitoras foram identificadas pelo *Google Earth/Restituição* e avaliadas de acordo com mapa de inundação. Considerando o momento da ruptura descritos no item 0, serão apresentados os tempos da onda das seções onde foram detectadas benfeitorias em risco, listadas na Tabela 15. Importante ressaltar que não foi atingida nenhuma residência na jusante da Barragem Salto Forqueta.

Tabela 15 – Localização das Seções de Interesse

Seções	Descrição	Estaca (m)	Distância da Barragem PCH Salto Forqueta (km)
140	Barragem Salto Forqueta	24.299	0,00
124	Casa de Força Salto Forqueta	21.363	2,94
113	Ponte Jusante	19.890	4,41
83	Limite ZAS	14.187	10,11
1	Limite ZSS	-	24,30

Para cada seção foi determinado quanto tempo levou para que a onda ocasionada pela ruptura do barramento chegue na seção e atinja o nível máximo.

Na sequência estão descritos os resultados em todas as seções de interesse definidas, com a figura do local, indicação dos níveis máximos de água para as condições naturais e dam break, a altura máxima da onda, o tempo de início de chegada da onda de cheia e o tempo para o pico máximo da onda de cheia com o rompimento da barragem e duração da mesma.

5.7.1 SL-124 – Casa de Força Salto Forqueta

A Casa de Força da PCH Salto Forqueta a jusante da Barragem PCH Salto Forqueta, identificada pela seção SL-124, está localizada cerca de 2.94 km da barragem PCH Salto Forqueta (Figura 29).



Figura 29 – Localização Casa de Força Salto Forqueta – SL-124

Tabela 16 – Detalhe das simulações – Casa de Força Salto Forqueta – SL-124

HIDROGRAMA	Nível d'água (m)		Altura Máxima da Onda (m)	Tempo de Início da Onda (hh:mm)	Tempo de Pico Onda (hh:mm)	Duração (hh:mm)
	Natural	Dam Break				
10 anos	178,03	182,74	4,71	00:00	00:15	03:05
100 anos	179,56	183,56	4,00	00:00	00:15	02:40
1000 anos	180,76	184,21	3,45	00:00	00:15	02:35

5.7.2 SL-113 – Ponte Jusante

A ponte a jusante da Barragem PCH Salto Forqueta, identificadas pela seção SL-113, está localizada cerca de 4,41 km da barragem PCH Salto Forqueta (Figura 30).



Figura 30 – Localização Ponte Jusante – SL-113

Tabela 17 – Detalhe das simulações – Ponte Jusante – SL-113

HIDROGRAMA	Nível d'água (m)		Altura Máxima da Onda (m)	Tempo de Início da Onda (hh:mm)	Tempo de Pico Onda (hh:mm)	Duração (hh:mm)
	Natural	Dam Break				
10 anos	170,16	173,49	3,33	00:00	00:20	02:50
100 anos	171,18	174,34	3,16	00:00	00:20	02:45
1000 anos	172,02	175,07	3,05	00:00	00:20	02:45

5.7.3 SL-83 – Limite da ZAS

O Limite da ZAS a jusante da Barragem PCH Salto Forqueta, identificadas pela seção SL-83, está localizada cerca de 10,11 km da barragem PCH Salto Foqueta (Figura 31).



Figura 31 – Localização Limite da ZAS – SL-83

Tabela 18 – Detalhe das simulações – Limite da ZAS – SL-83

HIDROGRAMA	Nível d'água (m)		Altura Máxima da Onda (m)	Tempo de Início da Onda (hh:mm)	Tempo de Pico Onda (hh:mm)	Duração (hh:mm)
	Natural	Dam Break				
10 anos	141,00	144,06	3,06	00:05	00:35	03:15
100 anos	142,24	144,97	2,73	00:05	00:35	02:50
1000 anos	143,26	145,72	2,46	00:05	00:35	02:50

5.7.4 SL-1 – Limite Zona Segurança Secundária

A zona de segurança secundária a jusante da Barragem PCH Salto Forqueta, identificada pela seção 1, está localizada cerca de 24,30 km da barragem PCH Salto Forqueta (Figura 32).



Figura 32 – Localização Zona Segurança Secundária – SL-1

Tabela 19 – Detalhe das simulações – Localização Zona Segurança Secundária – SL-1

HIDROGRAMA	Nível d'água (m)		Altura Máxima da Onda (m)	Tempo de Início da Onda (hh:mm)	Tempo de Pico Onda (hh:mm)	Duração (hh:mm)
	Natural	Dam Break				
10 anos	83,90	86,25	2,35	00:20	01:15	03:30
100 anos	85,20	87,24	2,04	00:20	01:10	03:05
1000 anos	86,22	88,07	1,85	00:20	01:10	03:05

5.8 Resumo Geral das Seções de Interesse

A Tabela 20 abaixo apresenta o resumo dos tempos da onda de cheia após rompimento da barragem em cada seção estratégica do trecho de jusante. Estão indicados na tabela a distância da barragem até as seções e para o rompimento da barragem o tempo de início da onda de cheia, o tempo para atingir o pico, duração da onda, o nível de água normal sem rompimento, o nível máximo de água com o rompimento, a altura máxima da onda de cheia, velocidade e vazão máxima nas seções de interesse considerando as cheias nos tempos de recorrência de TR 10 anos, TR 100 anos e TR 1.000 anos.

Os mapas de inundação apresentados no Volume V estão divididos por tempo de recorrência e possuem destaque para os locais próximos as seções indicadas na Tabela 20. Nos mapas apresenta-se os níveis de água definidos para a condição natural, condição com Dam Break, altura de onda, tempo de chegada da onda e o tempo de pico para cada seção, bem como uma imagem do local para facilitar a localização. Os desenhos estão divididos conforme Abaixo:

- SFO-C-MPI-001-00-21 – Mapa de Inundação – TR 10 Anos – Natural e Dam Break – Folhas 01 a 04;

- SFO -C-MPI-002-00-21 – Mapa de Inundação – TR 100 Anos – Natural e Dam Break – Folhas 01 a 04;
- SFO -C-MPI-003-00-21 – Mapa de Inundação – TR 1.000 Anos – Natural e Dam Break – Folhas 01 a 04.

Tabela 20 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção para TR 10 e TR 100 anos

Seções de Interesse		Distância da Barragem PCH Salto Forqueta (km)	10 anos								100 anos							
			Nível de água (m)			Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx. (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)	Nível de água (m)			Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx. (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
			Normal	Rompimento	Máxima Onda	Δ Início Onda	Δ Pico Onda	Duração			Normal	Rompimento	Máxima Onda	Δ Início Onda	Δ Pico Onda	Duração		
Barragem Rastro de Auto - Tempo após Rompimento																		
124	Casa de Força Salto Forqueta	2,94	178,03	182,74	4,71	00:00	00:15	03:05	4,67	2.903,31	179,56	183,56	4,00	00:00	00:15	02:40	4,91	3.419,26
113	Ponte Jusante	4,41	170,16	173,49	3,33	00:00	00:20	02:50	5,62	2.834,97	171,18	174,34	3,16	00:00	00:20	02:45	5,61	3.373,62
83	Limite ZAS	10,11	141,00	144,06	3,06	00:05	00:35	03:15	6,63	2.286,21	142,24	144,97	2,73	00:05	00:35	02:50	7,21	2.863,50
1	Limite ZSS	24,30	83,90	86,25	2,35	00:20	01:15	03:30	4,63	1.844,09	85,20	87,24	2,04	00:20	01:10	03:05	4,99	2.384,90

(*) Destacados em laranja ocorre inundação

Tabela 21 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção para TR 1.000 anos

Seções de Interesse		Distância da Barragem PCH Salto Forqueta (km)	1000 anos							
			Nível de água (m)			Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx. (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
			Normal	Rompimento	Máxima Onda	Δ Início Onda	Δ Pico Onda	Duração		
Barragem Rastro de Auto - Tempo após Rompimento										
124	Casa de Força Salto Forqueta	2,94	180,76	184,21	3,45	00:00	00:15	02:35	5,28	3.991,31
113	Ponte Jusante	4,41	172,02	175,07	3,05	00:00	00:20	02:45	5,6	3.847,82
83	Limite ZAS	10,11	143,26	145,72	2,46	00:05	00:35	02:50	7,56	3.348,12
1	Limite ZSS	24,30	86,22	88,07	1,85	00:20	01:10	03:05	5,29	2.892,76

(*) Destacados em laranja ocorre inundação

- A velocidade e vazão máxima foram obtidas da simulação do rompimento da barragem.
- A zona de Autossalvamento da PCH Salto Forqueta fica definida como 10 km da barragem, ou seja, até SL-83 cerca de 10,11 km a jusante do barramento PCH Salto Forqueta, indicada no Quadro.
- A zona de Segurança Secundária da PCH Salto Forqueta fica definida até SL-1, cerca de como 24,30 km de distância da barragem.

6 AGÊNCIAS E ENTIDADES ENVOLVIDAS

Deverão ser evitadas informações prematuras e inexatas a respeito do desenvolvimento da situação, a fim de impedir especulações e pânico, sendo de responsabilidade da Empresa Operadora, **COOPERATIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA TEUTÔNIA – CERTEL ENERGIA**, centralizar a veiculação de informações.

6.1 Agentes Internos

SPE

Nome do Empreendedor: COOPERATIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA TEUTÔNIA – CERTEL ENERGIA

PCH: Salto Forqueta - PCH.PH.RS.027713-4

CNPJ: 92.57.558/0001-21

Endereço: Rua Pastor Hasenack, sala 2, Teutônia – RS Cep 95890-000

Telefone: (51) 3762-5516 (Teutônia)

Celular: (51) 9993-5186 (Salto Forqueta)

Representantes Legais: Diretor Presidente: Erineo José Hennemann

Fone: (51) 3762-5516

E-mail: erineo@certel.com.br

Responsável Técnico da Segurança da Barragem: Eng. Civil Rodrigo da Cas

CREA: RS 212636

Telefone: (51) 3762-5555/(51) 99686-4120

E-mail: rodrigo_cas@certel.com.br

Supervisor de Operação/Coordenador do PAE: Silvio Fusiger

Telefone: (51) 99806-2364

6.2 Agentes Externos

Os agentes externos envolvidos são quatro municípios atingidos: Putinga, São José do Herval, Pouso Novo e Coqueiro Baixo todas no estado do Rio Grande do Sul. As cidades mais próximas com recursos de Defesa Civil e Corpo de Bombeiros e CREPDEC 8 - Lajeado e Soledade no estado do Rio Grande do Sul. Também deverá ser comunicado o órgão ambiental do estado do RS - Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM.

6.3 Identificação e contatos do Empreendedor, do Coordenador do PAE e das entidades constantes do Fluxograma de Notificação

Deverão ser evitadas informações prematuras e inexatas a respeito do desenvolvimento da situação, a fim de impedir especulações e pânico, sendo de responsabilidade da Empresa Operadora, **Cooperativa de Distribuição de Energia Teutônia – CERTEL ENERGIA**, centralizar a veiculação de informações. O Quadro 7 apresenta o resumo geral dos agentes envolvidos.

Em uma eventual emergência os agentes principais a serem avisados estão listados no Anexo VIII – 1- Geral, e todos os contatos do Agentes Externos estão apresentados no Anexo VIII – 2 – Agentes Externos.

Quadro 7 – Lista de contatos do PAE

PAE DA BARRAGEM SALTO FORQUETA		
EMPREENDEDOR	Nome:	Pequena Central Salto Forqueta
	Identificador ANEEL:	PCH.PH.RS.027713-4
	Empreendedor:	Cooperativa de Distribuição de Energia Teutônia – CERTEL ENERGIA
	Diretor Técnico:	Direitor Presidente: Erineo José Hennemann
		(51) 3762-5516 erineo@certel.com.br
	Responsável Tec. Seg. Barragem:	Eng. Civil Rodrigo da Cas - CREA/RS: 212636
		(51) 3762-5555/(51) 99686-4120 rodrigo_cas@certel.com.br
COORDENADOR PAE	Nome:	Supervisor Operação: Silvio Fusiger
	Contatos	(51) 99806-2364
ELABORAÇÃO DO PAE	Nome:	Prosenge Projetos e Engenharia LTDA
	Fone:	(48) 3206-8509
ENCARREGADO ELABORAÇÃO PAE:	Nome:	Eng. Civil Henrique Yabrudi Vieira CREA/PR: 61.964/D
	Contatos:	(49) 9 99124-0254 henrique@prosenge.com
FISCALIZADORA	Nome:	Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL
	Contatos:	(61) 2192-8758
BARRAGENS NO CURSO DE ÁGUA	Montante – Inexistente	Jusante - Inexistente
AUTORIDADES E SISTEMA DE DEFESA CIVIL	Defesa Civil - 199	Estadual Rio Grande do Sul Nome do contato: Coronel Júlio César Rocha Lopes Fone: (51) 3210-4186 defesacivil-metropolitana@casamilitar.rs.gov.br
		Municipal - Putinga/RS Nome do contato: Comissão Municipal da Defesa Civil Putinga Fone: (51) 3777-1200 e (51) 9221-2197
		Municipal - Marques de Souza/RS Nome do contato: Comissão Municipal da Defesa Civil Marques de Souza Fone: (51) 9625-8663
	Corpo De Bombeiros - 193	Estadual Rio Grande do Sul Nome do contato: Coronel César Eduardo Bonfanti Fone: (51) 98524-8172 cmtg@cbm.rs.gov.br
		CREPDEC 8 - Lajeado

PAE DA BARRAGEM SALTO FORQUETA		
		Nome do contato: Tenente Coronel Jorge Halen Fernandes Menezes Fone: (51) 99955-1119 (51) 99938-9291 jorge-menezes@casamilitar.rs.gov.br
		Municipal Soledade/RS Nome do contato: Sargento Berton Fone: (54) 3381-1331
	Prefeituras municipais:	Putinga/RS Nome do contato: Prefeito Paulo Sérgio Lima Dos Santos Fone: (51) 3777-1200
		São José do Herval/RS Nome do contato: Prefeito Jovani Bozetti Fone: (54) 3325-1100
		Pouso Novo/RS Nome do contato: Prefeito Moacir Severgnini Fone: (51) 3775-1100
		Coqueiro Baixo/RS Nome do contato: Prefeito Jocimar Valer Fone: (51) 3612-1220
	POLÍCIA MILITAR - 190	
	POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL - 191	
OUTRAS AGÊNCIAS	INMET	Nome do contato: Instituto nacional de meteorologia Fone: (61) 2102-4700
	Comitê Taquari Antas, UCS	Fone: (54) 3218-2100 (UCS)
	FEPAM	Fone: (51) 3288-9444

7 CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA E RISCO DE RUPTURA

O monitoramento de segurança se dará por duas condições: Hidrológica e Estrutural.

7.1 Condição Hidrológica

A condição hidrológica será controlada no Barramento, deverá ser monitorado os níveis do reservatório com leitura da régua automatizada e/ou visual para observação de uma eventual anomalia com potencial ruptura da barragem.

O vertedouro de soleira livre é a estrutura que controlará as cheias na PCH Salto Forqueta. De acordo com as condições operacionais do vertedouro as cheias se comportarão conforme o gráfico abaixo.

A **EMERGÊNCIA 2** poderá ocorrer em qualquer condição de escoamento em conjunto com o rompimento da barragem.

Na Figura 33 estão indicados os diversos níveis de segurança baseados na vazão do vertedouro (possível de ser obtida pelo NA do reservatório), importante observar que a partir da cheia de 1.000 anos já fica definido o nível de emergência 1.

A Tabela 22 também indica os níveis de segurança com as respectivas ações a serem tomadas. Nessa tabela os níveis de segurança para a condição hidrológica estão descritos na alínea a).

7.2 Condição Estrutural

A boa condição estrutural do barramento se dará pelo monitoramento conforme critérios estabelecidos no Plano de Segurança da Barragem.

Este Plano tem como objetivo determinar as condições relativas à segurança estrutural e operacional da barragem e vertedouro, identificando os problemas e recomendando tanto reparos corretivos, restrições operacionais e/ou modificações quanto análise/estudos para determinar as soluções dos problemas.

O Plano de Segurança da Barragem contém os Manuais de Operação, Manutenção e Inspeção (OMI) para a Barragem.

A manutenção das boas condições estruturais do barramento da PCH Salto Forqueta garante sua integridade e reduz drasticamente as possibilidades de um acidente com o rompimento da barragem.

A Tabela 22 apresenta os níveis de segurança para as condições estruturais, na alínea b), juntamente com as providências a serem tomadas pela equipe de operação.

7.2.1 Monitoramento das Estruturas

O sistema de monitoramento está contemplado nos manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e monitoramento do relatório de segurança da barragem, sendo que este faz parte do Plano de Segurança da Barragem. Este Manual contém:

- Procedimentos de inspeções civis visuais informando onde e o que se deve observar;
- Listas de verificações a serem utilizadas nas inspeções civis;

- Instruções de trabalho para procedimentos de manutenções mais comuns de reparos nas estruturas.

Não menos importantes são os programas de inspeções visuais classificadas em três níveis:

7.2.1.1 Inspeções Rotineiras

São aquelas que devem ser executadas pela equipe de operação. A frequência dessas inspeções deverá ser definida de acordo com o recomendado no item a ser inspecionado. Não gera relatórios específicos, mas apenas comunicações de eventuais anomalias detectadas. Deverão ser preenchidas as listas de verificações de acompanhamento para cada estrutura civil.

7.2.1.2 Inspeção de Segurança Regular

A inspeção de segurança regular será realizada por equipe de Segurança de Barragem, composta de profissionais treinados e capacitados e deverá abranger todas as estruturas do barramento do empreendimento e retratar suas condições de segurança, conservação e operação. A frequência destas inspeções deverá ser **bianual** conforme a classificação do barramento. Os aspectos a serem vistoriados, analisados e relatados neste tipo de inspeção estão detalhados nas listas de verificações anuais. Também deverão ser analisados os dados das inspeções rotineiras.

Os relatórios de inspeção de segurança regular deverão conter minimamente estas informações:

- Identificação do representante legal do empreendedor;
- Identificação do responsável técnico;
- Avaliação da instrumentação disponível na barragem, indicando necessidade de manutenção, reparo ou aquisição de equipamentos;
- Avaliação de anomalias que acarretem mau funcionamento, em indícios de deterioração ou em defeitos construtivos da barragem;
- Comparativo com inspeção de segurança regular anterior;
- Diagnóstico do nível de segurança da barragem;
- Indicação de medidas necessárias à garantia da segurança da barragem.

7.2.1.3 Inspeções Segurança Especial

As inspeções especiais serão realizadas quando convocadas. Esta convocação normalmente será fruto de uma avaliação, por parte da equipe de engenharia de inspeção e manutenção, após uma grande enchente ou onde se detecte algum problema que mereça atenção especial.

Depois de cheias e chuvas torrenciais com recorrência maior que 100 anos, observações não usuais tais como fissuras, recalques, surgências de água e indícios de instabilidade de taludes devem ser verificadas. Aumento da vazão nos medidores de vazão sem motivo aparente e

principalmente com carreamento de material é motivo para acionamento de alerta e de inspeção especial.

7.2.2 Revisão Periódica de Segurança

A Revisão Periódica de Segurança (RPS) tem o objetivo de diagnosticar o estado geral de segurança da barragem com vistas aos avanços tecnológicos, atualização de informações hidrológicas na bacia bem como os critérios de projeto e uso do solo na bacia a montante do barramento. Deve ser realizado a cada 10 anos conforme a classificação da barragem (Classe C).

7.2.3 Tramitação das Informações

O fluxograma apresenta as atividades da equipe de inspeção e manutenção das estruturas civis e a interface com a Gerência da Usina sendo de inspeções e de ações.

O fluxograma de inspeções (Fluxograma 1) indica a sequência dos procedimentos para as inspeções nas estruturas de acordo com a periodicidade necessária.

O fluxograma de segurança da barragem (Fluxograma 2) indica a sequência na tomada de decisões com base nos dados obtidos na instrumentação, inspeções e no relatório das inspeções.

O fluxograma de ações (

Fluxograma 3) indica a sequência na tomada de decisões com base nos no nível de emergência. Caso o fluxograma de ações entrar em **EMERGÊNCIA 1** deverá seguir procedimento do Plano de Ação de Emergência, Figura 33 e Item 9.

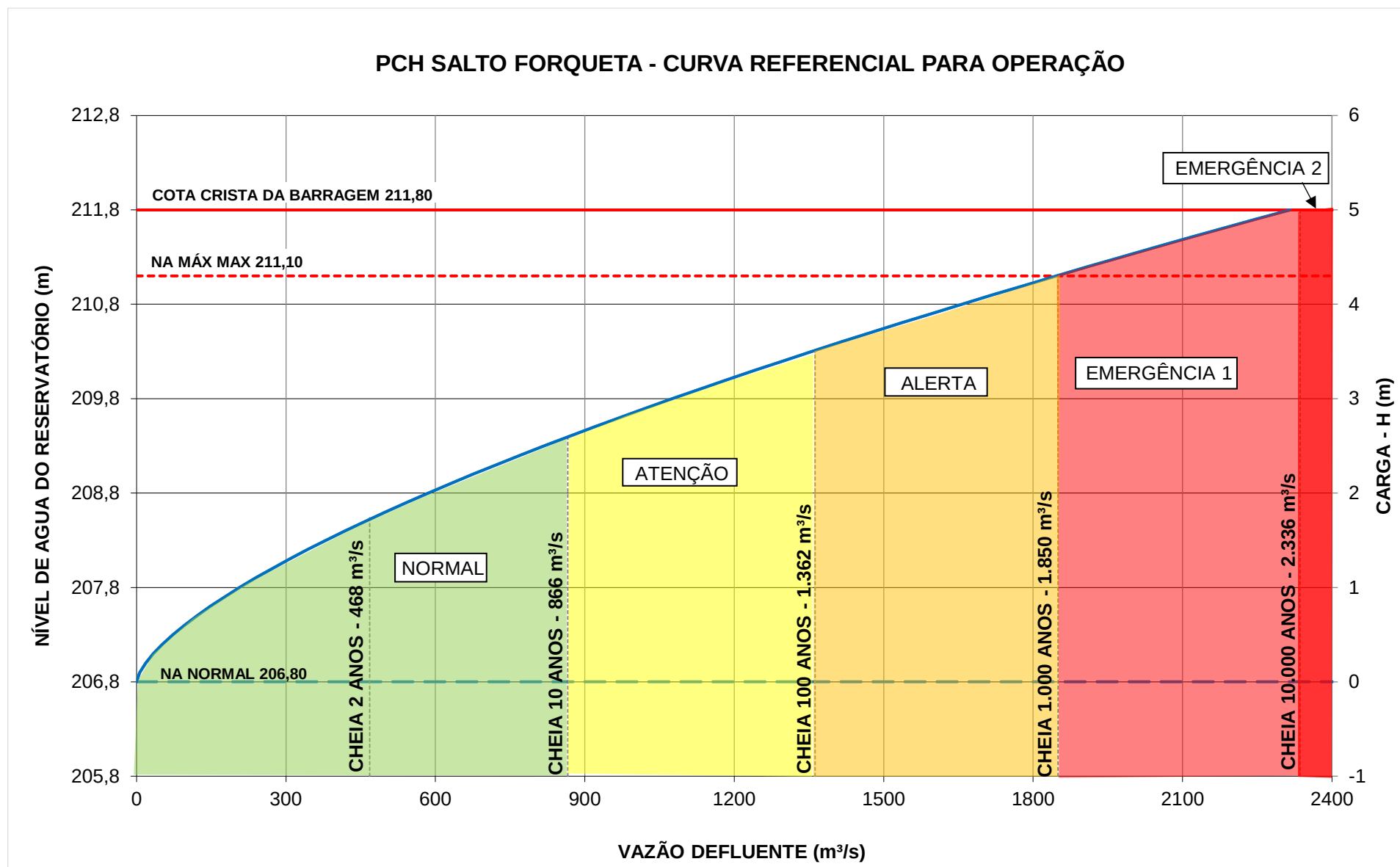


Figura 33 – Níveis de Segurança e Risco de Ruptura

Tabela 22 – Níveis de Segurança e risco Ruptura

Nível de Segurança	Condições e Situações
Nível Normal (VERDE) a) Operação normal das estruturas de descarga	a) Vertimentos até 866 m³/s (TR até 10 anos) – Realizar o monitoramento das precipitações, deplecionamento controlado e análise das previsões de chuva para controle do nível do reservatório.
Nível Atenção (AMARELO) a) Localidades com possibilidade de alagamento na ZAS	a) Vertimentos de 866 até 1362 m³/s (TR entre 10 e 100 anos) – Aviso aos agentes externos da condição de enchente na ZAS, podendo ocorrer aumento de acordo com previsão pluviométrica e alagamento ponte de jusante.
Nível Alerta (LARANJA) a) Localidades com possibilidade de alagamento na ZAS e NA Máx Max b) Início Infiltração no bloco de concreto com qualquer condição hidrológica	a) Vertimentos de 1362 até 1849 m³/s (TR entre 100 e 1000 anos) – Aviso aos agentes externos da condição de enchente com alagamento na ZAS, manter o controle nos sistemas de monitoramento e previsão de chuvas. Alagamento da ponte de jusante e Casa de Força PCH Salto Forqueta. b) manutenção imediata para reduzir a infiltração ou recuperar o sistema de operação do vertedouro;
Nível Emergência 1 (VERMELHO CLARO) a) Localidades com alagamento municípios de jusante, abrir comportas das máquinas para aumentar capacidade de descarga b) Infiltração sem controle e aumento do Nível do reservatório	a) Vertimentos de 1849 até 2336 m³/s (TR entre 1.000 anos e 10.000 anos) – Aviso aos agentes externos da condição de enchente com alagamento na ZAS, manter o controle nos sistemas de monitoramento e previsão de chuvas. b) Infiltração sem controle bloco de concreto, abrir todas comportas das máquinas de maneira a rebaixar o nível do reservatório reduzindo a infiltração → retirar pessoas dos pontos localizados na ZAS e atingidos de jusante;
Nível Emergência 2 (VERMELHO ESCURO) b) Ruptura está prestes a ocorrer, ocorrendo ou acabou de ocorrer com qualquer condição hidrológica.	Rompimento da Barragem com formação da onda de cheia com qualquer condição hidrológica → Aviso aos agentes externos da condição de ruptura iminente ou ocorrida e retirada dos atingidos de jusante localizados na ZAS e atingidos de jusante.

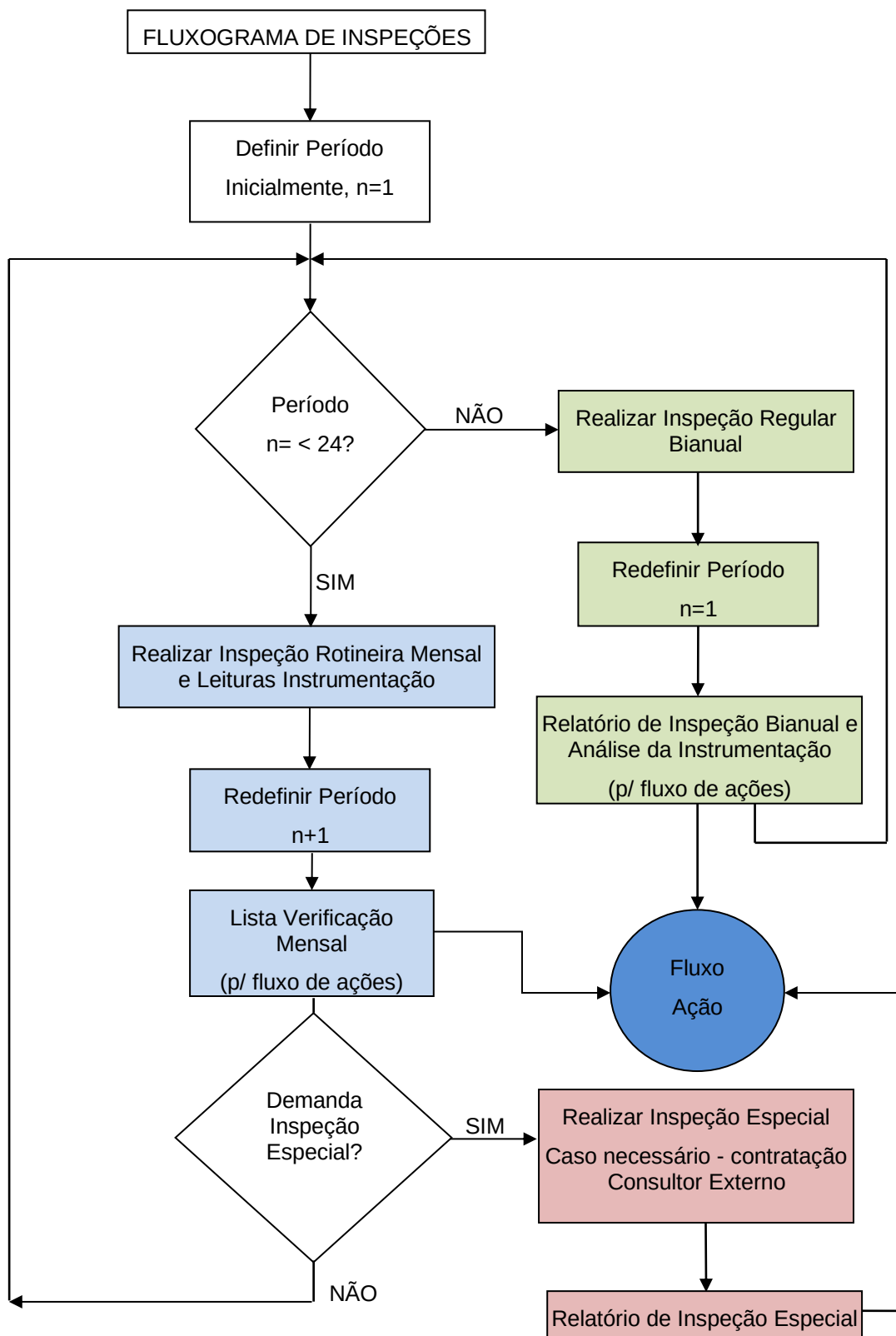
a) nível de alerta devido as condições hidrológicas;

b) nível de alerta devido as condições da barragem ou sistema de operação do vertedouro.

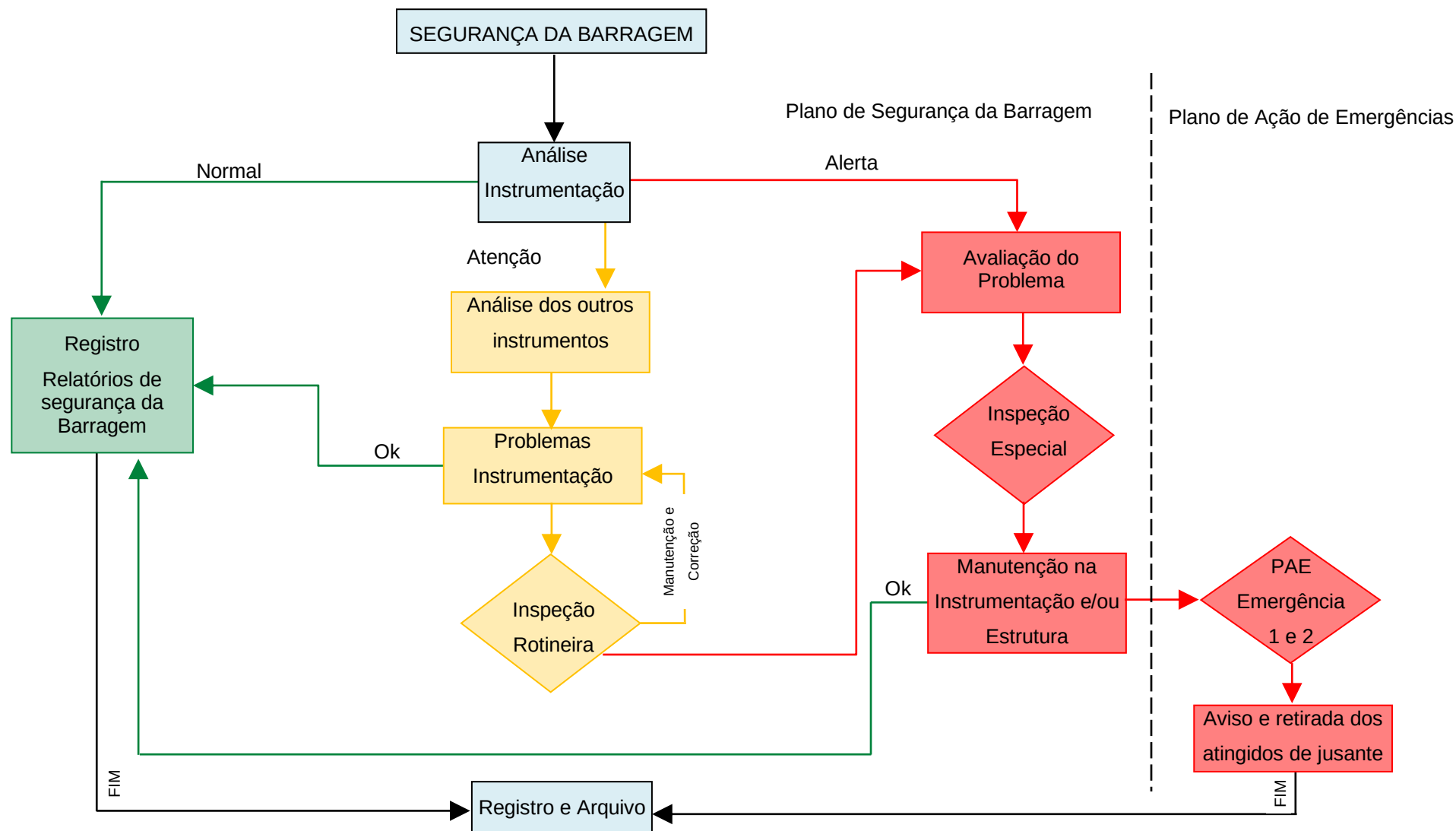
EMERGÊNCIA 2 – A ruptura do barramento pode ocorrer em qualquer condição hidrológica formação de brecha ou em eventos extremos. O alerta aos órgãos responsáveis deve ser emitido assim que constatada a impossibilidade de reverter o problema possibilitando a retirada de todos os atingidos a jusante do barramento.

IMPORTANTE – A observação em campo de surgências de água na barragem, deve ser imediatamente informado ao supervisor e responsável técnico pelo segurança da barragem.

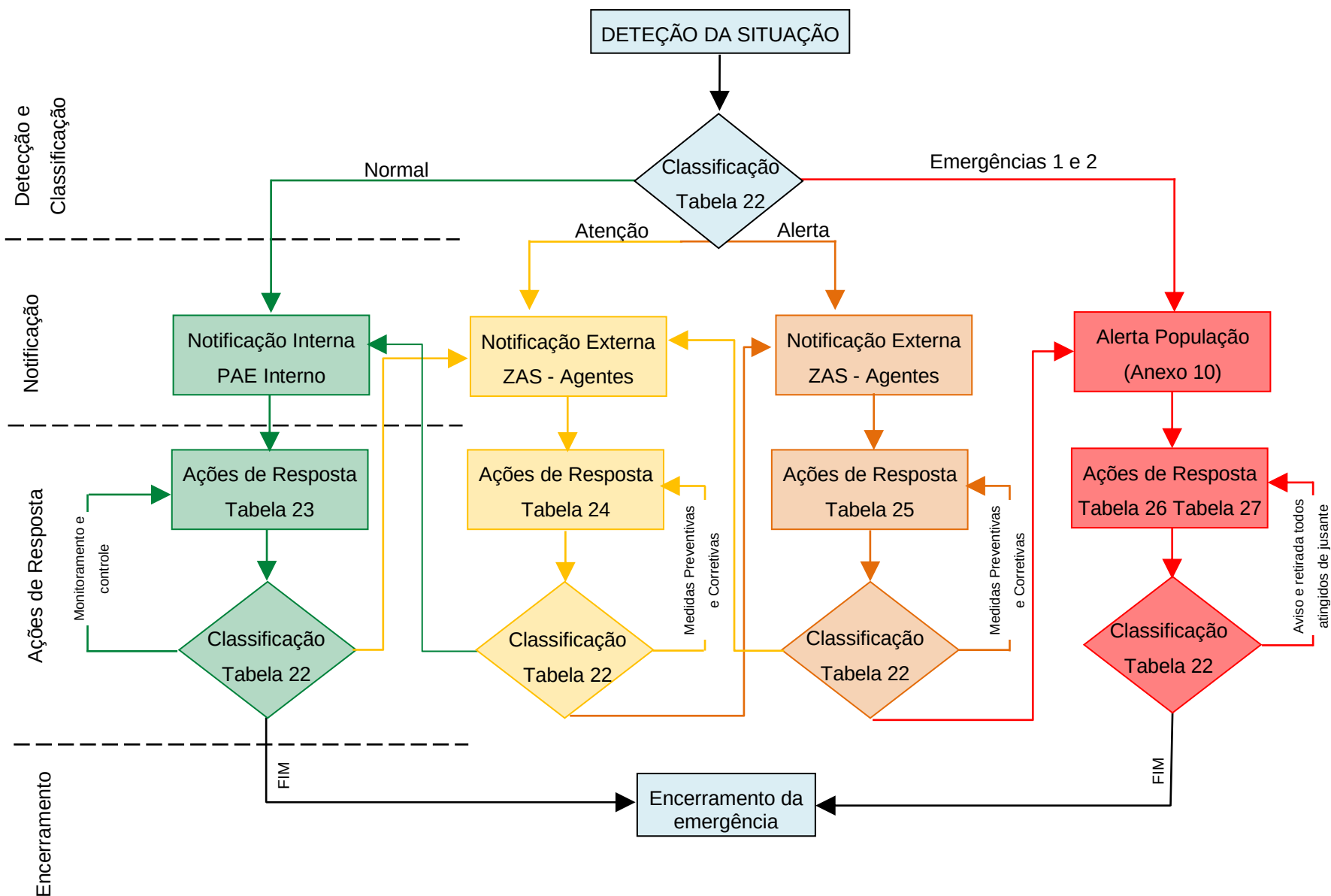
Caso a barragem esteja em risco de colapso o reservatório deve ser rebaixado ao nível mínimo possível através das máquinas o que reduz substancialmente o impacto da onda de cheia em um eventual rompimento.



Fluxograma 1 – Fluxograma de Inspeções – n = mês



Fluxograma 2 – Fluxograma de Segurança da Barragem - manutenção da instrumentação e estruturas



Fluxograma 3 – Fluxograma de Ações – Responsabilidades Coordenador do PAE

8 RESPONSABILIDADES DE TODOS OS AGENTES ENVOLVIDOS

As possíveis consequências danosas que ocorrerem durante ou após uma situação de emergência às pessoas, às propriedades e a infraestrutura a jusante, não serão de responsabilidade dos encarregados desta operação se seguirem corretamente as regras operativas aprovadas.

Em situações de emergência, o processo de decisões sobre a operação do reservatório assumirá configuração descentralizada, que incluirá autoridade para mobilização de recursos humanos, materiais e financeiros.

O poder público, nos três diferentes níveis tem a responsabilidade de desenvolver ações e atividades de defesa civil, em situação de normalidade e anormalidade, garantindo o direito de propriedade e a incolumidade a vida, conforme a Lei Federal nº 895 de 16 de agosto de 1993.

Na falta de regulamentos ou reguladores governamentais, principalmente municipais, o proprietário da barragem deverá prever o seu desenvolvimento institucional em conjunto com os órgãos de Defesa Civil, Bombeiros e Prefeituras de modo a aprimorar o Plano de Ação de Emergências (PAE).

8.1 Agente Interno – COOPERATIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA TEUTÔNIA – CERTEL ENERGIA

O proprietário da Usina é a COOPERATIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA TEUTÔNIA – CERTEL ENERGIA, e controla a operação da Usina.

Será de responsabilidade da Operadora:

- Correção de qualquer deficiência constatada;
- Operação segura e continuada, manutenção e inspeção das estruturas da Usina e do reservatório;
- Inspeção e manutenção nas estruturas civis da Usina;
- Preparação adequada para emergências, manutenção dos acessos, disponibilidade de equipes preparadas bem como de equipamentos;
- Manutenção dos meios de comunicação prevendo sempre alternativas devido a possíveis falhas que são comuns em emergências;
- Manter observação sobre todas as estruturas da usina, principalmente nas mais distantes, contra possíveis ações predatórias de terceiros, incluindo animais;
- Providenciar a elaboração e atualizar o PAE;
- Promover treinamentos internos e manter os respectivos registros das atividades;
- Detectar, avaliar e classificar as situações de emergência em potencial, de acordo com os níveis de resposta;

- Declarar situação de emergência e executar as ações descritas no PAE;
- Executar as ações previstas no fluxograma de notificação;
- Alertar a população potencialmente afetada na ZAS;
- Notificar as autoridades públicas em caso de situação de emergência;
- Emitir declaração de encerramento da emergência;
- Providenciar a elaboração do relatório de encerramento de eventos de emergência.

8.2 Agentes Externos

Os agentes externos diretos serão Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul, e defesas civis municipais, bem como Corpo de Bombeiros, Polícia Militar e Civil do Estado do Rio Grande do Sul e órgão ambiental estadual FEPAM. Nos municípios atingidos somente tem-se prefeituras e secretarias de saúde.

Defesa Civil

As atribuições de Defesa Civil são:

- Coordenar as ações de Defesa Civil;
- Conhecer o Plano de Ações de Emergência da Usina e dentro de cada situação de um evento adverso de definir as providências que deverão ser tomadas, incluindo principalmente na ocorrência de emergência, as providências de evacuação das comunidades afetadas;
- Retirada dos atingidos de jusante;
- Vistoriar os municípios atingidos, lavrando o respectivo laudo, para montagem do processo de homologação de decretos de situação de emergência ou estado de calamidade pública;
- Comunicar ao Departamento de Defesa Civil do Governo Federal as ocorrências havidas, solicitando a liberação de recursos para socorro e assistência;
- Manter informado o Centro de Operações da Defesa Civil sobre as ocorrências e operações relacionadas com defesa civil atendidas e/ou executadas pelos órgãos membros;
- Elaborar plano de ação, mapeando e reconhecendo as áreas de risco inundáveis relativas à sua área de competência;
- Dispor de técnicos para colaborar no desenvolvimento de atividades visando reduzir o impacto do evento adverso sobre a população;

- Cadastrar o material disponível passível de utilização em ações de Defesa Civil;
- Sensibilizar e cadastrar organizações não governamentais dispostas a colaborar no desenvolvimento das campanhas de doações de alimentos e agasalhos;
- Desenvolver na sua área de competência, ações visando à preservação da ordem pública, da incolumidade das pessoas e do patrimônio nas áreas atingidas;
- Neutralizar qualquer indício de agitação da ordem pública quando da realização dos trabalhos de defesa civil nas áreas atingidas;
- Priorizar o emprego dos recursos materiais nas ações de Defesa Civil;
- Mover ações para implementação e supervisão para o suprimento de medicamentos e vacinas, o controle de qualidade da água e dos alimentos e a promoção da saúde nas áreas atingidas por desastres;
- Coordenar a nível comunitário, técnicas de primeiros socorros;
- Fiscalizar estabelecimentos comerciais e de atendimento ao público, visando evitar à manifestação de risco a saúde das populações das áreas atingidas;
- Orientação aos Distritos Rodoviários para que elaborem Plano preventivo para atuação em situações emergenciais;
- Disponibilizar escolas e ginásios de esportes, para abrigar a população desalojada;
- Na impossibilidade de restabelecimento rápido do fornecimento de água, providenciar o abastecimento através de caminhões pipa;
- Nos municípios não atendidos pela Empresa em que houver colapso do abastecimento de água, colaborar com o órgão municipal para solucionar rapidamente o problema de abastecimento a população, inclusive através de caminhões pipa.

Polícia Militar

- Manter o controle da frota de veículos, através do setor de transporte;
- Manter controle das rodovias estaduais e municipais, interditando-as ou adotando medidas de precaução naquela cuja utilização possam causar riscos aos usuários.

Corpo de Bombeiros

- Difundir a nível comunitário, técnicas de primeiros socorros;
- Atendimento imediato das emergências quando acionados;
- Desenvolver ações de socorro, em todos os municípios atingidos;

- Garantir a segurança, dentro e fora dos abrigos e acampamentos, assim como nas áreas atingidas;
- Promover a implantação de atendimento pré-hospitalar e de unidades de emergência, supervisionar a elaboração de planos de mobilização e de segurança dos hospitais, em situações de desastres;

Secretaria da Saúde

- Efetuar a profilaxia de abrigos e acampamentos provisórios, fiscalizando a ocorrência de doenças contagiosas e a higiene e saneamento;
- Dispor de equipes de médicos legistas, para emprego em áreas atingidas, se houver número elevado de óbitos.

8.3 Atribuições Conjuntas entre a Usina e Agentes Externos

Após o término do Plano de Ação de Emergência, deverá ser realizada uma apresentação deste plano para os agentes externos.

Esta apresentação deverá verificar a detecção da emergência, a tomada de decisão, os meios de comunicação, o fluxo de informação, o tempo de mobilização e os equipamentos, infraestrutura e pessoal disponível. Esta apresentação está no Anexo IX.

9 PROGRAMA DE AÇÕES PREVENTIVAS, TÃO LOGO IDENTIFICADAS SITUAÇÕES EMERGÊNCIAIS

Ações preventivas devem ser iniciadas de maneira apropriada, para prevenir a ruptura ou para limitar danos onde a ruptura for inevitável.

Neste item serão descritas as providências a serem tomadas nas diversas situações, para as quais os sistemas de comunicação deverão ser operados continuamente, 24h por dia, 7 dias por semana. Os operadores e demais responsáveis deverão poder ser encontrados em qualquer tempo. As demais entidades envolvidas também devem manter a capacidade de mobilização.

As condições de operação do reservatório serão monitoradas diretamente pela equipe da operação da Usina, continuamente, 24h por dia, 7 dias por semana.

As condições das estruturas do barramento e dos vertedouros também serão monitoradas através de inspeções: rotineiras e/ou remotas pela equipe da Usina, programadas pela equipe de inspeção e de emergências.

Os mapas de inundação foram elaborados com a utilização de restituição no trecho de jusante da Barragem, podendo ocorrer um erro nas elevações de até 2,50 m. Como sistema de prevenção a interdição da ponte de jusante e retirada dos operadores da Casa de Força da PCH Salto Forqueta, os mesmos devem ser avisados a partir de cheias de 100 anos para evacuação da área em casa de enchentes e com risco de rompimento da Barragem.

Conforme a Figura 33 – Níveis de Segurança e Risco de Ruptura e a Tabela 22 – Níveis de Segurança e risco Ruptura, do item 7 as situações serão classificadas como:

9.1.1 Situação Normal (VERDE)

Tabela 23 – Ações de resposta (Normal)

VERTIMENTOS até 866 m³/s (TR 10 ANOS)		
Prioridade	Ação	Responsabilidade
1	Observar a pluviometria da região e os dados Geração se indicam aumentos de vazão afluente.	Operação
2	Realizar inspeção regular/rotineira no barramento e vertedouro buscando observar alguma anomalia na estrutura.	Operação
3	Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento ou problema na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado Responsável pela Segurança da Barragem para verificação do Problema, podendo ser acionada EMERGÊNCIA 1 e caso não solucionado EMERGÊNCIA 2 .	Coordenador PAE

9.1.2 Situação Atenção (AMARELO)

Tabela 24 – Ações de resposta (Atenção)

VERTIMENTOS de 866 até 1.362 m³/s – TR até 100 ANOS		
Prioridade	Ação	Responsabilidade
1	Observar a pluviometria da região e os dados Geração se indicam aumentos de vazão afluente.	Operação
2	Avaliar Instrumentação da Barragem, valores de referência para condição do instrumento.	Resp. Seg. Barragem e/ou consultor externo
3	Realizar inspeção rotineira (equipe interna de segurança da Barragem) no barramento e nível do barramento buscando observar alguma anomalia na estrutura que necessite reparo.	Operação
4	Aviso aos agentes externos da condição de enchente na ZAS, podendo ocorrer aumento de acordo com previsão pluviométrica. Possibilidade de alagamento da ponte de jusante	Coordenador PAE
5	Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento ou problema na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado Responsável pela Segurança da Barragem para verificação do Problema, podendo ser acionada EMERGÊNCIA 1 e caso não solucionado EMERGÊNCIA 2 .	Coordenador PAE

9.1.3 Situação de Alerta (LARANJA)

Tabela 25 – Ações de resposta (Alerta)

VERTIMENTOS de 1.362 até 1.849 m³/s – TR entre 100 e 1.000 anos		
Prioridade	Ação	Responsabilidade
1	Observar a pluviometria da região e os dados Geração se indicam aumentos de vazão afluente.	Operação
2	Avaliar Instrumentação da Barragem, valores de referência para condição do instrumento.	Resp. Seg. Barragem e/ou consultor externo
3	Realizar inspeção rotineira (equipe interna de segurança da Barragem) no barramento e nível do barramento buscando observar alguma anomalia na estrutura que necessite reparo.	Operação
4	Cheia - Aviso aos agentes externos (defesa civil, corpo bombeiros e prefeituras) da condição de enchente com alagamento na ZAS para que mesmo possam retirar a população das áreas de alague, manter o controle nos sistemas de monitoramento e previsão de chuvas (Mapas de Inundação TR 1.000 anos.)	Coordenador PAE
5	Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento ou problema na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado Responsável pela Segurança da Barragem para verificação do Problema, podendo ser acionada EMERGÊNCIA 1 e caso não solucionado EMERGÊNCIA 2 .	Coordenador PAE
6	Após a condição de enchente (TR entre 100 e 1.000 anos) deverá ser realizada uma inspeção rotineira completa no barramento e no vertedouro para verificar as condições gerais da estrutura civil.	Resp. Seg. Barragem e equipe de segurança da Barragem

9.1.4 Situação de Emergência 1 (VERMELHO CLARO)

Tabela 26 – Ações de resposta (Emergência 1)

VERTIMENTOS de 1.849 até 2.336 m³/s – > TR entre 1.000 e 10.000 anos		
Prioridade	Ação	Responsabilidade
1	Observar a pluviometria da região e os dados Geração se indicam aumentos de vazão afluente.	Operação
2	Avaliar Instrumentação da Barragem, valores de referência para condição do instrumento.	Resp. Seg. Barragem e/ou consultor externo
3	Realizar inspeção rotineira (equipe interna de segurança da Barragem) no barramento e nível do barramento buscando observar alguma anomalia na estrutura que necessite reparo.	Operação
4	Acionar sistema de alerta da ZAS conforme Plano de Comunicação	Coordenador PAE
5	Cheia - Aviso aos agentes externos (defesa civil, corpo bombeiros e prefeituras) da condição de enchente com alagamento na ZAS para que mesmo possam retirar a interditar ponte de jusante e retirar operadores da PCH Salto Forqueta, manter o controle nos sistemas de monitoramento e previsão de chuvas (Mapas de Inundação TR 1.000 anos.)	Coordenador PAE
6	Abrir máquinas de modo aumentar capacidade de descarga e modo baixar nível do reservatório	Operação
7	Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento ou problema na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado Responsável pela Segurança da Barragem para verificação do Problema, podendo ser acionada EMERGÊNCIA 1 e caso não solucionado EMERGÊNCIA 2 .	Coordenador PAE
8	Após a condição de enchente (TR entre 1.000 e 10.000 anos) deverá ser realizada uma inspeção especial no barramento e no vertedouro para verificar as condições gerais da estrutura civil.	Resp. Seg. Barragem/ equipe de segurança da Barragem e/ou consultor externo

9.1.5 Situação de Emergência 2 (VERMELHO ESCURO)

Tabela 27 – Ações de resposta (Emergência 2)

RUPTURA PRESTES A OCORRER, OCORRENDO OU ACABOU DE OCORRER COM QUALQUER CONDIÇÃO HIDROLÓGICA		
Prioridade	Ação	Responsabilidade
1	Acionar sistema de alerta da ZAS conforme Plano de Comunicação	Coordenador PAE
2	Nesta situação a operadora deverá comunicar a defesa civil para a retirada da população atingida de jusante. Os Mapas de Inundação com Dam Break para os diversos tempos de recorrência devem servir de orientação para a retirada da população. Sempre com a maior antecedência possível. Utilizar mapas de rompimento TR 1.000 anos.	Coordenador PAE

NAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA 2 DEVERÃO SER AVISADOS E RETIRADOS TODOS OS ATINGIDOS DE JUSANTE BUSCANDO A SEGURANÇA DOS ATINGIDOS. A RETIRADA

SE DARÁ PELOS AGENTES EXTERNOS (DEFESA CIVIL, CORPO DE BOMBEIROS, POLÍCIA MILITAR, ETC).

10 ACESSOS, MAPAS DE ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES POTENCIAIS

O estudo das áreas de risco de desastre permitiu a elaboração dos mapas temáticos, relacionados com a ameaça, vulnerabilidade e o risco de inundação, os quais servem de embasamento para a definição dos métodos a serem adotados para prevenir, preparar ou responder quando da ocorrência de grandes cheias ou rompimento da barragem.

Os estudos indicaram que os níveis de água resultante do rompimento da Barragem da PCH aSalto Forqueta são muito pequenos quando comparado com os níveis de enchente sem rompimento, isso devido ao pequeno volume do reservatório (3.40 hm³). Como orientação ao sistema de prevenção, a ponte de jusante deverá ser interditada a partir de enchentes TR 100 anos para evacuação da área potencialmente atingida.

Nos mapas de inundação, estão indicados os acessos atingidos com as condições de cheias ou rompimento para os tempos de recorrência estudados. Foram atingidos acessos de ambas as margens do rio, paralelos ao mesmo em diversos pontos para todos os tempos de recorrência.

10.1 Zona de Autossalvamento – ZAS

A Zona de Autossalvamento (ZAS) é determinada como aquela região a jusante da barragem em que não há tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em caso de acidente (ANA, 2016). Neste sentido, considera-se que a ZAS é delimitada utilizando-se uma distância de 10 km a jusante da barragem ou a distância que corresponde a um tempo de chegada de onda de inundação igual a trinta minutos, sendo considerado sempre o ponto menor entre os dois critérios.

Essa área é chamada de Zona de Autossalvamento (ZAS), pois em caso de rompimento não há tempo hábil para a chegada de socorro sendo que a população atingida deve sair da área de risco por conta própria mediante aviso de emergência.

No estudo de rompimento da barragem da PCH Salto Forqueta o local do limite da ZAS se encontra a 10,00 km de distância da barragem, sendo nesse caso adotado o critério de tempo de início da onda de cheia para a pior condição de estudo que é o rompimento da capacidade extrema do Vertedouro com a cheia de 1.000 anos.

Dentro da ZAS existem (01) Casa de Força, (01) Ponte no vale a jusante que poderão ser afetadas pela onda de cheia no caso de uma ruptura da barragem. O Quadro 8 apresenta a localização e principais características das seções dentro da ZAS. Nenhuma propriedade a jusante foi atingida pelo rompimento da Barragem e nem em condições de enchentes.

Quadro 8 – Características das infraestruturas/edificações localizadas na ZAS da barragem

BARRAGEM Salto Forqueta					
Infraestrutura e Edificações na ZAS					
Denominação	Descrição	Coordenada geográfica Latitude	Coordenada geográfica Longitude	Distância do barramento (Km)	Cota (m) - TR 1000 anos
124	Casa de Força Salto Forqueta	29° 5'1.24"S	52°12'30.75"O	2,94	184,21
113	Ponte Jusante	29° 5'40.75"S	52°12'44.22"O	4,41	175,07
83	Limite ZAS	29° 6'55.54"S	52°11'46.71"O	10,11	145,72

Somente próximo a Casa de Força da PCH Salto Forqueta, foram sugeridas e identificadas rotas de fuga e pontos de encontro, que deverão ser confirmadas por autoridades competentes *in loco* (Empreendedor e Defesa Civil). As rotas de fuga foram sugeridas até onde não há o risco de inundação e deverão ser definidas como ponto de encontro da população residente na zona de autossalvamento.

A população dessas áreas deve ser orientada a se locomover e a identificar as rotas de fuga em caso de situações de emergência com risco de rompimento da barragem, sendo que esse deslocamento deve ser considerado como realizado por meios próprios e de maneira mais rápida possível mediante o aviso a ser implantado identificando a emergência.

As edificações atingidas e as áreas de fuga estão identificadas nos Mapas Zona de Autossalvamento:

- SFO-C-ZAS-001-00-21 – Zona de Autossalvamento – Natural e Rompimento – TR 1.000 Anos – Folha 01.

Os mapas da ZAS estão apresentados no Anexo VI.

10.2 Zona de Segurança Secundária – ZSS

A zona de segurança secundária de acordo com Lei 14.066/2020 estabelece que é o trecho de jusante que não faz parte da Zona de Auto Salvamento. Logo, fica como definido a Zona de Segurança Secundária como limite final da modelagem, cerca de 24,30 km de distância da Barragem.

Os mapas de inundação SFO-C-MPI-001-00-21, SFO-C-MPI-002-00-21 e SFO-C-MPI-003-00-21 informam o limite da ZAS e ZSS, estão apresentados no Anexo V.

10.3 Propriedades Atingidas

Não foi atingida nenhuma propriedade de jusante. O quadro abaixo apresenta a confirmação por margem e municípios.

Quadro 9 – Estimativa das propriedades atingidas – Rompimento TR 1.000 anos

BARRAGEM Salto Forqueta			
Infraestrutura e Edificações - DB 1.000			
Zona	Município	Margem Rio	Quantidade Propriedades Atingidas
Autossalvamento	São José do Herbal	Direita	0
	Putinga	Esquerda	0
Total ZAS			0
Segurança Secundária	São José do Herbal e Pouso Novo	Direita	0
	Putinga e Coqueiro Baixo	Esquerda	0
Total ZSS			0
Total ZAS e ZSS			0

Os mapas de inundação para dia de sol e para os tempos de recorrência de 10, 100 e 1.000 anos estão apresentados no Anexo V – Mapas de Inundação, divididos nos seguintes desenhos:

- SFO-C-MPI-001-00-21 – Mapa de Inundação – TR 10 Anos– Natural e Rompimento – Folhas 01 a 04;
- SFO-C -MPI-002-00-21 – Mapa de Inundação – TR 100 Anos – Natural e Rompimento – Folhas 01 a 04;
- SFO-C -MPI-003-00-21 – Mapa de Inundação – TR 1.000 Anos – Natural e Rompimento – Folhas 01 a 04.

É importante relatar que simulação de somente enchentes também não foi atingida nenhuma propriedade de jusante da Barragem.

10.4 Risco Hidrodinâmico

O risco hidrodinâmico foi obtido diretamente do processamento da mancha de inundação provocada pelo rompimento da barragem para a ocorrência de uma TR 1.000 anos, sendo obtido pela relação Profundidade x Velocidade da onda de inundação de acordo com as cotas do terreno, e seguirá a legenda da Tabela 4 apresentado no Item 5.1.16 para elaboração do mapa de Risco Hidrodinâmico.

No Mapa do Risco hidrodinâmico do Anexo VII, apresenta detalhes das consequências, onde foi possível avaliar pontos atingidos para a TR 1.000 anos.

O Quadro 41 a seguir apresenta detalhes dos pontos atingidos e risco hidrodinâmico, sendo que:

- SL- 124 - Casa de Força Salto Forqueta - Colapso de certos edifícios;
- SL- 113 – Ponte Jusante – Colapso de certos edifícios.

Quadro 10 - Risco Hidrodinâmico para TR 1.000 anos

Seções de Interesse		Distância da Barragem PCH Salto Forqueta (km)	1000 anos							
			Nível de água (m)			Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx. (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
Normal	Rompimento	Máxima Onda	Δ Início Onda	Δ Pico Onda	Duração					
Barragem Salto Forqueta - Tempo após Rompimento										
124	Casa de Força Salto Forqueta	3	180,76	184,21	3,45	00:00	00:15	02:35	5,28	3991,31
113	Ponte Jusante	4	172,02	175,07	3,05	00:00	00:20	02:45	5,60	3847,82
83	Limite ZAS	10	143,26	145,72	2,46	00:05	00:35	02:50	7,56	3348,12
1	Limite ZSS	24	86,22	88,07	1,85	00:20	01:10	03:05	5,29	2892,76

11 FLUXO DE INFORMAÇÃO E ACIONAMENTO

11.1 Meios de Comunicação

O acionamento de emergências será realizado através de telefone com a Defesa Civil do Estado do Rio Grande do Sul, bem como com a Defesa Civil municipais de Putinga e Marques de Souza do Rio Grande do Sul, Corpo de Bombeiros de Lajeado e Soledade, Polícia Militar, e Prefeituras dos municípios de Putinga, São José do Herval, Pouso Novo e Coqueiro Baixo todo no estado Rio Grande do Sul (atingidos).

Deverá ser elaborado o Plano de comunicação com comunidade de jusante em caso de emergência, principalmente na Zona de Autossalvamento. Este sistema poderá prever comunicação tipo SMS/Watzaapp ou telefone, em caso de extrema emergência será alertado localmente a ZAS. Também deverá ser realizado o Cadastro dos atingidos na ZAS.

11.2 Acionamento em Caso de Emergências

O acionamento em caso de emergência dos agentes envolvidos se dará pelo Fluxograma 4 que mostra a sequência de tramitação das informações. Este fluxograma apresenta o responsável pelo acionamento, Gerência Operação e CERTEL Energia, e os agentes externos envolvidos, Defesa Civil do estado do Rio Grande do Sul Defesa Civil municipais, Corpo de Bombeiros e Prefeituras dos municípios de Putinga, São José do Herval, Pouso Novo e Coqueiro Baixo todo no estado Rio Grande do Sul (atingidos). Também deverá ser comunicado o órgão ambiental do estado do RS - Fundação Estadual de Proteção Ambiental – FEPAM.

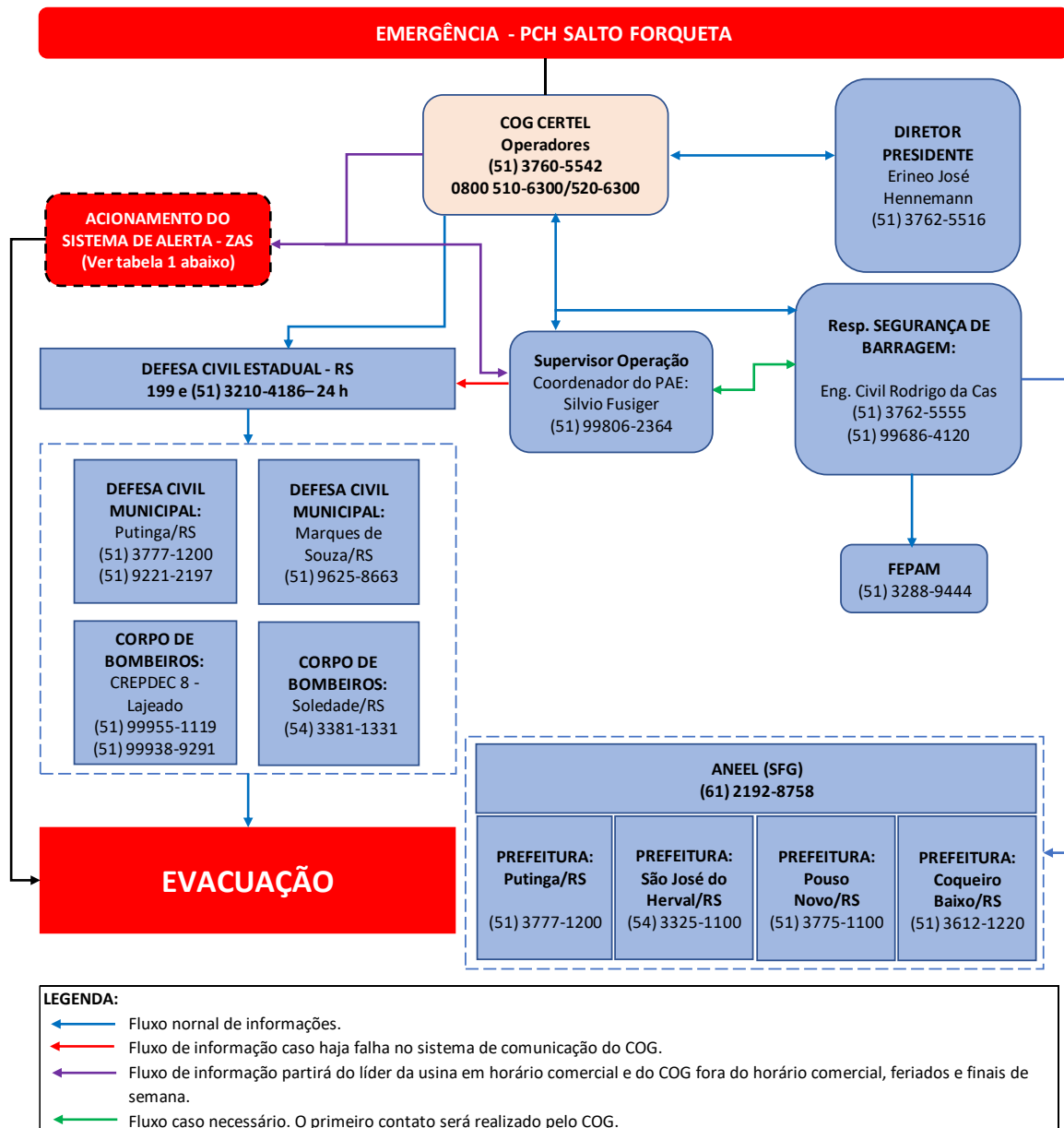


Tabela 1 - Atingidos ZAS

Seção	ZAS Propriedades	Contato
124	Casa de Força PCH Salto Forqueta	(51) 9993-5186

Fluxograma 4 – Acionamento emergências

Este fluxograma está apresentado no Anexo VIII e deverá ficar na Usina em local de fácil visualização em caso de emergência com o contato dos atingidos para evacuação da área em casos extremos.

Este fluxograma deverá ser acionado nas seguintes hipóteses:

- Cheias ocorridas a partir do **tempo de recorrência de 100 anos**, ou seja, **vazão afluente maior que 1.362 m³/s**, juntamente com aumento da Pluviometria na região. Nesta condição os operadores da PCH Salto Forqueta deverão ser avisados para evacuação da área de inundação em condições naturais;
- Vazamento na Barragem sem controle com risco de colapso ou rompimento.

Como o risco de galgamento da barragem da PCH Salto Forqueta em condições normais de operação é baixo, quase nulo, a segurança da estrutura depende da qualidade do monitoramento e da agilidade na recuperação de eventuais danos estruturais.

O rebaixamento do reservatório é uma condição possível de ser realizada (em condições hidrológicamente favoráveis) até o limite imposto pelas comportas das Tomadas de Água. Esse procedimento reduz de maneira substancial os danos a jusante decorrentes do rompimento da barragem devido a redução do volume do reservatório.

É um procedimento que pode ser realizado com segurança permitindo também a redução dos esforços sobre o barramento facilitando trabalhos de recuperação da estrutura.

12 FORMULÁRIOS DE DECLARAÇÃO DE INÍCIO DA EMERGÊNCIA, DE DECLARAÇÃO DE ENCERRAMENTO DA EMERGÊNCIA E DE MENSAGEM DE NOTIFICAÇÃO

As declarações estão apresentadas no Anexo X.

13 RELAÇÃO DAS ENTIDADES PÚBLICAS E PRIVADAS QUE RECEBERAM CÓPIA DO PAE COM OS RESPECTIVOS PROTOCOLOS DE RECEBIMENTO

A implementação eficaz de um PAE exige que os documentos base sejam controlados, com a distribuição de cópias restringidas a todas as entidades com responsabilidades instituídas, garantindo o conhecimento e a utilização de planos sempre atualizados. Assim, deve estar identificada a relação das entidades que receberam cópia (Tabela 28).

Deverá ser mantido uma cópia física atualizada do PAE na sala de controle da Usina.

Tabela 28 – Entidades que recebem Cópia PAE

Entidade	Nº de cópias (Digital)
Entidade Fiscalizadora (ANEEL)	1
Secretaria De Estado De Defesa Civil Do Estado - RS	1
Corpo De Bombeiros Militar Do Estado – RS	1
Defesa Civil Municipal – Putinga e Marques de Souza do Rio Grande do Sul	1
Corpo de Bombeiros – Soledade - RS	1
Prefeituras envolvidas – Putinga, São José do Herval, Pouso Novo e Coqueiro Baixo - RS	1

14 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Nenhuma propriedade a jusante da Barragem Salto Forqueta é atingida com rompimento da mesma, somente a Casa de Força da PCH Salto Forqueta. Logo, deverá ser mantido contato entre Centro de Operação e os operadores de modo avisar caso entre em uma condição de emergência. Também foi atingida a ponte a jusante da PCH Salto Forqueta já com condições de enchentes a partir da TR 10 anos.

Está prevista que a necessidade de revisão e adaptação deste plano se fará necessária quando:

- Houver alteração na estrutura do operador, incorporação ou revisão do Plano de Segurança da Barragem (mudanças características da Barragem), e por força de legislação;
- Atualização dos nomes dos responsáveis da Usina e das equipes de operação, manutenção, monitoramento e de inspeção;
- Atualização dos responsáveis, principalmente nos órgãos Estaduais.

Devido as características das estruturas e região do entorno a barragem da PCH Salto Forqueta foi classificada e confirmada como **Classe C**, Categoria de Risco Baixo e Dano Potencial Associado Baixo. Barragem Classe C necessita realizar a Revisão Periódica de Segurança (RPS) a cada 10 anos onde o produto a ser elaborado consta de um relatório onde estarão listadas as considerações sobre o exame de toda a documentação existente, a avaliação dos critérios de projeto, a análise da instrumentação, a identificação de anomalias e as condições de manutenção, e quais as Recomendações e Conclusões sobre a segurança da Barragem, devendo ser reavaliadas as condições de segurança das estruturas do barramento sendo então realizada novamente a classificação da barragem nos critérios da lei de segurança vigente na época do RPS.

Recomenda-se após a condição de enchente maiores que TR 100 anos ($Q \Rightarrow 1.362 \text{ m}^3/\text{s}$) deverá ser realizada uma inspeção no Barramento para verificar as condições gerais da estrutura civil, em particular a calha do vertedouro no trecho em rocha sã. Essa inspeção pode ser realizada pela equipe de segurança de barragem do empreendedor.

Recomenda-se após condição de cheia igual ou maior que TR 1.000 anos ($Q \Rightarrow 1.849 \text{ m}^3/\text{s}$) seja realizada uma inspeção de Segurança Especial na estrutura do barramento e região do entorno. Essa inspeção deve ser realizada por equipe de consultores especialistas.

15 EQUIPE TÉCNICA

Nome	Formação	Função
Henrique Yabrudi Vieira	Engenharia Civil	Hidráulica – Segurança de Barragens
Patrícia Becker	Engenharia Civil	Estruturas – Segurança de Barragem

As Anotações de Responsabilidade Técnica (ART) dos profissionais envolvidos nos trabalhos estão apresentadas no Anexo XI.

16 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, A. B. de. **A gestão do risco em sistemas hídricos: conceitos e metodologias aplicadas a vales com barragens**. 6º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, APR. Cabo Verde, 2003.

ALMEIDA. Antônio Betâmio de. **Emergências e Gestão do Risco: Risco a Jusante de Barragens**. Lisboa, 2001.

ALMEIDA, A. B. **Emergência e gestão do risco**. In: Curso de Exploração e Segurança de Barragens. Capítulo 7. Lisboa: Instituto Nacional da Água (INAG), 2001. 104p

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis**, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 1995.

AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, **Guidelines for Chemical Transportation Risk Analysis**, Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers, New York, 2000.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens Volume IV - Guia de Orientação e Formulários dos Planos de Ação de Emergência – PAE, Versão final 02 para editoração – Abril de 2016.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - Manual do empreendedor da Ana relativo a revisão periódica, plano de segurança de barragens, plano de ação de emergência e inspeções de segurança de barragens (<http://www.snisb.gov.br/portal/snisb/downloads/ManualEmpreendedor>).

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – Resolução Normativa Nº 696, de 15 de Dezembro de 2015 - Estabelece critérios para classificação, formulação do Plano de Segurança e realização da Revisão Periódica de Segurança em barragens fiscalizadas pela ANEEL de acordo com o que determina a Lei nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010.

BARBOSA, N. P.; MENDONÇA, A. V.; SANTOS, C. A. G.; LIRA, B. B. **Barragem de Camará**. Universidade Federal da Paraíba – Centro de Tecnologia. Ministério Público Federal. Procuradoria da República no Estado da Paraíba. PB, 2004. Disponível em: <www.prpb.mpf.gov.br>. Acesso em 23/09/2008.

CESTARY 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**. 2013. 224 f. Dissertação (Mestrado): Curso de Engenharia Civil, Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.

CETESB. **Manual de Orientação para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos**. Norma P4.261, Maio/2003.

COLLISCHONN, V. **Análise do rompimento da barragem de Ernestina**. Dissertação (Mestrado). Porto Alegre: UFRGS, 1997.

CRUZ, P.T. **100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção, Projetos**. Oficina de Textos, São Paulo, 2004.

DUARTE, Moacir. Riscos Industriais: **Etapas para a investigação e a prevenção de acidentes**. Rio de Janeiro: FUNENSEG, 2002.

FEEMA. **Manual do Curso de Análise de Riscos Ambientais**. Agosto de 1998.

GUIA BÁSICO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS, Comitê Brasileiro De Grandes Barragens, Núcleo Regional De São Paulo.

LEI Nº 12.334, de 20 de Setembro de 2010, **Política Nacional de Segurança de Barragens**, Presidência da República. Alterada pela Lei Federal 14.066/2020.

MENESCAL, R. A.; VIEIRA, V. P. P. B.; FONTENELLE, A. S.; OLIVEIRA, S. K. F. 2001. **Incertezas, Ameaças e Medidas Preventivas nas Fases de Vida de uma Barragem**. XXIV Seminário Nacional de Grandes Barragens, Anais, Fortaleza – CE.

MENESCAL, R. A.; MIRANDA, A. N.; PITOMBEIRA, E. S.; PERINI, D. S. **As Barragens e as Enchentes**. Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2004 Florianópolis - SC.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **A Segurança de Barragens e a Gestão de Recursos Hídricos no Brasil** / [Organizador, Rogério de Abreu Menescal]. Brasília: Proágua, 2005.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual de Segurança e Inspeção de Barragens**. Brasília, 2002.

SILVA, M. M. A.; LACERDA, M. J.; SILVA, P. K.; SILVA, M. M. P. **Impactos Ambientais causados em decorrência do rompimento da Barragem Camará no município de Alagoa Grande, PB.** Revista de Biologia e Ciências da Terra. Volume 6 – Número 1. 2006.

SILVEIRA, J.F.A. **Instrumentação e Segurança de Barragens de Terra e Enrocamento.** Oficina de Textos, São Paulo, 2006.

SYNAVEN, K. ***The pilot Project Kyrkojarvi dam and reservoir, Seinajoki***, Finland. In- Internacional Seminal And Worksjop Risk Assesment, Dam-Break Flood Análisis And Emergency Action Planning. Seinajnoki- Finnish Environment Institute, 2000.

WISEU, T.; MARTINS, R. ***Safety risks of small dams***. In- BERGA, L. (Ed.) Dam Safety. Rotterdam- Balkema, 1998. p. 283-288.

17 ANEXOS

Anexo I – Dados (somente digital)

Anexo II – Área Resguardada e Acessos

Anexo III – Curva de Referência

Anexo IV – Seções Restituição

Anexo V – Mapas de Inundação

Anexo VI – Zona de Auto salvamento

Anexo VII – Risco Hidrodinâmico

Anexo VIII – Fluxograma de Acionamento

Anexo IX – Apresentação PAE

Anexo X – Formulários

Anexo XI – ART

ANEXO I – DADOS (SOMENTE DIGITAL)

ANEXO II – ÁREA RESGUARDADA E ACESSOS

ANEXO III – CURVA DE REFERÊNCIA

ANEXO IV – SEÇÕES RESTITUIÇÃO

ANEXO V – MAPAS DE INUNDAÇÃO

ANEXO VI – ZONA DE AUTO SALVAMENTO

ANEXO VII – RISCO HIDRODINÂMICO

ANEXO VIII – FLUXOGRAMA DE ACIONAMENTO

ANEXO IX – APRESENTAÇÃO PAE

ANEXO X – FORMULÁRIOS

ANEXO XI – ART