



Statkraft

PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIAS PCH SANTA LAURA



PROSENGE
projetos e engenharia

Patricia Becker

Diretor Presidente:

Fernando De Lapuerta Montoya

Statkraft Energias Renováveis S/A

Responsável Segurança Barragem:

Vito Mandiolovich

Statkraft Energias Renováveis S/A

Responsável elaboração PAE:

Patrícia Becker

Eng. Civil - CREA SC 044.186-9

SLA-BA-3C-PAE-0001-03 – VOLUME I

FEVEREIRO/2019

1	INTRODUÇÃO	7
2	HISTÓRICO	7
2.1	Objetivo	7
2.2	Organização do Relatório	8
3	INFORMAÇÕES GERAIS DA BARRAGEM.....	10
3.1	Localização e Acesso	10
3.2	Estruturas da Usina	11
3.2.1	Barragem.....	11
3.2.2	Vertedouro.....	11
3.2.3	Desvio do rio.....	12
3.2.4	Circuito Hidráulico de Adução e Geração	12
3.2.5	Casa de Força e Canal de Fuga	13
3.3	Níveis Operacionais e Ficha Técnica.....	13
4	DETECÇÃO, AVALIAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA	23
4.1	Avaliação do Risco	23
4.1.1	Risco Hidrológico.....	23
4.1.2	Risco de Colapso Estrutural.....	24
4.2	Identificação das Emergências Potenciais	28
4.2.1	Classificação das Situações	29
5	ESTUDO DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM	30
5.1	Metodologia	30
5.1.1	Geografia da Região e Geometria do Rio	30
5.1.2	Tipo e Geometria da Barragem.....	30
5.1.3	Causas de Rompimento.....	31
5.1.4	Formação da Brecha	33
5.1.5	Trecho do Cálculo.....	36
5.1.6	Modelagem Matemática.....	37
5.1.7	Identificação das áreas atingidas	38
5.1.8	Apresentação dos valores de altura ao longo do tempo.....	38

5.1.9	Comparativo de altura x velocidade	38
5.2	Dados de entrada utilizados.....	41
5.2.1	Trecho da análise	41
5.2.2	Geografia da região e geometria do rio.....	41
5.2.3	Geometria das barragens	43
5.2.4	Definição do Hidrograma de Cheias.....	43
5.2.5	Calibração do modelo matemático.....	57
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
5.4.3	Resultados Básicos Simulação 3.....	62
5.5	Altura Máxima da Onda	65
5.6	Limite Físico a Jusante da PCH Santa Laura.....	75
5.7	Relação Nível de água x Tempo das Seções de Interesse	75
5.7.1	SL-162 – Propriedades	76
5.7.2	SL-157 – Casa de Força – PCH Santa Laura	77
5.7.3	SL-126 – Propriedades	78
5.7.4	SL-121 – Barragem PCH Passo Ferraz	79
5.7.5	SL-117 – Casa de Força Passo Ferraz.....	80
5.7.6	SL-108/107/106 – Propriedades e Ponte	82
5.7.7	SL-103 – Barragem Salto Passo Velho.....	83
5.7.8	SL-85/84 – Propriedades	84
5.7.9	SL-55 – Propriedades	85
5.7.10	SL-50 – Propriedades	86
5.7.11	SL-8 – Barragem Salto Voltão.....	87
5.7.12	Resumo Geral das Seções de Interesse	88
6	AGÊNCIAS E ENTIDADES ENVOLVIDAS	90

6.1	Agentes Internos.....	90
6.2	Agentes Externos.....	90
6.2.1	Outros Órgãos	93
6.2.2	Usinas de Jusante	93
7	CARACTERIZAÇÃO DOS NÍVEIS DE SEGURANÇA E RISCO DE RUPTURA.....	95
7.1	Condição Hidrológica	95
7.2	Condição Estrutural	95
7.2.1	Monitoramento das Estruturas	95
7.2.2	Revisão Periódica de Segurança.....	97
7.2.3	Tramitação das Informações.....	97
8	RESPONSABILIDADES DE TODOS OS AGENTES ENVOLVIDOS.....	102
8.1	Agente Interno – SANTA LAURA S.A.	102
8.2	Agentes Externos.....	103
8.3	Atribuições Conjuntas entre a Usina e Agentes Externos	105
9	PROGRAMA DE AÇÕES PREVENTIVAS, TÃO LOGO IDENTIFICADAS SITUAÇÕES EMERGÊNCIAIS.....	106
9.1	Situação normal (Azul).....	106
9.2	Situação atenção (Verde)	107
9.3	Situação de alerta (Amarelo)	107
9.4	Situação de emergência 1 (Rosa).....	Erro! Indicador não definido.
9.5	Situação de emergência 2 (Vermelha)	108
10	ACESSOS, MAPAS DE ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES POTENCIAIS	108
10.1	Acessos	109
10.2	Propriedades Atingidas	109
10.3	Zona de Autossalvamento – ZAS.....	112
11	FLUXO DE INFORMAÇÃO E ACIONAMENTO	113
11.1	Meios de Comunicação.....	113
11.2	Acionamento em Caso de Emergências	113
11.3	Plano de Segurança e Contingências	116
12	FORMULÁRIOS DE DECLARAÇÃO DE INÍCIO DA EMERGÊNCIA, DE DECLARAÇÃO DE ENCERRAMENTO DA EMERGÊNCIA E DE MENSAGEM DE NOTIFICAÇÃO.....	117

13	RELAÇÃO DAS ENTIDADES PÚBLICAS E PRIVADAS QUE RECEBERAM CÓPIA DO PAE COM OS RESPECTIVOS PROTOCOLOS DE RECEBIMENTO	120
14	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	121
15	EQUIPE TÉCNICA	122
16	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	123
17	ANEXOS	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Imagem com a localização da PCH Santa Laura	10
Figura 2 – Aproveitamentos hidrelétricos existentes e inventariados no rio Chapecozinho – perfil	11
Figura 3 – Curva de Descarga – Vertedouro	12
Figura 4 – Foto das estruturas civis do Barramento– PCH Santa Laura	16
Figura 5 – Vista Geral Tomada d’água– PCH Santa Laura	17
Figura 6 – Vista Geral Jusante– PCH Santa Laura.....	18
Figura 7 – Arranjo Geral	19
Figura 8 – Barragem – Planta Geral.....	20
Figura 9 – Barragem – Seções.....	21
Figura 10 – Casa de Força – Seção.....	22
Figura 11 – Vista Geral do Barramento	28
Figura 12 – Formação de brecha por galgamento	31
Figura 13 – Formação da brecha por infiltração	32
Figura 14 – Brechas resultantes de falhas nas fundações	33
Figura 15 – Tamanhos e tempo para formação da brecha	34
Figura 16 – Tempo de formação da brecha	35
Figura 17 – Nível de perigo relacionado a residências	39
Figura 18 – Nível de perigo relacionado a veículos de passageiros.....	40
Figura 19 – Nível de perigo relacionado a adultos.....	40
Figura 20 – Nível de perigo relacionado a crianças	40
Figura 21 - Seções lançadas no Hec-Ras.....	58
Figura 22 - Perfil do Rio Chapecozinho com Barramentos	59
Figura 23 – Dados do Barramento enrocamento Santa Laura – Hec-Ras	60
Figura 24 - Dados do Barramento Passo Ferraz – Hec-Ras	64
Figura 25 - Dados do Barramento Salto Voltão – Hec-Ras	64
Figura 26 - Legenda dos Cotagramas.....	76
Figura 27 – Localização propriedades - SL-162	77
Figura 28 - Cotograma - SL-162 – Propriedades	77
Figura 29 – Localização Casa de Força - SL-157.....	78
Figura 30 - Cotograma - SL-157 – Casa de Força Santa Laura	78
Figura 31 – Localização propriedades - SL-126	79
Figura 32 - Cotograma - SL-126 – Propriedades	79
Figura 33 – Localização Barragem Passo Ferraz - SL-121	80
Figura 34 - Cotograma - Barragem Passo Ferraz - SL-121	80
Figura 35 – Localização Casa de Força Passo Ferraz - SL-117	81
Figura 36 - Cotograma - SL-117 – Casa de Força Passo Ferraz	81
Figura 37 – Localização propriedades - SL-108/107/106	82
Figura 38 - Cotograma - SL-108/107/106 – Propriedades e Ponte	82
Figura 39 – Localização Barragem Salto Passo Velho - SL-103	83
Figura 40 - Cotograma - SL-103 Barragem Salto Passo Velho	83
Figura 41 – Localização propriedades - SL-85/84	84
Figura 42 - Cotograma - SL-85/84– Propriedades	84
Figura 43 – Localização propriedades - SL-55	85
Figura 44 - Cotograma - SL-55 – Propriedades	85
Figura 45 – Localização propriedades - SL-50	86
Figura 46 - Cotograma - SL-50 – Propriedades	86
Figura 47 – Localização Barragem Salto Voltão - SL-8	87
Figura 48 - Cotograma - SL-8 – Barragem Salto Voltão	87
Figura 49 – Níveis de Segurança e Risco de Ruptura	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Aproveitamentos Hidrelétricos no rio Chapecozinho em operação, próximos a PCH Santa Laura	11
Tabela 2 – Risco de Ocorrência do evento de Projeto com Tempo de Retorno TR (%)	23
Tabela 3 – Resultado Análise de Estabilidade - Vertedouro - Projeto Executivo Engevix (8708/BP-3F-MC-0001-1)	24
Tabela 4 – Fontes da geometria do rio (Anexo I – Dados)	42
Tabela 5 – Fontes da geometria da Barragem (Anexo I - Dados)	43
Tabela 6 – Vazões Máximas Anuais obtidas da equipe de Operação.....	44
Tabela 7 – Vazões Máximas Mensais.....	44
Tabela 8 – Meses de Ocorrência das Máximas Cheias Anuais.....	46
Tabela 10 – Vazões Máximas para diversos Tempos de Recorrência (TR).....	47
Tabela 11 – Vazões Máximas Instantâneas para diferentes TR	47
Tabela 12 – 18 maiores cheias no local da PCH Santa Laura	48
Tabela 13 – Desenvolvimento das vazões ao longo do período do hidrograma	49
Tabela 14 – Distribuição adimensional de vazões	49
Tabela 15 – Hidrograma de Cheias PCH Santa Laura	51
Tabela 16 – Hidrogramas para PCH Santa Laura	61
Tabela 17 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Santa Laura sem rompimento da Barragem.....	61
Tabela 18 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Santa Laura com rompimento da Barragem.....	62
Tabela 19 – Dados dos níveis nos Barramentos com rompimento da Barragem Santa Laura e efeito de cascata	63
Tabela 20 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Santa Laura com rompimento da Barragem Santa Laura e efeito de cascata	65
Tabela 21 – Resultados Obtidos- natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Santa Laura.....	66
Tabela 22 - Localização das Seções de Interesse.....	75
Tabela 23 - Detalhe das simulações - SL-162 – Propriedades.....	77
Tabela 24 - Detalhe das simulações - SL-157 – Casa de Força Santa Laura.....	78
Tabela 25 - Detalhe das simulações - SL-126 – Propriedades.....	79
Tabela 26 - Detalhe das simulações - Barragem Passo Ferraz - SL-121.....	80
Tabela 27 - Detalhe das simulações - SL-117 – Casa de Força Passo Ferraz	81
Tabela 28 - Detalhe das simulações - SL-108/107/106 – Propriedades e Ponte	82
Tabela 29 - Detalhe das simulações - SL-103 Barragem Salto Passo Velho.....	83
Tabela 30 - Detalhe das simulações - SL-85/84– Propriedades.....	84
Tabela 31 - Detalhe das simulações - SL-55 – Propriedades.....	85
Tabela 32 - Detalhe das simulações - SL-50 – Propriedades.....	86
Tabela 33 - Detalhe das simulações - SL-8 – Barragem Salto Voltão.....	87
Tabela 34 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção	89
Tabela 35 - Órgãos Federais que possuem atribuições em casos de desastres	91
Tabela 36 - Órgãos do Estado do Santa Catarina que possuem atribuições em casos de desastres	92
Tabela 37 - Órgãos Municipais que possuem atribuições em casos de desastres	92
Tabela 38 – Níveis de Segurança e risco Ruptura.....	99
Tabela 39 – Níveis de Água e Tempo de chegada do pico da onda em cada seção inundada a Jusante da PCH Santa Laura	111
Tabela 40 - Características das infraestruturas/edificações localizadas na ZAS da barragem.....	112
Tabela 41 – Entidades que recebem Cópia PAE	120

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório contempla o Plano de Ação de Emergências da PCH Santa Laura, no rio Chapecozinho, pertencente à **STATKRAFT**, localizada no estado de Santa Catarina.

Visa atender a Política Nacional de Segurança de Barragens – Lei Federal nº 12.334/2010, a Resolução Normativa – ANEEL - Nº 696/2015 e os procedimentos internos da Statkraft (Statkraft Dam Safety Principals (doc 17-1185 / 17-1186).

O presente Plano de Ação de Emergências (PAE) possui o intuito de atender à Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010 e a Resolução Normativa nº 696 de 15 de dezembro de 2015, onde a barragem da PCH Santa Laura foi classificada como Barragem de categoria B, Categoria de Risco Baixo e Dano Potencial Alto.

Conforme a lei citada uma barragem com classificação de Dano Potencial Alto necessita de um Plano de Ação de Emergências – PAE. Para obtenção dos dados inicialmente foi realizada uma Inspeção Civil Regular, no dia 23/08/2018, 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 SLA-BA-3C-ISR-0001 – PCH Santa Laura.

2 HISTÓRICO

Em outubro de 2014 a empresa FLOW ENGENHARIA S/S LTDA, através do documento **1106-14-RT-0002-00**, 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 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 Santa Laura, verificou-se a necessidade de elaboração do Plano de Segurança da Barragem, pois a categoria de risco Baixo e dano potencial Alto resultou em uma barragem **Classe B**, e conseqüentemente se fez necessário a elaboração do Plano de Ação de Emergências (PAE), 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 do mesmo. 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 a 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 – Meios e recursos disponíveis para serem utilizados em situações de emergência em potencial
- Cap.13 – Formulários de declaração de início da emergência, de declaração de encerramento da emergência e de mensagem de notificação
- Cap.14 - Relação das entidades públicas e privadas que receberam cópia do PAE com os respectivos protocolos de recebimento
- Cap.15 - Conclusões e Recomendações
- Cap.16 – Equipe Técnica

- Cap.17 – Bibliografia
- Cap.18 – Anexos
- Anexo I – Dados (somente digital)
- Anexo II – Modelo (somente digital)
- Anexo III – Apresentação PAE
- Anexo IV – Manual de Segurança e Contingência
- Anexo V – Formulários
- Anexo VI – ART's

Volume II - Desenhos

Todos desenhos de acordo com Anexos:

- Anexo I – Área Resguardada e Acessos
- Anexo II – Seções Restituição
- Anexo III – Mapas de Inundação
- Anexo IV – Zona de Autossalvamento
- Anexo V – Fluxograma de Acionamento

3 INFORMAÇÕES GERAIS DA BARRAGEM

3.1 Localização e Acesso

A PCH Santa Laura está localizada nos municípios de Faxinal dos Guedes e Ouro Verde – SC, no rio Chapecozinho com potência instalada de 15,00 MW. As coordenadas do barramento são: 26° 30' S e 51° 30' W.

O aproveitamento hidrelétrico encontra-se na porção intermediária do rio Chapecozinho entre os níveis operacionais das PCH Celso Ramos e PCH Passo Ferraz, sendo que estes aproveitamentos se encontram materializados e em operação.

O acesso ao sítio da PCH Santa Laura é feito a partir da cidade de Faxinal dos Guedes por através de estrada vicinal sentido noroeste por 14 km.

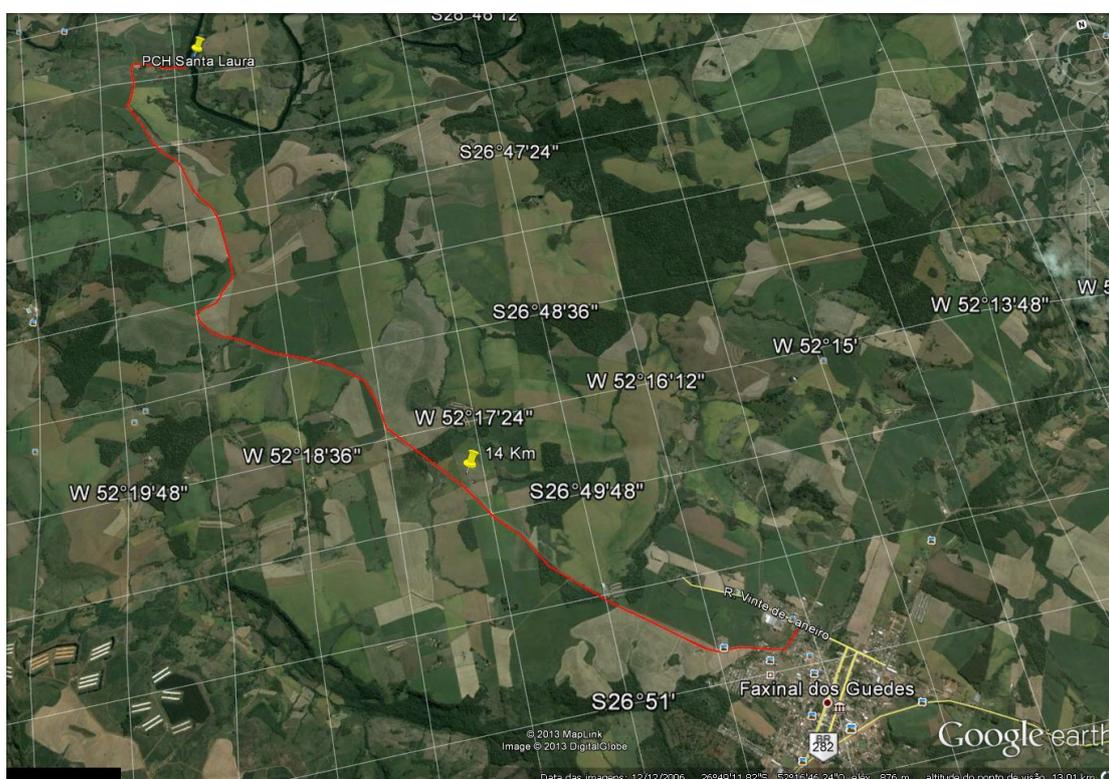


Figura 1 – Imagem com a localização da PCH Santa Laura

A Tabela 1 abaixo apresenta a localização relativa da PCH Santa Laura na divisão de quedas do rio Chapecozinho, representada através da Figura 2, que apresenta o perfil da partição de queda, respectivamente.

Tabela 1 – Aproveitamentos Hidrelétricos no rio Chapecozinho em operação, próximos a PCH Santa Laura

Posição em relação à PCH Santa Laura	Aproveitamento	Potência Instalada (MW)	Proprietário
Montante	Abrasa	1,46	Avelino Bragagnolo S.A. Indústria e Comércio
	CGH Faxinal dos Guedes	4,00	Hidrelétrica Rossi Ltda.
	PCH Celso Ramos	5,60	CELESC Geração S.A.
PCH Santa Laura		15,00	Santa Laura S.A.
Jusante	CGH Passo Ferraz	4,00	Passo Ferraz Energia S.A.
	CGH Salto do Passo Velho	1,80	Horizontes Energia S.A.

Fonte (Aneel, 2018)

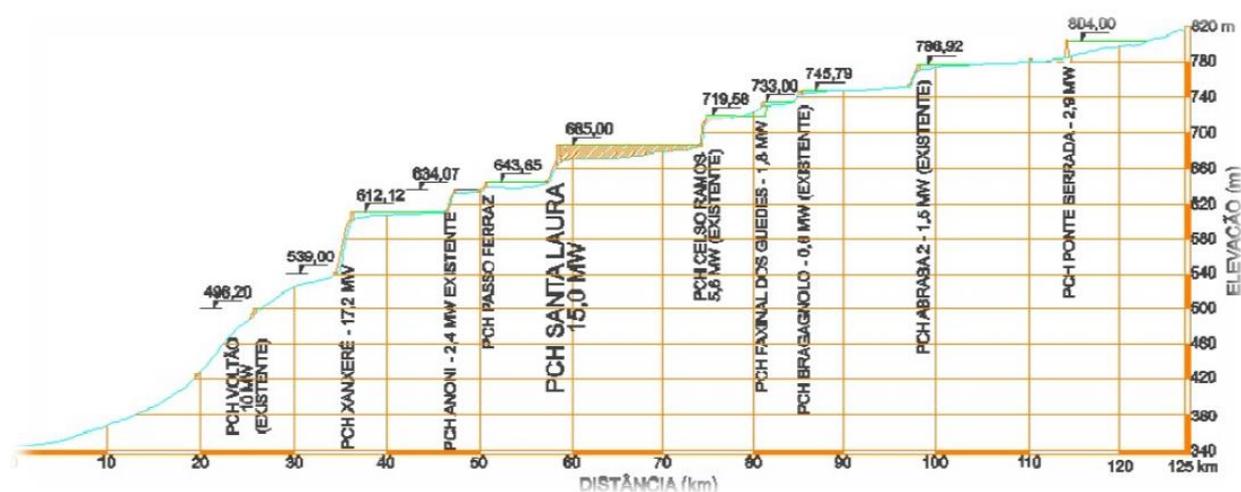


Figura 2 – Aproveitamentos hidrelétricos existentes e inventariados no rio Chapecozinho – perfil

Fonte: Engevix, 8708-PB-10-DE-0002-0

3.2 Estruturas da Usina

A Usina entrou em operação em 2007 e possui todos os documentos de projeto como construído. O arranjo geral da Usina é composto das estruturas detalhadas abaixo.

3.2.1 Barragem

A PCH Santa Laura tem a barragem em ambas às margens tipo enrocamento com núcleo de argila e apresenta a maior altura de 26,00 m.

Estas barragens possuem sua cota de proteção na El. 689,00 m, com taludes de montante vertical e de jusante em 1 V: 1,60 H.

3.2.2 Vertedouro

O vertedouro situa-se no leito do rio, a superfície de escoamento na região da crista e no paramento imediatamente a jusante apresenta-se com perfil tipo USBR (perfil *creager*) com 125 m de comprimento, com talude de montante com inclinação de 1 V: 1 H. O talude de jusante

possui escadas de inclinação 1 V: 0,80 H e calha em degraus. A capacidade de vazão do vertedouro é de 1.712 m³/s, correspondente à cheia milenar (NA máx max = 688,32 m) conforme a atualização da hidrologia na Revisão Periódica de Segurança (RPS), documento SLA-BA-3C-RPS-0001. A soleira da ogiva encontra-se na EL. 685,00 m com o núcleo em CCR e em concreto convencional nas suas faces externas e junto à sua fundação em rocha sã. Abaixo está apresentada a curva de descarga do vertedouro.

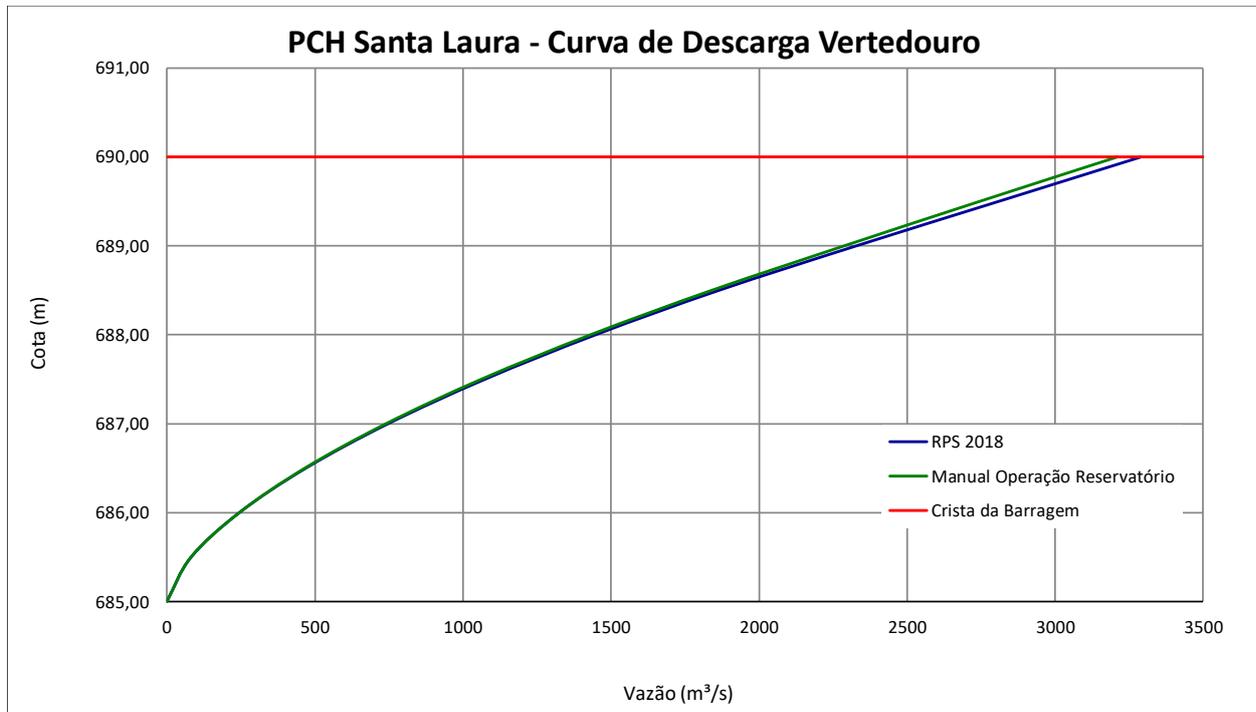


Figura 3 – Curva de Descarga – Vertedouro

3.2.3 Desvio do rio

Para a construção da barragem no leito do rio Chapecozinho, o desvio do rio foi concebido por meio de duas adufas de desvio na margem direita com seção 5,00 m largura por 5,00 m de altura. As adufas de desvio foram tamponadas após o desvio do rio na fase de construção da obra.

3.2.4 Circuito Hidráulico de Adução e Geração

O circuito hidráulico de adução e geração, localizado na margem esquerda, é composto de uma tomada d'água a montante do barramento, tipo gravidade, um túnel de adução de 6,00 m de largura por 6,20 m de altura e comprimento médio de 905 m em rocha e blindado em aço nos 92,68 m finais, chegando na casa de força que abriga duas turbinas Francis de 7,50 MW cada. Este circuito será detalhado abaixo.

3.2.4.1 Tomada de Água

A estrutura da Tomada d'Água foi projetada na margem esquerda acoplada ao túnel de adução. O bloco da estrutura é provido de um vão livre de 3,00 m x 3,80 m (l x h), dotado em sua entrada de grade, com dimensões aproximadas de 5,00 x 7,50 m (l x h). A grade tem a função de reter

detritos e/ ou objetos submersos, arrastados pelo rio Chapecozinho, que possam danificar a turbina. A plataforma de trabalho está na El. 690,00 m com 6,60 m de largura.

3.2.4.2 Túnel de Adução

Após a Tomada d'Água vem o túnel de adução com seção arco retangular de 6,0 m de largura por 6,2 m de altura, o túnel possui declividade de 0,5 % no início do túnel passando para 13 % no trecho intermediário e 0,5 % no trecho final. No trecho em que se inicia a blindagem o túnel é horizontal. Logo a montante da blindagem há uma transição de seção arco retângulo para a seção blindada com 3,80 m de diâmetro.

A montante da transição existe um rock-trap de 20,0 metros de comprimento, 2,0 metros de altura e 6,00 metros de largura para evitar carreamento de material para dentro das turbinas. O trecho de blindagem possui uma extensão de 42,90 metros.

3.2.4.3 Conduto Forçado

Nos 42,90 metros finais do túnel adutor, ocorre a transição e o trecho do conduto forçado com diâmetro de 3,80 m que após o trecho subterrâneo se bifurca em dois condutos com 2,70 m de diâmetro para duas unidades geradoras. Apresenta comprimento total até a casa de força de 92,68 m.

3.2.5 Casa de Força e Canal de Fuga

A casa de força da PCH Santa Laura é do tipo semiabrigada, e foi projetada para acomodar duas unidades geradoras do tipo Francis de eixo horizontal, com engolimento nominal unitária 23,04 m³/s. O corpo principal da casa de força tem 42,50 m de largura, 26,50 m de comprimento e altura de 21,05 m até fundação da sucção.

A cota de proteção da casa de força, dimensionada para suportar uma cheia de 1.000 anos de recorrência, encontra-se na El. 654,25 m. O canal de fuga tem uma largura de 20,80 m.

O nível de água normal no canal de fuga está na El. 644,25 m e o nível de água máximo maximorum de projeto encontra-se na El. 652,40 m.

3.3 Níveis Operacionais e Ficha Técnica

Os níveis da PCH Santa Laura são:

- NA Normal Montante = 685,00 m;
- NA Máximo Maximorum Montante (*) = 688,32 m (TR=1.000 anos);
- Cota Proteção Barramento = 690,00 m;
- NA Normal Jusante = 644,25 m;
- NA Máximo Maximorum Jusante (*) = 655,10 m (TR=1.000 anos);
- Cota de Proteção Casa de Força = 655,35 m.

(*) níveis obtidos na elaboração da revisão periódica, doc. SLA-BA-3C-RPS-001.

A ficha técnica da Usina está apresentada abaixo.



FICHA TECNICA



FOTO		ÓRGÃOS EXTRAVASORES - VERTEDOURO		
		Tipo:	Soleira Livre	
		Comprimento (m):	125,00	
		Capacidade (m ³ /s):	1.712,00 TR=1.000 anos	
		Elevação da Crista (m):	685,00	
		Fundação:	Basalto	
IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR		TOMADA D'ÁGUA		
Nome:	PCH Santa Laura	Tipo:	Gravidade	
Municípios:	Faxinal Guedes/Ouro Verde -SC	Comprimento (m):	9,50	
Proprietário:	Santa Laura S.A.	Comportas	Número: 1	
			Altura (m): 3,80	
			Largura (m): 3,00	
DATAS		ADUÇÃO		
Conclusão Barramento:	ago/07	Tipo:	Túnel	
Início Operação:	out/07	Comprimento (m):	905,00	
Manutenção Barragem:	-----	Altura (m):	6,20	
		Largura (m)	6,00	
		Fundação:	Riodacito	
BACIA HIDROGRÁFICA		CHAMINÉ		
Curso d'Água:	Rio Chapecózinho	Altura (m):	-----	
Bacia (ANEEL):	Uruguai - 7	Diâmetro (m):	-----	
Sub-Bacia (ANEEL):	Rio Chapecó - 73	Fundação	-----	
RESERVATÓRIO		CONDUTOS FORÇADO		
Área NA Normal - (km ²):	2,29	Unidades:	1 (Trecho 1) 2 (Bifurcação)	
Volume NA Normal (hm ³):	18,74	Diâmetro (m):	3,80 2,7	
Níveis de Água (m):	Máx. Max.:	688,32	Comprimento Total (m):	92,68
	Normal:	685,00		
	Minimo:	683,00		
BARRAGEM		CASA DE FORÇA		
Tipo:	CCR e Enrocamento c/núcleo	Tipo:	Semiabrigada	
Comprimento (m):	245,00	Potência Instalada (MW)	15,00	
Altura Máxima (m):	26,00	Energia Assegurada (MW)	7,99	
Largura Crista (m):	8,00	Unidades Geradoras:	2 Francis Horizontal	
Elevação da Crista (m):	690,00	Vazão Máxima (m ³ /s):	46,08	
Fundação:	Basalto	Queda Bruta (m)	40,75	
			Máx. Max.: 655,10	
		Nível de água jusante (m):	Normal: 644,25	
			Minimo: 643,65	
CASCATA		TURBINA		
Usina Montante:	PCH Celso Ramos - Operação	Potência Nominal [MW]	7,50 Unitária	
Usina Jusante:	PCH Passo Ferraz - Operação	Vazão Nominal [m ³ /s]	23,04 Unitária	
		GERADOR		
		Potência Nominal [MW]	8,50 Unitária	
		Tensão Nominal [kV]	13,80	
		Rotação Nominal [rpm]	327,00	
		Fator de Potência	0,90	

As figuras abaixo apresentam arranjo geral e estruturas civis da Usina, bem como alguns desenhos das estruturas civis. Todos documentos da Usina estão apresentados no Anexo I do Plano de Segurança da Barragem - SLA-BA-3C-PSB-0001.

As figuras abaixo apresentam arranjo geral e estruturas civis da Usina.



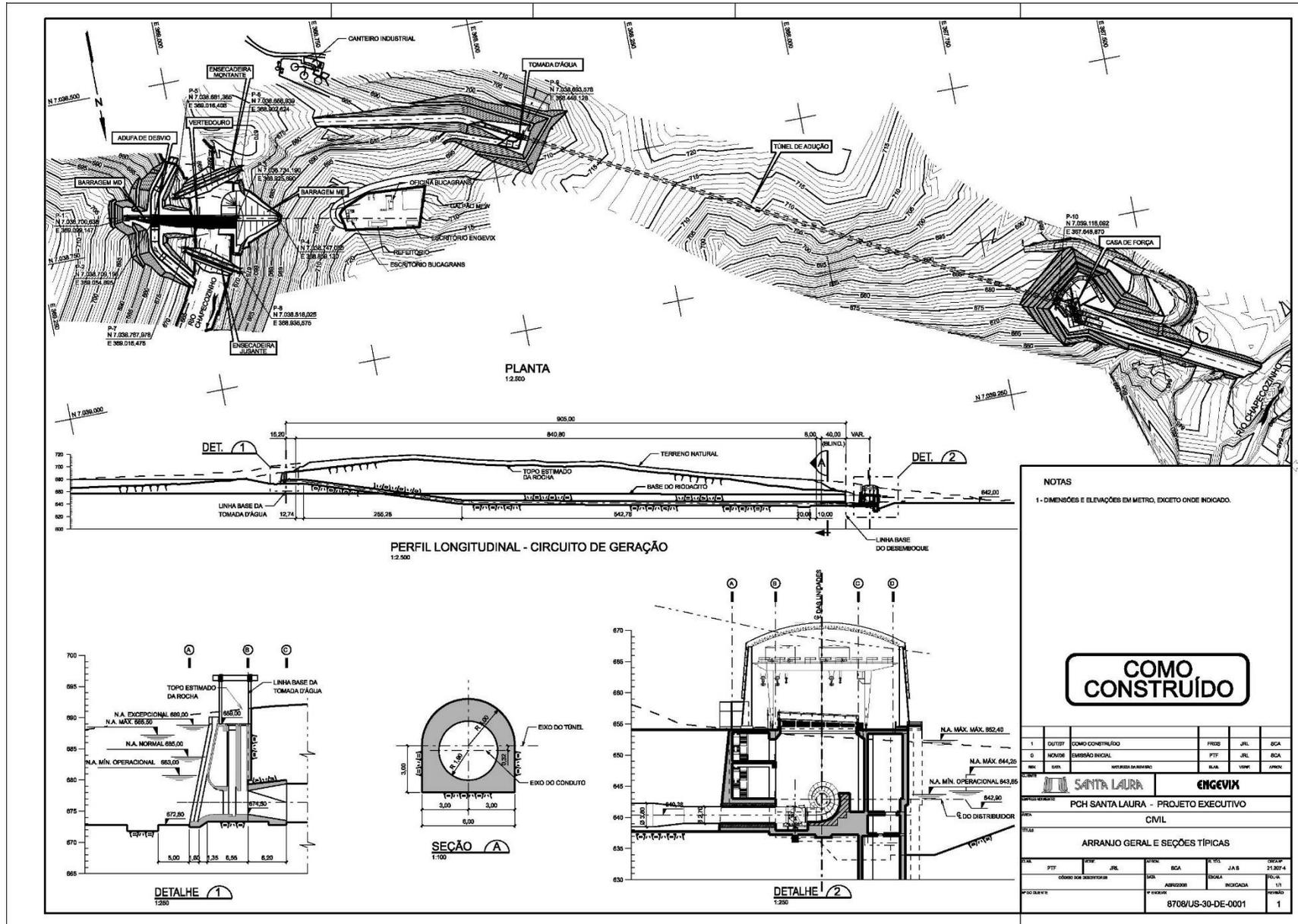
Figura 4 – Foto das estruturas civis do Barramento– PCH Santa Laura



Figura 5 – Vista Geral Tomada d'água– PCH Santa Laura



Figura 6 – Vista Geral Jusante– PCH Santa Laura



NOTAS

1 - DIMENSÕES E ELEVÇÕES EM METRO, EXCETO ONDE INDICADO.

COMO CONSTRUÍDO

1	OUTREY	COMO CONSTRUÍDO	PROJ.	JRL.	SCA
2	NOVOTIS	EMISSÃO INICIAL	PTT	JRL	SCA
3	WSP	WSP	WSP	WSP	WSP
PCH SANTA LAURA - PROJETO EXECUTIVO					
CIVIL					
ARRANJO GERAL E SEÇÕES TÍPICAS					
DATA	PTT	PROJ.	SCA	REV.	DESP.
					21.07.04
CÓDIGO DO PROJETO		DATA	ABR/2008	ESCALA	REC. 1:1
PROJ. EXECUTIVO		PROJ. EXECUTIVO	PROJ. EXECUTIVO	PROJ. EXECUTIVO	PROJ. EXECUTIVO
PROJ. EXECUTIVO					8708/US-30-DE-0001
					1

Figura 7 – Arranjo Geral

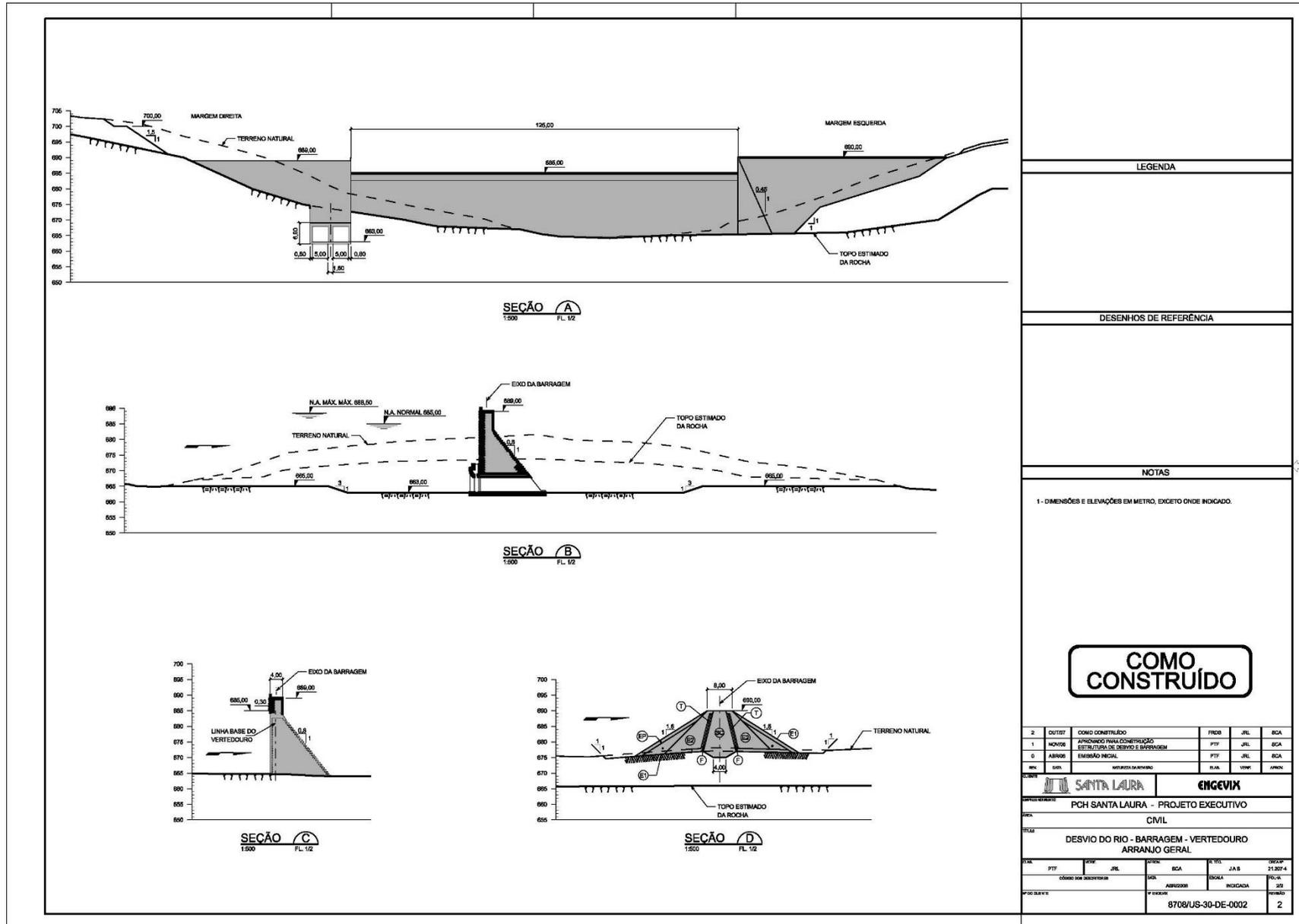


Figura 9 – Barragem – Seções

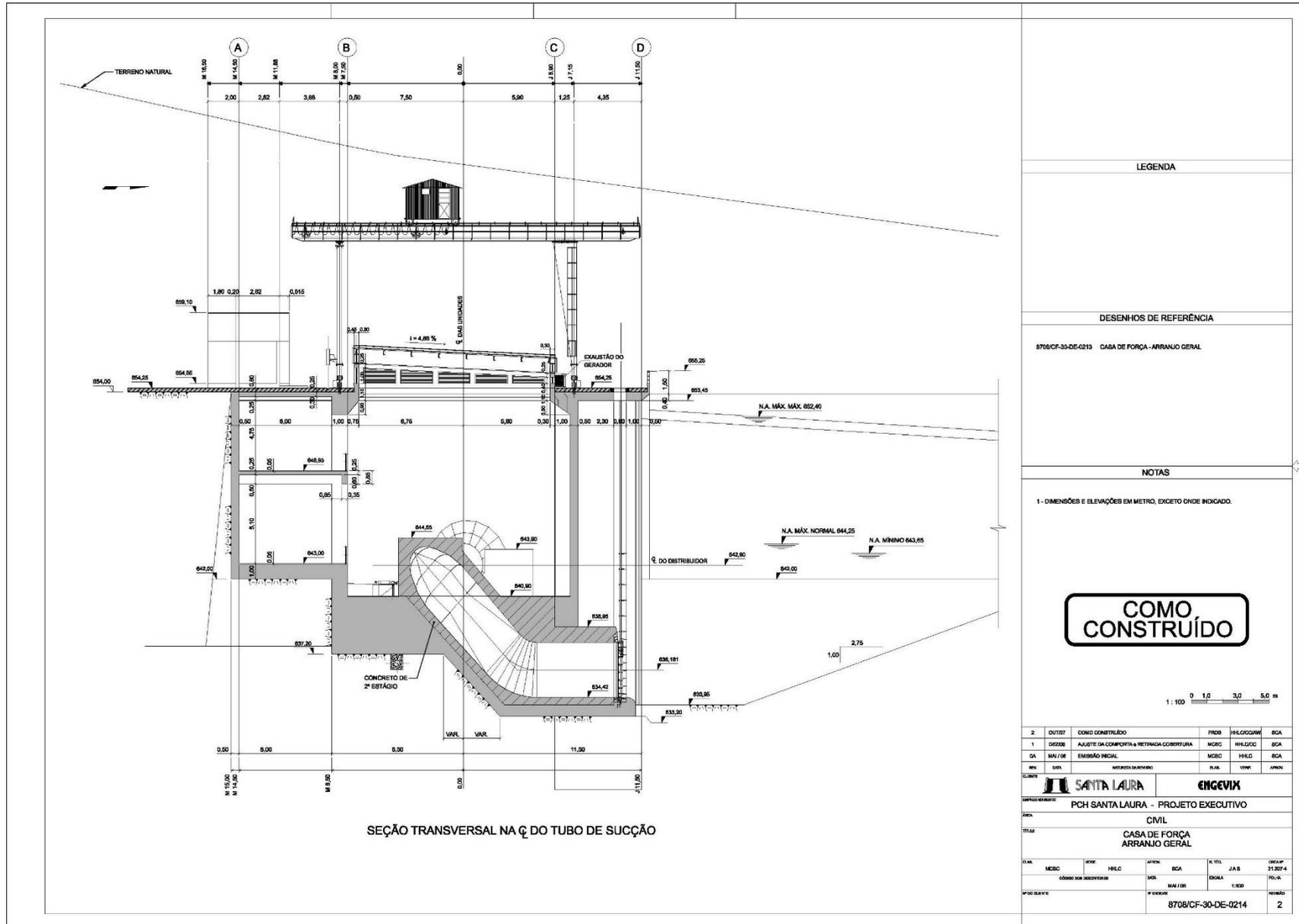


Figura 10 – Casa de Força – Seção

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 Santa Laura são de natureza hidrológica e estrutural, conforme descrito a seguir.

4.1.1 Risco Hidrológico

A bacia hidrográfica da Pequena Central Hidrelétrica Santa Laura tem área de drenagem total de 1.130 Km². O reservatório possui um volume total de 18,74 hm³ e uma extensão de 12,80 km formado por um barramento de concreto e fechamento nas obreiras por barragens de enrocamento com núcleo em argila com altura máxima de 26,00 m na região da adufa de desvio. 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 Santa Laura pode ser analisado pela Tabela a seguir:

Tabela 2 – 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

4.1.2.1 Barragem de Concreto - Vertedouro

O Vertedouro da PCH Santa Laura está construído de acordo com os critérios da Eletrobrás e as condições de estabilidade estão com os fatores segurança superiores aos preconizados nas normas. Este situa-se no leito do rio, a superfície de escoamento na região da crista e no paramento imediatamente a jusante apresenta perfil tipo USBR (perfil *creager*) com 125 m de comprimento, com paramento de montante vertical e calha do vertedouro em degraus com inclinação 1 V: 0,80 H. A capacidade de vazão do vertedouro é de 1.712,00 m³/s, correspondente à cheia milenar de acordo com revisão periódica de segurança – SLA-BA-3C-RPS-0001. A soleira da ogiva encontra-se na EL. 685,00 m com o núcleo em CCR e em concreto convencional nas suas faces externas e junto à sua fundação em rocha sã.

A memória de cálculo 8708/BP-3F-MC-0001-1 (Análise Da Estabilidade – Vertedouro e Barragem – Memória de Cálculo), elaborada pela responsável pelo projeto executivo Engevix e verificada no estudo de revisão periódica, obteve os seguintes coeficientes de segurança para estabilidade da seção do vertedouro conforme **Erro! Autoreferência de indicador não válida..**

Tabela 3 – Resultado Análise de Estabilidade - Vertedouro - Projeto Executivo Engevix (8708/BP-3F-MC-0001-1)

Fatores de Segurança							Tensão Fundação		
Caso de Carregamento		FSF	FSF Limite	FSD	FSD Limite	FST	FST Limite	σ1	σ2
Sigla	Descrição							(kN/m ²)	(kN/m ²)
CCN	Caso de Carregamento Normal – NA Mont 685,00 m e NAJust fundação	3,08	>1,50	2,26	>1,0	1,78	>1,50	105,4	270,3
CCE1	Caso de Carregamento Excepcional – TR=1.000 anos – NA máx max 688,50 m e NA jus 673,79 m	2,01	>1,10	2,63		1,20	>1,20	-134,4 (*)	454,5
CCE2	Caso de Carregamento Excepcional 1 - Níveis Normais e Esforços Sísmicos	2,99		3,13		1,58	31,5	327,4	
CCL	Caso de Carregamento Excepcional – TR=10.000 anos – NA máx max 689,00 m e NA Jus 674,66 m	1,97		2,53		1,15	>1,10	-170,4 (**)	491,6

(*) Verificado abertura de junta na memória de cálculo e ficou dentro do limite máximo de 1/3 da base.

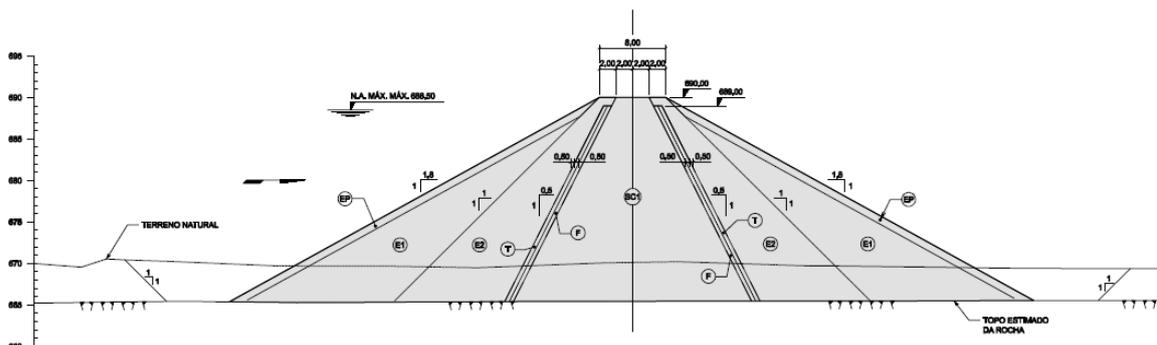
(**) Verificado abertura de junta na memória de cálculo e ficou dentro do limite máximo de 1/3 da base. Justificado: “A condição de carregamento limite para o tombamento está OK, com tensões baixas na fundação e resultante dentro da base. Convém ressaltar que esta é a junta teórica máxima de tração e que as tensões de tração concreto/rocha, a montante (da ordem de 1,70kgf/cm²), provavelmente não seriam suficientes para abrir a junta de tração.”

4.1.2.2 Barragem de Enrocamento

As barragens de enrocamento apresentam condições de estabilidade confortáveis. A geometria adotada face aos parâmetros geotécnicos dos materiais constituintes da barragem, resultam em fatores de segurança adequados aos Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas preconizados pelo Manual Eletrobrás 2003. As premissas de cálculo de projeto podem ser consultadas no documento nº8708/BP-3G-MC-0101 - barragem margem esquerda - análise da estabilidade.

Nos itens seguintes são apresentadas as premissas de cálculo adotadas em projeto, com base no documento de nº8708/BP-3G-MC-0101 - barragem margem esquerda - análise da estabilidade. Embora tal documento faça referência apenas à barragem da margem esquerda, este também corrobora com os critérios adotados na barragem da margem direita, uma vez que os materiais e a geometria adotados em ambas as margens são iguais e a condições de fundação semelhantes. Além disso, a barragem da margem esquerda apresenta maior altura em relação à direita. Segue abaixo fatores de segurança adotados e calculados.

4.1.2.2.1 Seção típica da barragem



4.1.2.2.2 Metodologia de cálculo adotada

As Análises de Estabilidade foram realizadas com auxílio do software SLOPE/W, programa que calcula através dos principais métodos baseados na teoria do equilíbrio limite o coeficiente de segurança dos taludes analisados.

Os fatores determinantes na escolha dos métodos de análises foram:

- Propriedade dos materiais que integram a estrutura analisada;
- Inclinação do talude;
- Presença de água no talude analisado;
- Consideração da tensão de cisalhamento entre fatias.

4.1.2.2.3 Fatores de segurança adotados

- FS mín = 1,30 para análises de final de construção (talude de montante e jusante);

- FS mín = 1,50 para análise a longo prazo (N.A. normal) da Barragem do talude de jusante, supondo a freática já estabelecida;
- FS mín = 1,30 para análise de carregamento excepcional (N.A. máximo maximorum) da Barragem do talude de jusante, supondo a freática já estabelecida; $ru = 0,20$ para solos compactados, nas análises de final de construção;

4.1.2.2.4 Parâmetros geotécnicos adotados

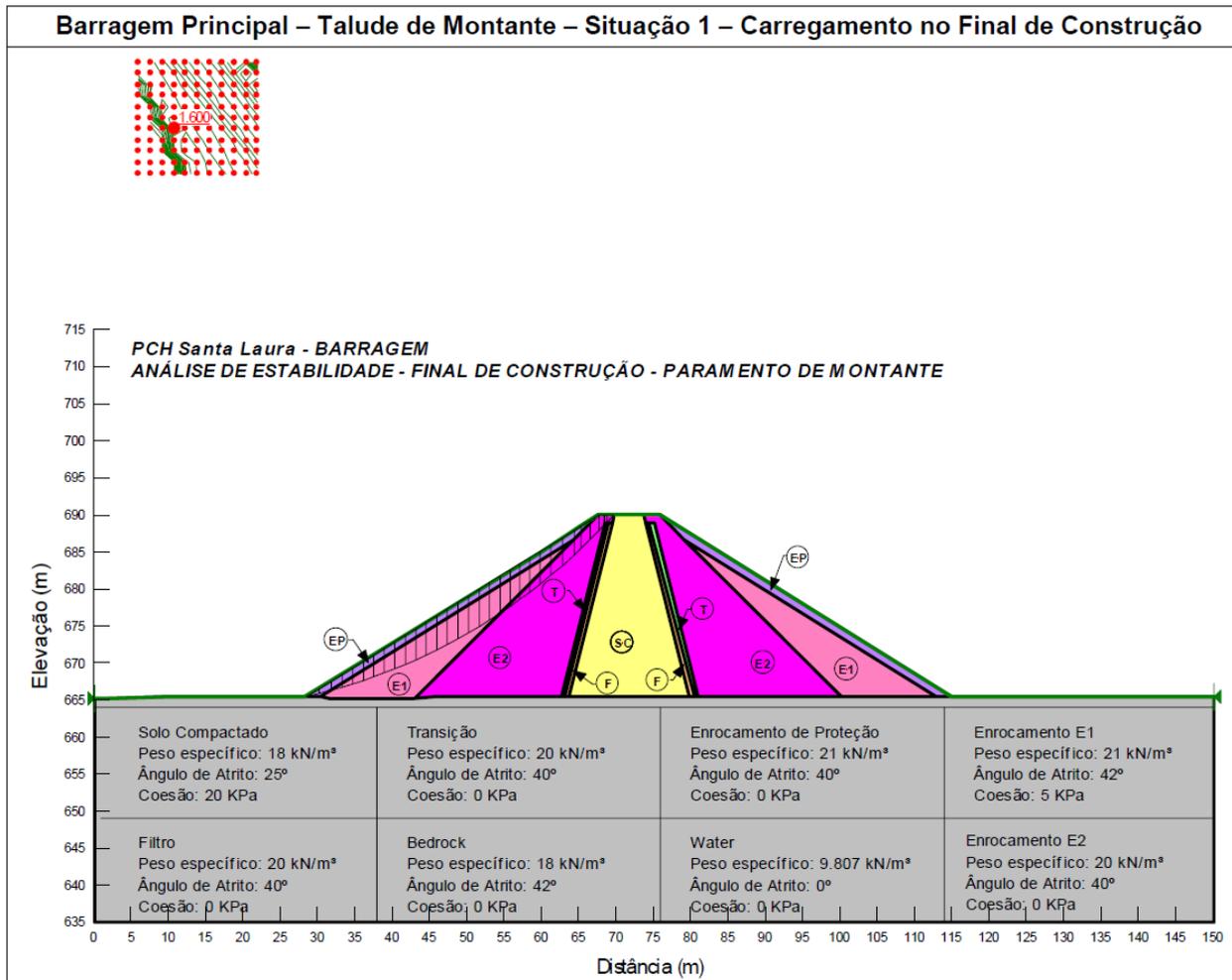
Material	γ (KN/m ³)	ϕ (°)	c (KPa)	kH (cm/s)	kV (cm/s)
Solo Compactado	18,0	20	25	10^{-8}	10^{-8}
Transição	20,0	40	0	10^{-3}	10^{-3}
Enrocamento de Proteção	21,0	40	0	10^{-1}	10^{-1}
Enrocamento E1	21,0	42	5	10^{-1}	10^{-1}
Enrocamento E2	21,0	40	0	10^{-1}	10^{-1}
Filtro	20,0	40	0	10^{-2}	10^{-2}

Material	Classificação	Método de Lançamento / Compactação
Solo Compactado	Solo Residual de Basalto / Saprolito	Compactado com rolo compactador em camadas de 0,25 m
Transição	Transição Processada de Rocha Basáltica ou Brecha	Compactado com rolo compactador em camadas de 0,50 m
Enrocamento E1	Enrocamento de Proteção Constituído de Rocha Basáltica ou Brecha	Compactado com rolo compactador em camadas de 1,00 m
Enrocamento E2	Enrocamento de Proteção Constituído de Rocha Basáltica ou Brecha	Compactado com rolo compactador em camadas de 1,00 m
Filtro	Filtro de Areia Processada	Compactado com rolo compactador em camadas de 0,50 m

4.1.2.2.5 Fatores de segurança calculados

Estrutura	Paramento	Situação	Carregamento Analisado	Fator de Segurança		
				Spencer	Bishop	Jambu
Barragem	Montante	1	Final de Construção	1,600	1,600	1,542
	Jusante	1	Final de Construção	1,600	1,600	1,547
	Jusante	2	NA Máx. Maximorum	1,399	1,472	1,377
	Jusante	3	NA Máx. Normal	1,594	1,586	1,520

4.1.2.2.6 Análise de estabilidade condicionante



4.1.2.3 Conclusão

Além disso, como prevenção de risco de colapso estrutural, o Plano de Segurança da Barragem (SLA-BA-3C-PSB-0001), 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 os relatos das equipes de campo não ocorrem problemas estruturais no barramento da PCH Santa Laura, sendo assim o risco de colapso estrutural é praticamente nulo. Além de que, não existe formulação determinista para o cálculo do risco estrutural.



Figura 11 – Vista Geral do Barramento

4.2 Identificação das Emergências Potenciais

Para identificação das emergências foram determinados níveis de água ao longo do rio a jusante da PCH Santa Laura 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 pratica 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, e com estes identificados e classificados 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 100 anos de recorrência.

b) Situação Enchentes – Ruptura com enchentes

Correspondem à condição de enchente extrema de escoamento do hidrograma de cheias no tempo de retorno de 1.000 anos de recorrência, 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, conforme o artigo 9º, parágrafo 2º, item VI da Resolução Normativa Nº 696 da ANEEL a convenção a ser utilizada é:

- **Normal** - Não ocorrem anomalias ou as anomalias que existem não comprometem a segurança da barragem, mas devem ser monitoradas;
- **Atenção** - Anomalias não comprometem estrutura, mas exigem controle ou reparo;
- **Alerta** - Anomalia representa risco à segurança da barragem, exige providências para manutenção das condições de segurança;
- **Emergência** - Anomalia representa risco de ruptura iminente, exigindo providências para prevenção e mitigação de danos humanos e materiais a jusante.

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 4 (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 Santa Laura 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 forma a identificar como se dá 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.

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 e 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 considerando que quanto maior o volume para um mesmo desnível a brecha tende a ser maior.

5.1.3 Causas de Rompimento

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).

5.1.3.1 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, ocorrem problemas que impedem o dispositivo 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 12 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.

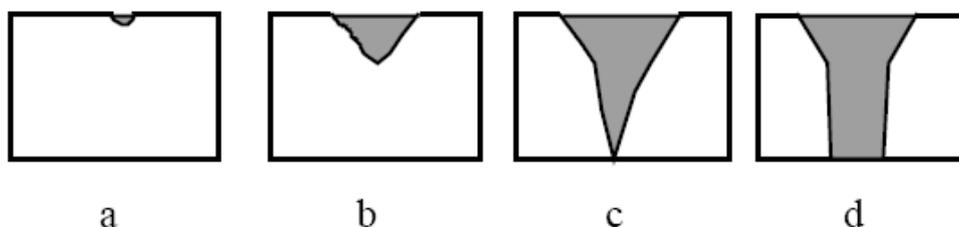


Figura 12 – Formação de brecha por galgamento

Fonte: COLLISCHONN, 1997, p. 32

5.1.3.2 Infiltração

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.

A Figura 13 mostra a formação de uma brecha por entubamento ou infiltração, típica de barragens de terra, que também ocorre conforme a sequência abaixo.

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

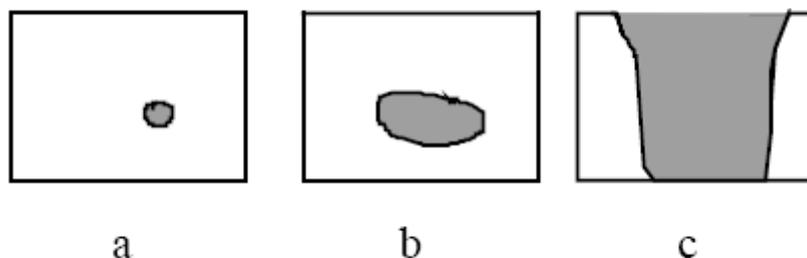


Figura 13 – Formação da brecha por infiltração

Fonte: COLLISCHONN, 1997, p. 32

5.1.3.3 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 14 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).

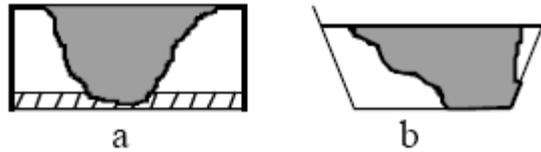


Figura 14 – Brechas resultantes de falhas nas fundações

Fonte: COLLISCHONN, 1997, p. 33

5.1.3.4 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.

5.1.3.5 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%.

5.1.4 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 Using HEC-RAS for Dam Break Studies (Agosto de 2014), indica de acordo com referências internacionais valores para formação da brecha, tabela abaixo.

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 15 – Tamanhos e tempo para formação da brecha

Fonte: Using HEC-RAS for Dam Break Studies (agosto/2004)

5.1.4.1 Tamanho

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).

5.1.4.2 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, podendo ocorrer 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 16 observa-se a probabilidade de o tempo de ruptura da brecha ser menor que um dado valor constante.

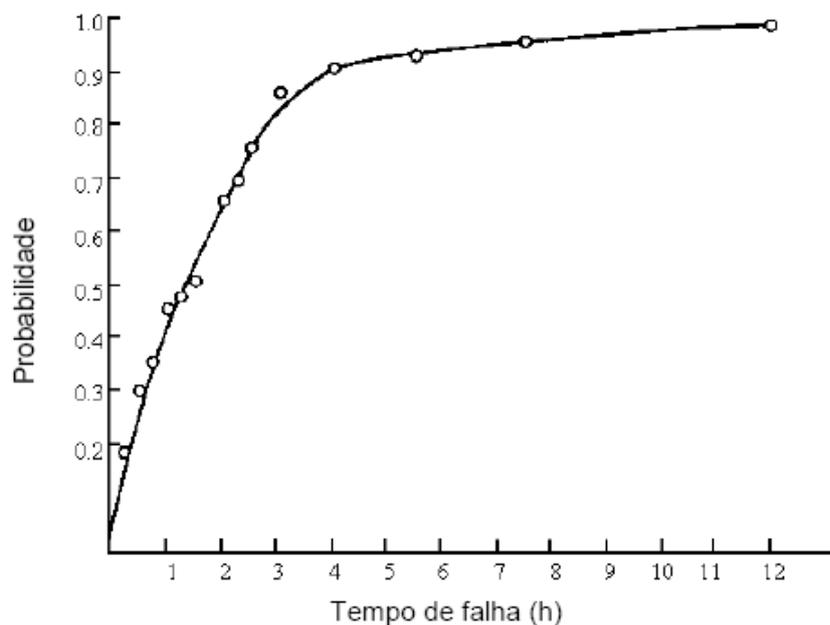


Figura 16 – Tempo de formação da brecha

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 15 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.

5.1.5 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 (hm ³)	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

5.1.6 Modelagem Matemática

A simulação do rompimento utiliza o modelo HEC-HAS 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 representando 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 dos 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;

S_0 = declividade do leito;

S_f = 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 onde se necessita simular o fluxo das águas e não permanente, para casos de simulações de rompimentos, e apresenta o resultado em formas 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.

5.1.7 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.

5.1.8 Apresentação dos valores de altura ao longo do tempo

Os valores de altura da onda ao longo do tempo são utilizados para a identificação da profundidade 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 a ser afastada 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 Emergências.

5.1.9 Comparativo de altura x velocidade

O comparativo entre a velocidade e a altura da onda define formas de classificar as áreas de perigo entre baixo, alto e de julgamento (UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR,

1988). É realizado com base em uma tabela que apresenta os resultados de acordo com intervalos de tempo.

Caso o cruzamento entre velocidade e altura se situe na área de perigo baixo o número de vidas em risco é assumido como zero. Caso este cruzamento se situe em área de perigo alto é assumido que existem vidas em risco.

Entre as zonas de perigo alto e baixo existe a zona de julgamento onde, devido ao grande número de variáveis incluídas na inundação é impossível determinar se existe risco de perda de vidas, desta forma é executado um levantamento baseado na engenharia através da análise dos resultados obtidos nas simulações.

No levantamento baseado na engenharia são avaliadas as condições físicas da região, das construções ou qualquer característica que influencie no risco, por exemplo, um determinado acampamento, monumento ou atração pode receber um número muito pequeno de visitas durante o ano (ex. 100 pessoas por hora). Se o cruzamento entre velocidade e altura se situar na zona de julgamento, o risco de perda de vidas é considerado como zero em instalações com estas características.

O *United States Department of the Interior* estabelece gráficos para determinação das zonas de perigo. São apresentados aqui os gráficos de uso neste trabalho.

A Figura 17 apresenta o nível de perigo relacionado a residências.

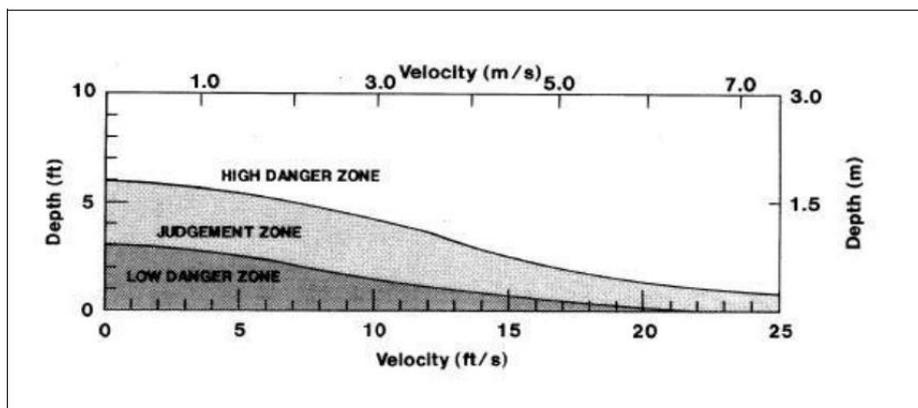


Figura 17 – Nível de perigo relacionado a residências

Fonte: UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 1988, pág. 25

A Figura 18 apresenta o nível de perigo relacionado a veículos de passageiros.

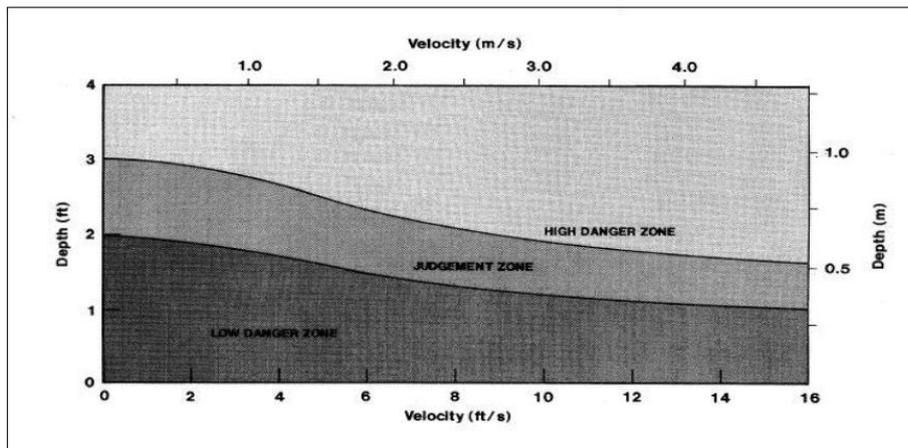


Figura 18 – Nível de perigo relacionado a veículos de passageiros

Fonte: UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 1988, pág. 29

A Figura 19 apresenta o nível de perigo relacionado a pessoas adultas.

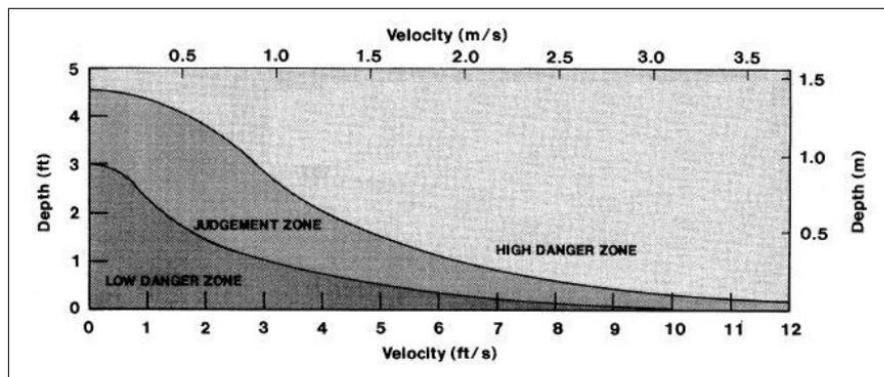


Figura 19 – Nível de perigo relacionado a adultos

Fonte: UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 1988, pág. 31

A Figura 20 apresenta o nível de perigo relacionado a crianças.

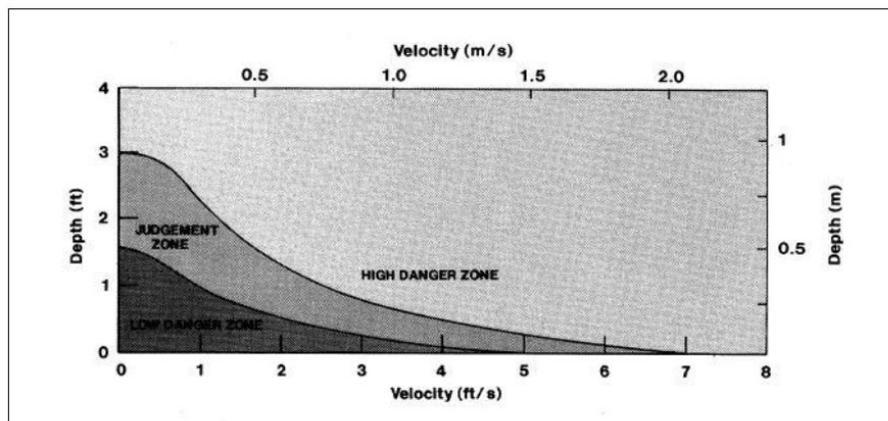


Figura 20 – Nível de perigo relacionado a crianças

Fonte: UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR, 1988, pág. 32

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 5.1.5, 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 uma grande percentagem das vítimas mortais ocorre nos primeiros 25 km, sendo que esta distância é ainda menor para as pequenas barragens.

Para o estudo na PCH Santa Laura como o volume do reservatório está entre 3 – 50 hm³ a extensão do trecho de modelagem deverá ser no mínimo de 25 km, no caso foi adotado até última usina da cascata PCH Salto Voltão, cerca de 37 km a jusante da Barragem PCH Santa Laura.

Assim o trecho definido para o estudo foi de cerca de 50,44 km ao longo do eixo do rio Chapecozinho, incluindo o reservatório e 37,40 km a jusante do barramento, passando pela PCH Passo Ferraz, cidade de Bom Jesus, Barramento da PCH Salto Passo Velho e Barramento da PCH Salto Voltão atendendo todas as recomendações nacionais (ANEEL e ANA) e internacionais.

As características da Usina com barragem de média altura (26,00 m), volume do reservatório médio (18,74 hm³) e vale de jusante aberto dissipando a onda em menor tempo indicam que o critério e o trecho de análise se encontram e estão de acordo com a bibliografia.

5.2.2 Geografia da região e geometria do rio

Foram lançados no software 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 SLA-C-SER-003-00-18 – Seções Restituição – Folha 01 a 04 presente no Volume II apresenta a localização das seções transversais obtidas pela restituição.

5.2.2.1 Cartografia

A restituição utilizada foi em Sirgas 2000 (Anexo I – Dados), está dividida em 3 partes:

- Montante do Barramento – curvas de 5 em 5 m em sirgas;
- Região Jusante até PCH Salto do Passo Velho – curvas de 5 em 5 m do doc. 1106-14-RT-0002-0 – Plano de Ação de Emergências - Flow Engenharia - SAD 69, transformado em Sirgas 2000;
- Região Jusante da PCH Salto do Passo Velho até jusante do Barramento Salto Voltão – curvas de 10 em 10 m cartas da EPAGRI (Abelardo Luz, Xanxerê e Xaxim – Esc. 1:50.000).

A reprodução da topografia completa do trecho foi obtida de acordo com desenhos de restituição existentes acima, ajustadas com curvas do EPAGRI nos trechos sem informações com uso de plataforma de desenho digital CAD em Sirgas 2000, resultando em um arquivo com a topografia das margens do trecho do Rio Chapecozinho desde a montante do lago da PCH Santa Laura até a última usina da cascata, PCH Salto Voltão (Usina de jusante) em curvas equidistantes variáveis em cota conforme informado.

Tabela 4 – Fontes da geometria do rio (Anexo I – Dados)

Item	Nº Documentos	Elaboração	Descrição/Legenda
1	Curvas 5 em 5 m	Epagri	Curvas de nível com equidistância de 5 metros derivadas a partir dos modelos digitais do terreno fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
2	01 – PCH Santa Laura	Legtop	Áreas atingidas pelo reservatório da PCH Santa Laura
3	Montante-Geometria	Prosenge	Extração de curvas IBGE

5.2.2.2 Topografia

Os dados topográficos foram utilizados para calibração do fundo do rio no trecho estudado, variando o coeficiente de manning fundo do rio. Estes levantamentos topográficos foram obtidos em 2007, 2015 e 2018 conforme descrito abaixo:

- 2007 Existentes – 4 seções topobatimétricas na jusante da PCH Santa Laura;
- 2015 Existentes - 4 seções topobatimétricas a montante da PCH Santa Laura e 16 níveis de água;
- 2018 – 2 seções topobatimétricas juntamente com 2 níveis de água, cota da ponte a jusante da Barragem PCH Passo Ferras e mais 6 níveis de água.

Todos estes dados estão apresentados no Anexo I – Dados.

5.2.3 Geometria das barragens

5.2.3.1 Barragem Santa Laura

O barramento com altura máxima de 26,00 m no bloco da adufa de desvio tem comprimento total de 245,00 m. A barragem de concreto da margem direita tem comprimento de 28,20 m e a barragem de enrocamento com núcleo de argila também da margem direita tem comprimento de 15,00 m ambas com a cota de proteção na EL. 690,00 m. Já a barragem da margem esquerda tem comprimento de 76,80 m é do tipo enrocamento com núcleo de argila com cota de proteção na EL. 690,00. O vertedouro de soleira livre tem 125 m de comprimento e crista na El. 685,00 m. Para o lançamento de dados no software foram utilizadas as referências dos desenhos da Tabela a seguir:

Tabela 5 – Fontes da geometria da Barragem (Anexo I - Dados)

Item	Nº Documentos	Elaboração	Descrição/Legenda
1	8708-BP-3F-MC-0001-1	Engevix – Como Construído	Análise da Estabilidade – Vertedouro e Barragem
2	8708-BP-3G-DE-0103-FL1/2 -2		Barragem Margem Esquerda
3	8708-BP-3G-DE-0103-FL2/2 -2		Barragem Margem Esquerda
4	8708-BP-3G-DE-0104-1		Estruturas de Terra e Enrocamento – Materiais de Construção
5	8708-BP-3G-DE-0105-1		Barragem - Margem Direita - Aterro
6	8708-BP-3G-DE-0106-1		Barragem - Margem Direita - Aterro
7	8708-CF-30-DE-0211-2		Casa de Força – Arranjo Geral
8	8708-US-30-DE-0001-FL1/1-1		Arranjo Geral e Seções Típicas
9	8708-US-30-DE-0002-FL1/2-1		Desvio, Barragem e Vertedouro – Arranjo Geral
10	8708-US-30-DE-0002-FL2/2-1		Desvio, Barragem e Vertedouro – Arranjo Geral

5.2.3.2 Barragens Jusante

A jusante da PCH Santa Laura está implantada três usinas em Operação, PCH Passo Ferraz, PCH Salto Passo Velho e PCH Salto Voltão com as seguintes características:

- **PCH Passo Ferraz** - Barragem de Concreto protegida para elevação 647,50 m, vertedouro de soleira livre de 210,00 m de comprimento e crista na elevação 643,80 m;
- **PCH Salto Passo Velho** - Barragem de Concreto protegida para elevação 638,61 m e vertedouro de soleira livre de 190,00 m de comprimento e crista na elevação 634,06 m;
- **PCH Salto Voltão** - Barragem de Concreto protegida para elevação 503,20 m e vertedouro de soleira livre de 110,00 m de comprimento e crista na elevação 500,00 m.

5.2.4 Definição do Hidrograma de Cheias

Este item 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 obtida no eixo do barramento da PCH Santa Laura, localizada no Rio Chapecozinho e apresentar o resultado da atualização da vazão máxima e capacidade de vazão do vertedouro para as novas vazões definidas na Revisão Periódica de Segurança.

5.2.4.1 Cálculo da Vazão Máxima Anual

5.2.4.1.1 Dados de Operação Disponíveis

Em pesquisa com equipe de operação da PCH Santa Laura foram disponibilizados dados de vazão máxima do sistema supervisorio da usina a partir de janeiro de 2010. Foram selecionadas as 20 maiores vazões máximas mensais ao longo do período disponível e comparadas com os dados obtidos dos estudos hidrológicos. Na Tabela 6 abaixo estão indicados os dados de vazão selecionadas. A máxima vazão observada corresponde a uma cheia com tempo de recorrência de 177,22 anos.

Tabela 6 – Vazões Máximas Anuais obtidas da equipe de Operação

PCH Santa Laura - Dados Operação			PCH Santa Laura - Dados Operação			PCH Santa Laura - Dados Operação		
Ano	Vazão (m³/s)	TR (anos)	Ano	Vazão (m³/s)	TR (anos)	Ano	Vazão (m³/s)	TR (anos)
jun-14	1043,61	177,22	jun-11	411,84	2,20	jun-17	324,63	1,20
set-14	670,06	13,23	dez-10	396,20	1,97	out-15	312,73	1,11
out-14	669,46	13,17	dez-10	390,68	1,90	mai-10	312,58	1,10
set-11	473,97	3,39	mai-17	374,32	1,70	set-15	311,12	1,09
abr-14	463,86	3,16	jun-15	360,14	1,54	jul-11	310,05	1,08
abr-10	458,97	3,05	set-13	359,64	1,53	ago/13	288,88	0,94
jul-15	413,66	2,23	mai-14	357,53	1,51			

5.2.4.1.2 Vazões na PCH Santa Laura – Dados Estatísticos

Na Revisão Periódica de Segurança foram revisados os estudos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Chapecozinho no local da barragem da PCH Santa Laura. Desses estudos foram atualizadas as vazões máximas de cheia nos diversos tempos de recorrência bem como as vazões médias diárias para o período de dezembro 1945 até maio de 2018.

Com esses dados foi possível obter a vazão máxima diária em cada mês do período de dados conforme indica a Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Vazões Máximas Mensais

Vazão Máxima Diária Mensal - PCH Santa Laura (m³/s)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Máximo
1945												89,21	89,21
1946	259,78	349,86	170,90	125,70	104,78	257,23	164,06	130,06	41,24	202,19	48,83	234,27	349,86
1947	35,17	125,70	48,83	39,73	38,21	288,64	119,38	139,09	341,00	136,83	79,75	68,47	341,00
1948	64,84	134,58	70,35	64,84	280,59	61,22	132,32	100,89	33,86	216,68	61,22	31,23	280,59
1949	115,16	16,85	16,85	77,87	31,23	123,59	13,75	22,02	31,23	66,66	83,51	33,86	123,59
1950	106,73	77,87	134,58	39,73	108,84	19,95	55,78	42,76	57,59	441,42	108,84	72,23	441,42
1951	59,41	89,21	125,70	42,76	12,71	59,41	32,54	6,24	20,98	509,05	536,31	21,61	536,31
1952	11,79	17,60	6,84	9,11	8,50	129,24	111,50	22,69	93,34	356,03	129,24	20,56	356,03
1953	46,58	158,00	17,60	50,08	158,00	50,08	69,53	64,07	93,34	191,48	96,54	49,62	191,48
1954	108,09	53,73	98,15	88,64	279,64	336,16	325,04	34,84	379,35	443,66	33,72	94,94	443,66

Vazão Máxima Diária Mensal - PCH Santa Laura (m³/s)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Máximo
1955	58,80	29,44	50,97	198,07	244,54	557,18	456,42	148,12	38,29	35,97	35,97	20,88	557,18
1956	200,29	91,76	16,76	412,48	148,12	40,68	45,68	68,15	277,06	48,29	11,75	12,41	412,48
1957	40,68	96,54	31,55	79,57	38,29	178,59	427,95	728,76	311,37	69,53	27,72	40,88	728,76
1958	20,77	19,17	81,05	44,23	13,36	44,23	66,77	73,76	162,03	99,78	184,98	131,07	184,98
1959	81,05	27,72	93,34	522,60	99,78	48,88	24,14	84,05	64,07	25,01	9,62	29,60	522,60
1960	7,44	19,17	12,06	19,17	69,53	72,34	73,76	172,29	90,20	174,38	61,41	16,15	174,38
1961	24,14	120,22	330,58	120,22	106,40	35,55	12,06	37,64	557,18	325,04	76,64	47,70	557,18
1962	37,64	99,78	40,88	19,17	347,45	50,08	75,19	20,77	232,52	166,10	79,57	27,72	347,45
1963	116,70	84,05	81,05	31,53	69,53	12,70	24,14	20,77	204,76	259,33	394,25	90,20	394,25
1964	16,15	46,53	78,10	116,70	152,04	17,64	30,56	154,02	58,80	62,73	23,27	32,51	154,02
1965	19,97	48,88	25,90	41,98	211,56	53,74	382,31	382,31	246,98	254,36	87,10	319,54	382,31
1966	142,34	303,30	106,40	28,65	19,97	246,98	69,53	81,05	187,14	370,52	75,19	146,19	370,52
1967	64,07	138,54	96,54	17,64	38,71	24,14	113,22	412,48	109,79	48,88	88,64	125,59	412,48
1968	24,14	8,50	20,77	180,71	46,53	19,17	72,34	10,81	39,78	90,20	72,34	292,68	292,68
1969	162,03	152,04	73,76	131,07	127,41	218,45	70,93	24,14	78,10	78,10	330,58	39,78	330,58
1970	98,15	37,64	44,23	19,97	84,05	202,52	256,84	45,37	78,10	131,07	23,27	182,84	256,84
1971	209,28	123,79	46,53	472,59	140,43	379,35	269,40	123,79	39,44	93,34	15,97	13,45	472,59
1972	29,42	33,41	150,08	78,10	18,95	409,42	46,93	666,76	367,60	140,43	162,03	73,76	666,76
1973	123,79	68,15	134,78	35,08	227,78	292,68	178,59	314,09	191,48	98,15	90,20	35,08	314,09
1974	54,99	87,10	56,25	61,41	158,00	142,34	35,93	382,31	200,29	125,59	116,70	44,05	382,31
1975	140,43	156,00	30,98	15,40	31,78	106,40	35,93	108,09	154,02	632,97	264,34	519,20	632,97
1976	152,04	40,34	36,80	30,19	237,30	94,92	253,47	83,01	94,92	122,67	189,98	175,44	253,47
1977	90,36	77,33	104,34	51,75	14,26	129,67	36,70	135,04	93,39	124,40	241,51	119,23	241,51
1978	27,43	13,45	34,75	6,89	5,63	9,62	142,36	16,57	87,39	74,56	142,36	45,01	142,36
1979	29,19	14,26	15,94	43,93	301,32	32,84	84,45	50,60	20,92	246,26	109,20	87,39	301,32
1980	61,41	24,89	119,23	32,84	120,94	20,92	198,53	207,26	177,48	361,47	77,33	169,37	361,47
1981	102,74	50,60	124,40	131,45	25,73	41,80	11,10	18,69	24,89	38,71	34,75	107,57	131,45
1982	19,42	20,92	27,43	8,91	21,69	296,10	258,32	136,85	36,70	169,37	355,79	90,36	355,79
1983	54,10	370,06	296,10	207,26	461,10	258,32	996,10	393,44	268,16	69,16	47,21	40,76	996,10
1984	24,07	39,73	35,72	51,75	58,93	350,16	80,14	435,92	344,56	120,94	80,14	35,72	435,92
1985	17,97	112,50	16,57	39,73	69,16	19,42	29,19	33,79	45,01	80,14	155,59	17,97	155,59
1986	31,91	18,69	45,01	149,85	330,76	140,51	22,47	57,70	133,24	153,67	29,19	11,87	330,76
1987	40,76	36,70	15,09	142,36	361,47	91,87	49,46	70,49	20,92	133,24	32,84	36,70	361,47
1988	20,92	22,47	15,94	146,08	293,51	168,07	31,56	11,92	10,73	88,48	22,14	15,86	293,51
1989	224,81	101,35	62,28	58,30	243,65	31,56	37,86	106,36	401,77	152,03	41,20	20,43	401,77
1990	328,01	58,30	29,56	336,20	627,20	711,54	118,45	250,88	213,36	341,70	148,12	224,81	711,54
1991	369,79	176,34	17,28	45,83	15,17	459,61	157,96	103,01	18,02	178,44	51,91	62,28	459,61
1992	65,00	67,77	98,06	36,78	514,12	366,94	504,32	150,07	166,03	77,83	146,19	170,12	514,12
1993	104,68	55,70	36,78	44,65	148,12	148,12	73,45	44,65	227,13	53,16	27,62	54,43	227,13
1994	11,32	38,96	18,02	186,92	152,03	123,80	234,15	40,07	62,28	311,89	211,10	86,93	311,89
1995	222,50	32,57	25,74	65,00	14,49	54,43	66,38	50,66	392,94	199,96	54,43	11,92	392,94
1996	73,45	131,09	285,79	106,36	23,02	76,36	250,88	544,02	202,17	407,70	204,38	197,76	544,02
1997	55,70	366,94	77,83	16,56	40,07	306,59	273,10	278,15	298,72	444,07	407,70	59,61	444,07
1998	678,00	533,97	191,23	475,38	277,81	26,67	135,66	411,14	346,08	371,02	35,05	35,05	678,00
1999	107,44	95,98	68,61	316,50	19,45	53,84	711,99	17,82	39,66	101,63	20,29	25,71	711,99
2000	25,71	37,32	56,65	153,28	118,89	62,48	217,73	122,54	324,46	343,35	39,66	38,48	343,35
2001	36,17	157,30	68,61	165,47	178,02	180,14	147,31	39,66	217,73	343,35	75,02	68,61	343,35
2002	16,26	12,69	8,98	19,45	88,71	42,08	62,48	53,84	141,44	153,28	141,44	139,51	153,28
2003	81,72	71,78	182,28	126,24	22,02	35,05	51,10	14,06	17,82	73,39	139,51	319,15	319,15

Vazão Máxima Diária Mensal - PCH Santa Laura (m³/s)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Máximo
2004	250,69	59,53	12,69	51,10	36,17	14,78	202,17	30,55	280,68	125,61	106,36	19,47	280,68
2005	146,19	19,47	13,45	197,76	275,62	372,66	74,90	298,72	554,14	578,07	79,32	15,09	578,07
2006	18,57	8,91	59,61	26,67	6,89	11,87	10,35	103,01	33,60	42,34	114,94	118,45	118,45
2007	47,02	27,62	30,55	168,07	246,05	42,34	82,33	26,67	73,98	213,49	520,71	62,28	520,71
2008	32,57	13,45	14,26	144,26	74,90	125,61	96,44	50,66	51,91	364,10	193,39	18,57	364,10
2009	47,02	29,56	54,43	23,91	42,34	42,34	31,56	268,10	407,70	67,77	91,63	80,82	407,70
2010	36,78	63,64	168,07	520,71	428,76	36,78	38,96	65,00	38,96	49,44	34,65	195,57	520,71
2011	16,80	258,20	108,05	189,07	28,58	410,68	465,89	381,29	491,37	193,39	54,43	44,65	491,37
2012	66,38	18,57	15,94	85,38	28,58	98,06	120,22	94,82	11,87	31,56	25,74	62,28	120,22
2013	73,45	36,78	189,07	83,85	43,49	168,07	79,32	258,20	314,55	176,34	58,30	51,91	314,55
2014	58,30	20,39	122,01	504,32	447,16	948,04	236,51	40,07	591,93	484,95	59,61	94,82	948,04
2015	210,80	121,03	55,54	54,90	114,31	402,76	528,67	67,44	311,82	201,72	243,66	200,71	528,67
2016	57,46	77,33	125,74	62,57	109,60	36,44	137,00	218,86	71,68	166,42	41,02	25,69	218,86
2017	20,98	41,02	72,38	20,51	515,05	285,18	10,97	42,78	29,79	89,43	37,00	102,88	515,05
2018	140,36	49,25	78,46	78,46	31,38								140,36
Media	92,82	88,22	75,72	117,70	145,62	163,99	154,78	145,09	173,23	194,64	115,72	89,29	996,10

Importante observar a grande variação na data de ocorrência de vazões de cheias onde não há um período definido de ocorrência de cheias com praticamente todas as cheias entre abril e novembro com indicado na Tabela 8 abaixo.

Tabela 8 – Meses de Ocorrência das Máximas Cheias Anuais

Mês	Cheias	Mês	Cheias	Mês	Cheias
jan	2	mai	8	set	9
fev	1	jun	5	out	15
mar	0	jul	6	nov	9
abr	5	ago	10	dez	3

5.2.4.2 Vazões de Cheia para os Diversos Tempos Recorrência

Definidos os valores das vazões máximas anuais, foi utilizado o programa Qmáximas disponível no site da Eletrobrás e indicado para uso nas diretrizes de projetos básicos de UHE's para a análise estatística dos eventos de cheia e o cálculo das vazões máximas para os diversos tempos de recorrência. A análise estatística dos dados realizada pelo programa demonstrou que a melhor distribuição estatística para os dados disponíveis é a de Gumbel, pois a assimetria dos dados é menor que 1,5. Os valores de cálculo e das cheias obtidos para os tempos de recorrência de 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos estão indicados na

Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 – Vazões Máximas para diversos Tempos de Recorrência (TR)

Vazão Máx TR anos	Santa Laura Q (m³/s)
5	523
10	630
20	733
50	866
100	965
500	1.195
1.000	1.294
10.000	1.622

Distribuição Gumbel	
Parametros	Santa Laura
Média	391,75
Assimetria	0,91
Desvio Padrão	182,72
alfa	142,52
mi	309,52

A dren km²	1130
------------	------

Para a obtenção da vazão instantânea de pico foi utilizado a equação de Füller onde a correção da vazão máxima se dá pela área da bacia hidrográfica. O coeficiente de Füller obtido para a área da bacia na barragem da PCH Santa Laura foi 1,323 sendo então as vazões máximas instantâneas obtidas com a utilização da vazão máxima normal multiplicado pelo valor do coeficiente de Füller para todos os tempos de recorrência. Importante observar que aqui o efeito de regularização do reservatório é considerado. Os dados de vazão máxima instantânea estão apresentados na Tabela 10 abaixo.

Tabela 10 – Vazões Máximas Instantâneas para diferentes TR

Vazão Máx inst TR anos	Santa Laura Q (m³/s)
5	692
10	833
20	970
50	1.146
100	1.277
500	1.581
1.000	1.712
10.000	2.146

Coef. Fuller	1,323
--------------	-------

Plotando os dados obtidos pela operação da usina, vazão máxima para os tempos de recorrência e vazão máxima instantânea para os tempos de recorrência no mesmo gráfico pode-se observar que no local da barragem observa-se registro de cheias com recorrência de até 177,22 anos (1.043,61 m³/s) conforme os dados do sistema supervisorio. Abaixo no Gráfico 1 em escala logarítmica de tempo tem-se as duas retas de vazão máximas normal e instantânea e os dados de cheias máximas obtidas na operação.

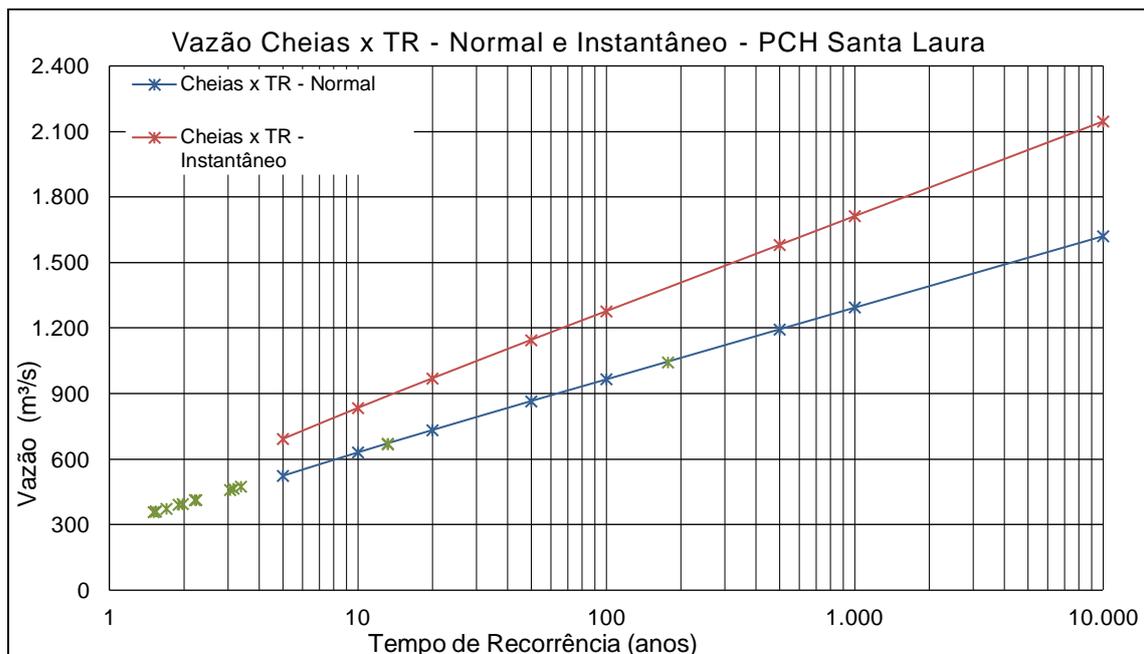


Gráfico 1 – Vazões de Cheia x Tempo de Recorrência

5.2.4.3 Hidrograma de cheias

Para calcular o efeito das cheias e da ruptura da barragem na topografia da área de influência da PCH Santa Laura foi utilizada a metodologia do hidrograma unitário adimensional baseado nas 18 maiores cheias da bacia. Para a bacia do Rio Chapecozinho foi estimado o tempo de concentração da cheia em 108 horas com a dissipação em 120 horas. Assim sendo o período de estudo se inicia em 12 hs e segue de 24 em 24 horas até 228 horas. Na Tabela 11 abaixo tem-se os valores das 18 maiores cheias na bacia do Rio Chapecozinho na PCH Santa Laura e o ano em que a cheia ocorreu, segundo os dados hidrológicos obtidos.

Tabela 11 – 18 maiores cheias no local da PCH Santa Laura

Ano	Q (m³/s)	Ano	Q (m³/s)
1983	996,10	2005	557,18
2014	948,04	1979	557,18
1957	728,76	2000	544,02
1999	711,99	1992	536,31
1990	711,54	1980	528,67
1998	678,00	1955	522,60
1972	666,76	1971	520,71
1975	632,97	1947	520,71
2005	578,07	1937	515,05

O processo de obtenção do hidrograma consiste em selecionar as 18 maiores cheias, selecionar os dados considerando o pico da cheia em 108 hs e utilizando os dados de vazão diária recuar até o momento 12 horas e avançar até o momento 228 horas lançando os valores de vazão de 24 em 24 horas. Na Tabela 12 abaixo estão os valores obtidos da tabela de vazão média diária.

Tabela 12 – Desenvolvimento das vazões ao longo do período do hidrograma

Horas	12	36	60	84	108	132	156	180	204	228
Q (m³/s)	801,04	693,49	607,55	906,98	996,10	568,32	480,41	378,75	227,52	248,65
	42,34	54,43	347,24	772,84	948,04	860,59	605,93	366,94	236,51	164,00
	109,79	75,19	142,34	382,31	728,76	492,33	308,67	211,56	162,03	123,79
	27,66	39,66	40,86	204,15	711,99	440,74	287,94	188,74	131,86	95,98
	364,10	350,03	298,72	530,64	711,54	530,64	328,01	222,50	159,96	122,01
	37,86	32,57	22,14	220,20	678,00	484,95	338,94	174,26	41,20	36,78
	44,05	34,24	437,35	651,65	666,76	599,96	367,60	242,12	166,10	127,41
	44,05	38,55	81,05	58,81	632,97	347,45	244,54	168,15	118,45	84,05
	33,60	31,56	29,56	238,88	578,07	275,62	208,85	202,17	172,19	122,01
	27,41	25,46	20,88	18,35	557,18	232,52	168,15	123,79	300,63	232,52
	51,29	90,20	129,24	162,03	557,18	330,58	297,97	182,84	156,00	146,19
	69,17	55,70	50,66	120,22	544,02	344,47	236,51	164,00	118,45	83,85
	14,11	87,10	51,29	58,80	536,31	314,09	230,15	168,15	131,07	101,42
	75,21	66,74	60,65	49,25	528,67	431,00	299,38	210,80	179,02	119,69
	25,01	65,41	39,78	24,14	522,60	132,92	78,10	44,23	35,55	28,65
	73,45	62,28	55,70	390,01	520,71	369,79	248,46	168,07	111,47	80,82
	153,99	398,82	296,11	434,86	520,71	338,94	215,63	164,00	125,61	98,06
	80,69	284,09	307,12	270,97	515,05	285,18	195,67	144,56	129,77	164,74

Os valores da vazão do momento entre 12 e 228 horas são divididos pelo valor da cheia correspondente ao pico, que está em 132 horas e lançados na tabela dos valores de cheia adimensional onde o valor do pico corresponde ao coeficiente de Füller. A Tabela 13 abaixo apresenta os valores da distribuição adimensional para as 18 maiores cheias na bacia e a média das distribuições para um mesmo período de horas.

Tabela 13 – Distribuição adimensional de vazões

Horas	12	36	60	84	108	132	156	180	204	228
Q ADM	0,804	0,696	0,610	0,911	1,323	0,571	0,482	0,380	0,228	0,250
	0,045	0,057	0,366	0,815	1,323	0,908	0,639	0,387	0,249	0,173
	0,151	0,103	0,195	0,525	1,323	0,676	0,424	0,290	0,222	0,170
	0,039	0,056	0,057	0,287	1,323	0,619	0,404	0,265	0,185	0,135
	0,512	0,492	0,420	0,746	1,323	0,746	0,461	0,313	0,225	0,171
	0,056	0,048	0,033	0,325	1,323	0,715	0,500	0,257	0,061	0,054
	0,066	0,051	0,656	0,977	1,323	0,900	0,551	0,363	0,249	0,191
	0,070	0,061	0,128	0,093	1,323	0,549	0,386	0,266	0,187	0,133
	0,058	0,055	0,051	0,413	1,323	0,477	0,361	0,350	0,298	0,211
	0,049	0,046	0,037	0,033	1,323	0,417	0,302	0,222	0,540	0,417
	0,092	0,162	0,232	0,291	1,323	0,593	0,535	0,328	0,280	0,262
	0,127	0,102	0,093	0,221	1,323	0,633	0,435	0,301	0,218	0,154
	0,026	0,162	0,096	0,110	1,323	0,586	0,429	0,314	0,244	0,189
	0,142	0,126	0,115	0,093	1,323	0,815	0,566	0,399	0,339	0,226
	0,048	0,125	0,076	0,046	1,323	0,254	0,149	0,085	0,068	0,055
	0,141	0,120	0,107	0,749	1,323	0,710	0,477	0,323	0,214	0,155
	0,296	0,766	0,569	0,835	1,323	0,651	0,414	0,315	0,241	0,188
	0,157	0,552	0,596	0,526	1,323	0,554	0,380	0,281	0,252	0,320
Horas	12	36	60	84	108	132	156	180	204	228
Média	0,160	0,210	0,247	0,444	1,323	0,632	0,439	0,302	0,239	0,192

O Gráfico 2 mostra a distribuição adimensional das vazões ao longo das 324 horas do hidrograma e o hidrograma médio (em preto serrilhado) obtido pelas médias de todos os adimensionais para um mesmo período do hidrograma. A distribuição da média é a mais importante para o cálculo do hidrograma de cheia pois como pode-se observar algumas vazões possuem variação diferente do esperado, isso pode ser explicado por picos de chuva em intervalos variados que fazem com que a vazão também ocorra em picos. Realizando a média das 18 maiores vazões esses picos se distribuem e resultam em um hidrograma mais uniforme. Para a obtenção do hidrograma final de cheia nos diferentes tempos de recorrência se utiliza os valores de cheia normal nos seus respectivos tempos de recorrência multiplicado pelo valor do hidrograma médio no correspondente período com interpolação de hora em hora obtendo-se assim as vazões ao longo de todo o período estimado para o hidrograma e para todos os tempos de recorrência determinados.

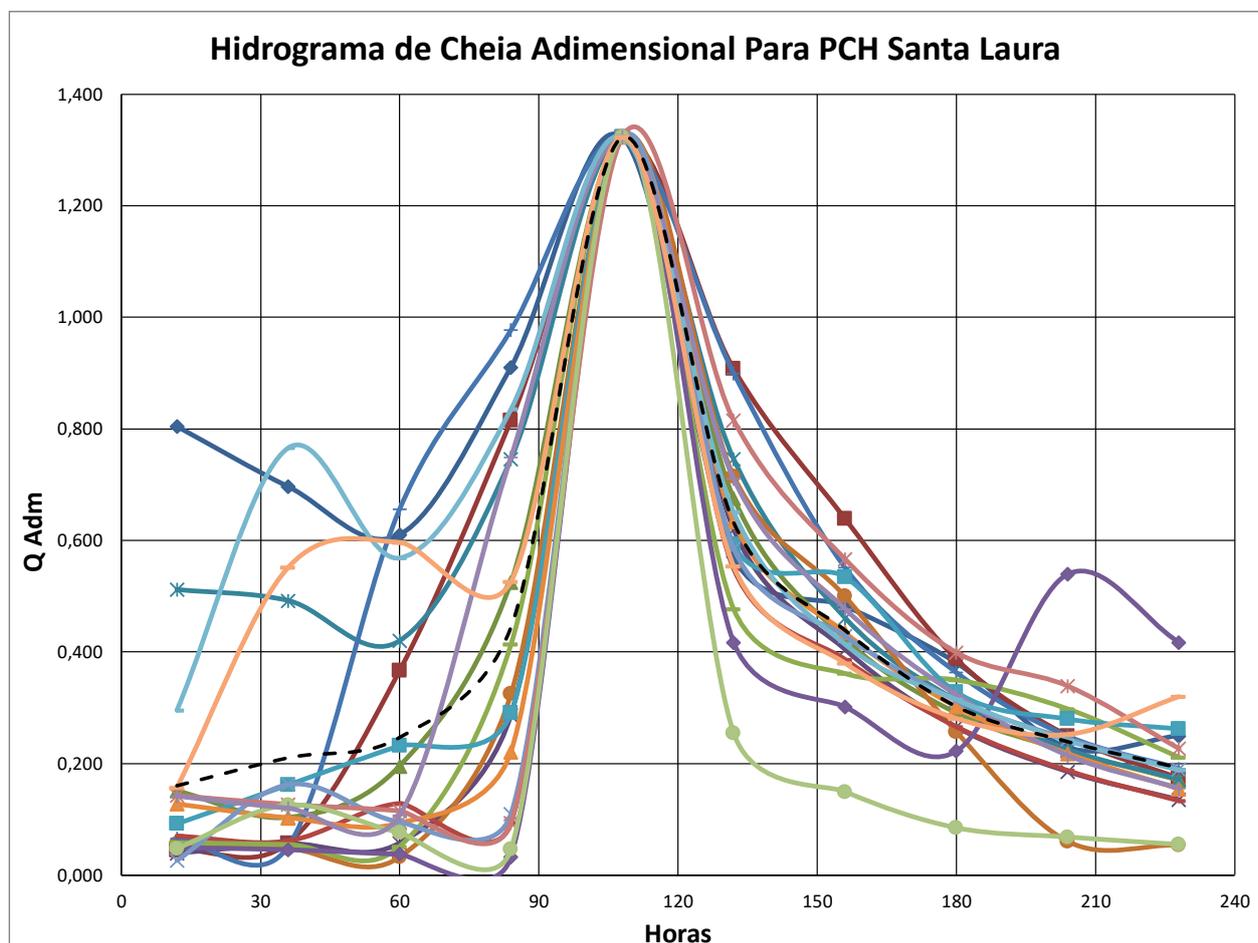


Gráfico 2 – Hidrograma de Cheias adimensionais

A

Tabela 14 apresenta o hidrograma de cheias para o Rio Chapecó no local da barragem da PCH Santa Laura para os tempos de recorrência de 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1.000 e 10.000 anos.

Tabela 14 – Hidrograma de Cheias PCH Santa Laura

Hidrogramas de Cheias Para Diferentes Tempos de Recorrência - PCH Santa Laura										
Dias	horas	Q Adm	5	10	20	50	100	500	1.000	10.000
			523,00	630,00	733,00	866,00	965,00	1195,00	1294,00	1622,00
Dia 01	12	0,160	83,62	100,73	117,20	138,46	154,29	191,06	206,89	259,33
	13	0,162	84,71	102,04	118,73	140,27	156,31	193,56	209,59	262,72
	14	0,164	85,80	103,36	120,26	142,08	158,32	196,05	212,30	266,11
	15	0,166	86,90	104,68	121,79	143,89	160,34	198,55	215,00	269,50
	16	0,168	87,99	105,99	123,32	145,70	162,35	201,05	217,70	272,88
	17	0,170	89,08	107,31	124,85	147,50	164,37	203,54	220,40	276,27
	18	0,172	90,17	108,62	126,38	149,31	166,38	206,04	223,11	279,66
	19	0,175	91,27	109,94	127,91	151,12	168,40	208,53	225,81	283,05
	20	0,177	92,36	111,25	129,44	152,93	170,41	211,03	228,51	286,44
	21	0,179	93,45	112,57	130,97	154,74	172,43	213,53	231,21	289,82
	22	0,181	94,54	113,89	132,51	156,55	174,44	216,02	233,92	293,21
	23	0,183	95,64	115,20	134,04	158,36	176,46	218,52	236,62	296,60
	24	0,185	96,73	116,52	135,57	160,16	178,47	221,01	239,32	299,99
	1	0,187	97,82	117,83	137,10	161,97	180,49	223,51	242,03	303,37
	2	0,189	98,91	119,15	138,63	163,78	182,51	226,00	244,73	306,76
	3	0,191	100,00	120,46	140,16	165,59	184,52	228,50	247,43	310,15
	4	0,193	101,10	121,78	141,69	167,40	186,54	231,00	250,13	313,54
	5	0,195	102,19	123,10	143,22	169,21	188,55	233,49	252,84	316,92
	6	0,197	103,28	124,41	144,75	171,02	190,57	235,99	255,54	320,31
	7	0,200	104,37	125,73	146,28	172,83	192,58	238,48	258,24	323,70
	8	0,202	105,47	127,04	147,81	174,63	194,60	240,98	260,94	327,09
9	0,204	106,56	128,36	149,34	176,44	196,61	243,47	263,65	330,47	
10	0,206	107,65	129,67	150,88	178,25	198,63	245,97	266,35	333,86	
11	0,208	108,74	130,99	152,41	180,06	200,64	248,47	269,05	337,25	
Dia 02	12	0,210	109,84	132,31	153,94	181,87	202,66	250,96	271,75	340,64
	13	0,212	110,63	133,26	155,05	183,19	204,13	252,78	273,72	343,10
	14	0,213	111,43	134,22	156,17	184,50	205,60	254,60	275,69	345,57
	15	0,215	112,22	135,18	157,28	185,82	207,06	256,42	277,66	348,04
	16	0,216	113,02	136,14	158,40	187,14	208,53	258,23	279,63	350,51
	17	0,218	113,81	137,10	159,51	188,46	210,00	260,05	281,60	352,98
	18	0,219	114,61	138,06	160,63	189,77	211,47	261,87	283,57	355,44
	19	0,221	115,41	139,02	161,74	191,09	212,94	263,69	285,53	357,91
	20	0,222	116,20	139,97	162,86	192,41	214,41	265,51	287,50	360,38
	21	0,224	117,00	140,93	163,97	193,73	215,87	267,33	289,47	362,85
	22	0,225	117,79	141,89	165,09	195,04	217,34	269,14	291,44	365,31
	23	0,227	118,59	142,85	166,21	196,36	218,81	270,96	293,41	367,78
	24	0,228	119,38	143,81	167,32	197,68	220,28	272,78	295,38	370,25
	1	0,230	120,18	144,77	168,44	199,00	221,75	274,60	297,35	372,72
	2	0,231	120,98	145,73	169,55	200,32	223,21	276,42	299,32	375,19
	3	0,233	121,77	146,68	170,67	201,63	224,68	278,23	301,28	377,65
	4	0,234	122,57	147,64	171,78	202,95	226,15	280,05	303,25	380,12
5	0,236	123,36	148,60	172,90	204,27	227,62	281,87	305,22	382,59	
6	0,237	124,16	149,56	174,01	205,59	229,09	283,69	307,19	385,06	
7	0,239	124,95	150,52	175,13	206,90	230,56	285,51	309,16	387,53	

Hidrogramas de Cheias Para Diferentes Tempos de Recorrência - PCH Santa Laura										
Dias	horas	Q Adm	5	10	20	50	100	500	1.000	10.000
			523,00	630,00	733,00	866,00	965,00	1195,00	1294,00	1622,00
Dias	8	0,240	125,75	151,48	176,24	208,22	232,02	287,33	311,13	389,99
	9	0,242	126,55	152,44	177,36	209,54	233,49	289,14	313,10	392,46
	10	0,243	127,34	153,39	178,47	210,86	234,96	290,96	315,07	394,93
	11	0,245	128,14	154,35	179,59	212,17	236,43	292,78	317,04	397,40
	12	0,247	128,93	155,31	180,70	213,49	237,90	294,60	319,00	399,86
Dia 03	13	0,255	133,24	160,50	186,74	220,62	245,84	304,44	329,66	413,22
	14	0,263	137,55	165,69	192,78	227,75	253,79	314,28	340,32	426,58
	15	0,271	141,85	170,88	198,81	234,89	261,74	324,12	350,97	439,94
	16	0,279	146,16	176,06	204,85	242,02	269,69	333,96	361,63	453,29
	17	0,288	150,47	181,25	210,89	249,15	277,63	343,80	372,29	466,65
	18	0,296	154,77	186,44	216,92	256,28	285,58	353,64	382,94	480,01
	19	0,304	159,08	191,63	222,96	263,41	293,53	363,49	393,60	493,37
	20	0,312	163,39	196,82	228,99	270,54	301,47	373,33	404,25	506,72
	21	0,321	167,70	202,00	235,03	277,68	309,42	383,17	414,91	520,08
	22	0,329	172,00	207,19	241,07	284,81	317,37	393,01	425,57	533,44
	23	0,337	176,31	212,38	247,10	291,94	325,31	402,85	436,22	546,80
	24	0,345	180,62	217,57	253,14	299,07	333,26	412,69	446,88	560,15
	Dia 04	1	0,354	184,92	222,76	259,18	306,20	341,21	422,53	457,54
2		0,362	189,23	227,95	265,21	313,33	349,15	432,37	468,19	586,87
3		0,370	193,54	233,13	271,25	320,47	357,10	442,21	478,85	600,23
4		0,378	197,85	238,32	277,29	327,60	365,05	452,06	489,51	613,58
5		0,387	202,15	243,51	283,32	334,73	373,00	461,90	500,16	626,94
6		0,395	206,46	248,70	289,36	341,86	380,94	471,74	510,82	640,30
7		0,403	210,77	253,89	295,39	348,99	388,89	481,58	521,47	653,66
8		0,411	215,07	259,07	301,43	356,12	396,84	491,42	532,13	667,01
9		0,419	219,38	264,26	307,47	363,26	404,78	501,26	542,79	680,37
10		0,428	223,69	269,45	313,50	370,39	412,73	511,10	553,44	693,73
11		0,436	227,99	274,64	319,54	377,52	420,68	520,94	564,10	707,09
12		0,444	232,30	279,83	325,58	384,65	428,62	530,78	574,76	720,44
13		0,481	251,45	302,89	352,41	416,36	463,95	574,53	622,13	779,83
14	0,517	270,60	325,96	379,25	448,06	499,28	618,28	669,50	839,21	
15	0,554	289,74	349,02	406,08	479,77	534,61	662,03	716,88	898,59	
16	0,591	308,89	372,09	432,92	511,47	569,94	705,78	764,25	957,97	
17	0,627	328,04	395,15	459,75	543,17	605,27	749,53	811,63	1017,35	
18	0,664	347,18	418,21	486,59	574,88	640,60	793,28	859,00	1076,74	
19	0,700	366,33	441,28	513,42	606,58	675,93	837,03	906,37	1136,12	
20	0,737	385,48	464,34	540,26	638,29	711,26	880,78	953,75	1195,50	
21	0,774	404,63	487,41	567,10	669,99	746,59	924,53	1001,12	1254,88	
22	0,810	423,77	510,47	593,93	701,70	781,91	968,28	1048,49	1314,26	
23	0,847	442,92	533,54	620,77	733,40	817,24	1012,03	1095,87	1373,65	
24	0,883	462,07	556,60	647,60	765,11	852,57	1055,78	1143,24	1433,03	
1	0,920	481,21	579,67	674,44	796,81	887,90	1099,53	1190,62	1492,41	
2	0,957	500,36	602,73	701,27	828,52	923,23	1143,27	1237,99	1551,79	
3	0,993	519,51	625,79	728,11	860,22	958,56	1187,02	1285,36	1611,17	
4	1,030	538,66	648,86	754,94	891,92	993,89	1230,77	1332,74	1670,56	
5	1,067	557,80	671,92	781,78	923,63	1029,22	1274,52	1380,11	1729,94	
6	1,103	576,95	694,99	808,61	955,33	1064,55	1318,27	1427,48	1789,32	
7	1,140	596,10	718,05	835,45	987,04	1099,87	1362,02	1474,86	1848,70	

Hidrogramas de Cheias Para Diferentes Tempos de Recorrência - PCH Santa Laura										
Dias	horas	Q Adm	5	10	20	50	100	500	1.000	10.000
						523,00	630,00	733,00	866,00	965,00
	8	1,176	615,25	741,12	862,28	1018,74	1135,20	1405,77	1522,23	1908,08
	9	1,213	634,39	764,18	889,12	1050,45	1170,53	1449,52	1569,61	1967,47
	10	1,250	653,54	787,25	915,96	1082,15	1205,86	1493,27	1616,98	2026,85
	11	1,286	672,69	810,31	942,79	1113,86	1241,19	1537,02	1664,35	2086,23
	12	1,323	691,83	833,38	969,63	1145,56	1276,52	1580,77	1711,73	2145,61
	13	1,294	676,78	815,24	948,52	1120,63	1248,74	1546,36	1674,47	2098,91
	14	1,265	661,72	797,10	927,42	1095,70	1220,95	1511,96	1637,22	2052,22
	15	1,236	646,66	778,96	906,32	1070,76	1193,17	1477,55	1599,96	2005,52
	16	1,208	631,60	760,82	885,21	1045,83	1165,39	1443,15	1562,71	1958,82
	17	1,179	616,55	742,69	864,11	1020,90	1137,61	1408,75	1525,45	1912,12
	18	1,150	601,49	724,55	843,01	995,97	1109,82	1374,34	1488,20	1865,42
	19	1,121	586,43	706,41	821,90	971,03	1082,04	1339,94	1450,94	1818,73
	20	1,092	571,38	688,27	800,80	946,10	1054,26	1305,53	1413,69	1772,03
	21	1,064	556,32	670,13	779,70	921,17	1026,48	1271,13	1376,44	1725,33
	22	1,035	541,26	652,00	758,59	896,24	998,69	1236,72	1339,18	1678,63
	23	1,006	526,20	633,86	737,49	871,30	970,91	1202,32	1301,93	1631,93
	24	0,977	511,15	615,72	716,39	846,37	943,13	1167,92	1264,67	1585,24
Dia 05	1	0,949	496,09	597,58	695,28	821,44	915,35	1133,51	1227,42	1538,54
	2	0,920	481,03	579,45	674,18	796,51	887,56	1099,11	1190,16	1491,84
	3	0,891	465,97	561,31	653,08	771,57	859,78	1064,70	1152,91	1445,14
	4	0,862	450,92	543,17	631,97	746,64	832,00	1030,30	1115,65	1398,45
	5	0,833	435,86	525,03	610,87	721,71	804,22	995,89	1078,40	1351,75
	6	0,805	420,80	506,89	589,77	696,78	776,43	961,49	1041,14	1305,05
	7	0,776	405,74	488,76	568,66	671,85	748,65	927,08	1003,89	1258,35
	8	0,747	390,69	470,62	547,56	646,91	720,87	892,68	966,63	1211,65
	9	0,718	375,63	452,48	526,46	621,98	693,08	858,28	929,38	1164,96
	10	0,689	360,57	434,34	505,35	597,05	665,30	823,87	892,13	1118,26
	11	0,661	345,52	416,20	484,25	572,12	637,52	789,47	854,87	1071,56
	12	0,632	330,46	398,07	463,15	547,18	609,74	755,06	817,62	1024,86
	13	0,624	326,25	393,00	457,25	540,21	601,97	745,45	807,20	1011,81
	14	0,616	322,04	387,93	451,35	533,24	594,20	735,83	796,79	998,76
	15	0,608	317,83	382,86	445,45	526,27	586,44	726,21	786,37	985,70
	16	0,600	313,62	377,79	439,55	519,31	578,67	716,59	775,96	972,65
	17	0,592	309,41	372,72	433,65	512,34	570,91	706,98	765,55	959,59
	18	0,584	305,20	367,65	427,75	505,37	563,14	697,36	755,13	946,54
	19	0,576	300,99	362,58	421,85	498,40	555,37	687,74	744,72	933,49
	20	0,567	296,79	357,50	415,95	491,43	547,61	678,12	734,30	920,43
	21	0,559	292,58	352,43	410,06	484,46	539,84	668,51	723,89	907,38
	22	0,551	288,37	347,36	404,16	477,49	532,07	658,89	713,48	894,33
	23	0,543	284,16	342,29	398,26	470,52	524,31	649,27	703,06	881,27
	24	0,535	279,95	337,22	392,36	463,55	516,54	639,66	692,65	868,22
Dia 06	1	0,527	275,74	332,15	386,46	456,58	508,78	630,04	682,23	855,16
	2	0,519	271,53	327,08	380,56	449,61	501,01	620,42	671,82	842,11
	3	0,511	267,32	322,01	374,66	442,64	493,24	610,80	661,41	829,06
	4	0,503	263,11	316,94	368,76	435,67	485,48	601,19	650,99	816,00
	5	0,495	258,90	311,87	362,86	428,70	477,71	591,57	640,58	802,95
	6	0,487	254,70	306,80	356,96	421,73	469,94	581,95	630,16	789,90
	7	0,479	250,49	301,73	351,06	414,76	462,18	572,33	619,75	776,84

Hidrogramas de Cheias Para Diferentes Tempos de Recorrência - PCH Santa Laura											
Dias	horas	Q Adm	5	10	20	50	100	500	1.000	10.000	
			523,00	630,00	733,00	866,00	965,00	1195,00	1294,00	1622,00	
Dias	8	0,471	246,28	296,66	345,16	407,79	454,41	562,72	609,34	763,79	
	9	0,463	242,07	291,59	339,27	400,82	446,65	553,10	598,92	750,73	
	10	0,455	237,86	286,52	333,37	393,85	438,88	543,48	588,51	737,68	
	11	0,447	233,65	281,45	327,47	386,88	431,11	533,87	578,09	724,63	
	12	0,439	229,44	276,38	321,57	379,92	423,35	524,25	567,68	711,57	
Dia 07	13	0,433	226,46	272,80	317,40	374,99	417,85	517,45	560,32	702,34	
	14	0,427	223,49	269,21	313,22	370,06	412,36	510,65	552,95	693,11	
	15	0,422	220,51	265,63	309,05	365,13	406,87	503,84	545,59	683,88	
	16	0,416	217,53	262,04	304,88	360,20	401,38	497,04	538,22	674,65	
	17	0,410	214,56	258,45	300,71	355,27	395,89	490,24	530,86	665,42	
	18	0,405	211,58	254,87	296,54	350,34	390,39	483,44	523,49	656,19	
	19	0,399	208,61	251,28	292,37	345,41	384,90	476,64	516,13	646,95	
	20	0,393	205,63	247,70	288,19	340,49	379,41	469,84	508,76	637,72	
	21	0,387	202,65	244,11	284,02	335,56	373,92	463,04	501,40	628,49	
	22	0,382	199,68	240,53	279,85	330,63	368,43	456,24	494,03	619,26	
	23	0,376	196,70	236,94	275,68	325,70	362,93	449,44	486,67	610,03	
	24	0,370	193,72	233,36	271,51	320,77	357,44	442,64	479,31	600,80	
	Dia 08	1	0,365	190,75	229,77	267,34	315,84	351,95	435,83	471,94	591,57
		2	0,359	187,77	226,18	263,16	310,91	346,46	429,03	464,58	582,34
		3	0,353	184,79	222,60	258,99	305,99	340,97	422,23	457,21	573,10
		4	0,348	181,82	219,01	254,82	301,06	335,47	415,43	449,85	563,87
		5	0,342	178,84	215,43	250,65	296,13	329,98	408,63	442,48	554,64
		6	0,336	175,86	211,84	246,48	291,20	324,49	401,83	435,12	545,41
		7	0,331	172,89	208,26	242,31	286,27	319,00	395,03	427,75	536,18
		8	0,325	169,91	204,67	238,13	281,34	313,50	388,23	420,39	526,95
9		0,319	166,93	201,09	233,96	276,41	308,01	381,43	413,02	517,72	
10		0,313	163,96	197,50	229,79	271,48	302,52	374,62	405,66	508,49	
11		0,308	160,98	193,92	225,62	266,56	297,03	367,82	398,30	499,25	
12		0,302	158,00	190,33	221,45	261,63	291,54	361,02	390,93	490,02	
13		0,299	156,63	188,67	219,52	259,35	289,00	357,88	387,52	485,75	
14		0,297	155,25	187,01	217,59	257,07	286,46	354,73	384,12	481,48	
15		0,294	153,87	185,35	215,66	254,79	283,92	351,58	380,71	477,21	
16		0,292	152,50	183,70	213,73	252,51	281,37	348,44	377,30	472,94	
17		0,289	151,12	182,04	211,80	250,23	278,83	345,29	373,90	468,67	
18		0,286	149,74	180,38	209,87	247,95	276,29	342,15	370,49	464,40	
19		0,284	148,37	178,72	207,94	245,67	273,75	339,00	367,08	460,13	
20		0,281	146,99	177,06	206,01	243,39	271,21	335,85	363,68	455,86	
21	0,278	145,61	175,40	204,08	241,11	268,67	332,71	360,27	451,59		
22	0,276	144,24	173,74	202,15	238,83	266,13	329,56	356,87	447,32		
23	0,273	142,86	172,09	200,22	236,55	263,59	326,42	353,46	443,05		
24	0,271	141,48	170,43	198,29	234,27	261,05	323,27	350,05	438,78		
1	0,268	140,10	168,77	196,36	231,99	258,51	320,12	346,65	434,51		
2	0,265	138,73	167,11	194,43	229,71	255,97	316,98	343,24	430,24		
3	0,263	137,35	165,45	192,50	227,43	253,43	313,83	339,83	425,97		
4	0,260	135,97	163,79	190,57	225,15	250,89	310,69	336,43	421,70		
5	0,257	134,60	162,13	188,64	222,87	248,35	307,54	333,02	417,43		
6	0,255	133,22	160,48	186,71	220,59	245,81	304,39	329,61	413,16		
7	0,252	131,84	158,82	184,78	218,31	243,27	301,25	326,21	408,89		

Hidrogramas de Cheias Para Diferentes Tempos de Recorrência - PCH Santa Laura										
Dias	horas	Q Adm	5	10	20	50	100	500	1.000	10.000
			523,00	630,00	733,00	866,00	965,00	1195,00	1294,00	1622,00
	8	0,249	130,47	157,16	182,85	216,03	240,73	298,10	322,80	404,62
	9	0,247	129,09	155,50	180,92	213,75	238,19	294,96	319,39	400,35
	10	0,244	127,71	153,84	178,99	211,47	235,65	291,81	315,99	396,08
	11	0,242	126,34	152,18	177,06	209,19	233,11	288,67	312,58	391,81
	12	0,239	124,96	150,52	175,13	206,91	230,57	285,52	309,17	387,54
	13	0,237	123,94	149,29	173,70	205,22	228,68	283,18	306,64	384,37
	14	0,235	122,91	148,06	172,27	203,52	226,79	280,84	304,11	381,19
	15	0,233	121,89	146,83	170,83	201,83	224,90	278,50	301,58	378,02
	16	0,231	120,87	145,59	169,40	200,13	223,01	276,17	299,05	374,85
	17	0,229	119,84	144,36	167,96	198,44	221,12	273,83	296,51	371,67
	18	0,227	118,82	143,13	166,53	196,75	219,24	271,49	293,98	368,50
	19	0,225	117,80	141,90	165,09	195,05	217,35	269,15	291,45	365,33
	20	0,223	116,77	140,66	163,66	193,36	215,46	266,81	288,92	362,15
	21	0,221	115,75	139,43	162,23	191,66	213,57	264,48	286,39	358,98
	22	0,219	114,73	138,20	160,79	189,97	211,68	262,14	283,85	355,80
	23	0,217	113,70	136,97	159,36	188,27	209,80	259,80	281,32	352,63
	24	0,215	112,68	135,73	157,92	186,58	207,91	257,46	278,79	349,46
	1	0,213	111,66	134,50	156,49	184,88	206,02	255,12	276,26	346,28
	2	0,212	110,63	133,27	155,06	183,19	204,13	252,78	273,73	343,11
	3	0,210	109,61	132,03	153,62	181,49	202,24	250,45	271,19	339,94
	4	0,208	108,59	130,80	152,19	179,80	200,35	248,11	268,66	336,76
	5	0,206	107,56	129,57	150,75	178,11	198,47	245,77	266,13	333,59
	6	0,204	106,54	128,34	149,32	176,41	196,58	243,43	263,60	330,42
	7	0,202	105,52	127,10	147,88	174,72	194,69	241,09	261,07	327,24
	8	0,200	104,49	125,87	146,45	173,02	192,80	238,76	258,53	324,07
	9	0,198	103,47	124,64	145,02	171,33	190,91	236,42	256,00	320,89
	10	0,196	102,45	123,41	143,58	169,63	189,03	234,08	253,47	317,72
	11	0,194	101,42	122,17	142,15	167,94	187,14	231,74	250,94	314,55
Dia	12	0,192	100,40	120,94	140,71	166,24	185,25	229,40	248,41	311,37

No Gráfico 3 apresenta-se os hidrogramas de cheia para os diferentes tempos de recorrência ao longo do período determinado.

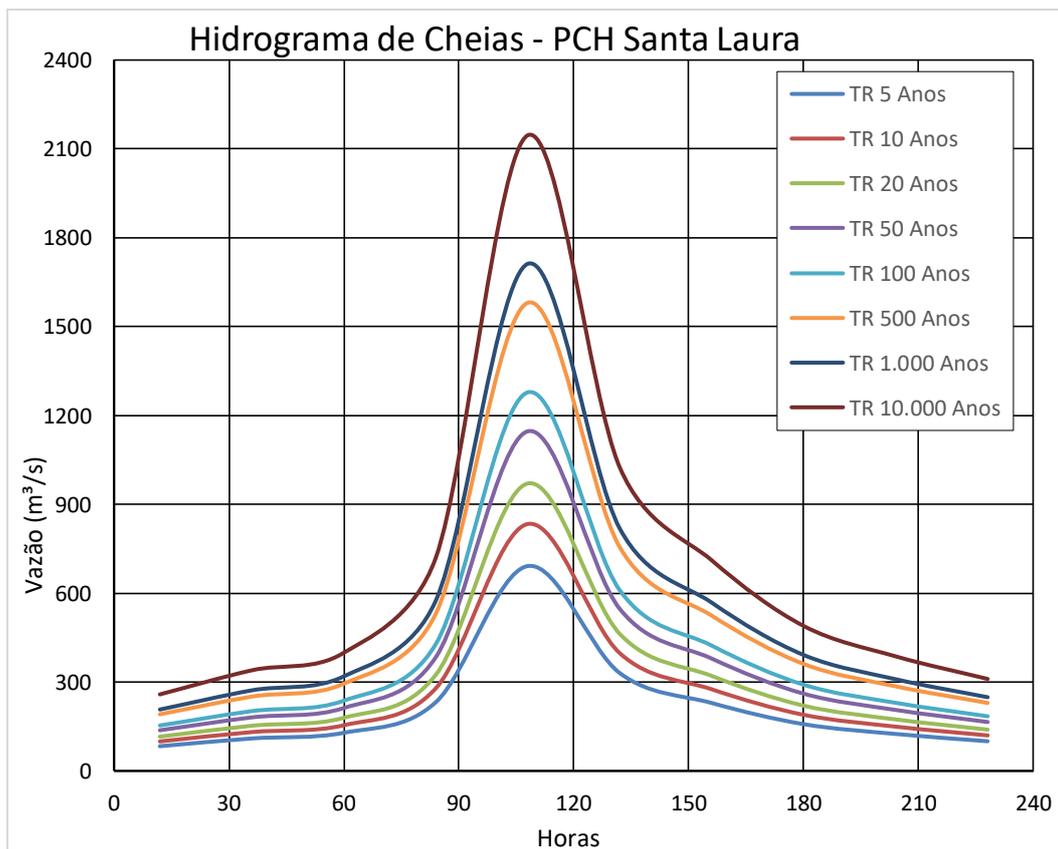


Gráfico 3 – Hidrograma de Cheias PCH Santa Laura para diversos Tempos de Recorrência

As curvas do hidrograma de cheias obtidas indicam que os dados obtidos possuem consistência e distribuição adequados sendo então considerados corretos e suficientes para o estudo de cheias e rompimento no reservatório da PCH Santa Laura.

5.2.4.4 Capacidade de descarga do vertedouro

Conforme a Revisão periódica de Segurança da PCH Santa Laura a atualização das vazões de cheia para o local da barragem da PCH indicaram a cheia máxima para pico instantâneo de 1.712 m³/s para TR de 1.000 anos onde a cota do reservatório chega na elevação 688,32 m resultando em 3,32 m de carga na crista do vertedouro. Para a vazão com recorrência decamilenar, 2.146 m³/s o nível do reservatório vai a 688,80 m resultando assim em uma borda livre de 1,20 m, valor acima do mínimo exigido no dimensionamento de vertedouro para PCH's indicando a capacidade de escoamento para cheia com recorrência de 10.000 anos.

No Gráfico 4 estão indicadas as curvas de descarga do manual de operação (mesma do supervisor) e a curva de descarga do vertedouro baseada nos dados da RPS 2018. No mesmo gráfico está indicada a elevação da crista da barragem sendo esse o limite de capacidade de vazão do vertedouro em condições de emergência. Antes de ocorrer o galgamento o vertedouro da PCH Santa Laura possui capacidade de escoar 3.200 m³/s, bastante acima dos valores de

cheias extremas calculadas no RPS indicando segurança na estrutura quanto a capacidade de escoamento.

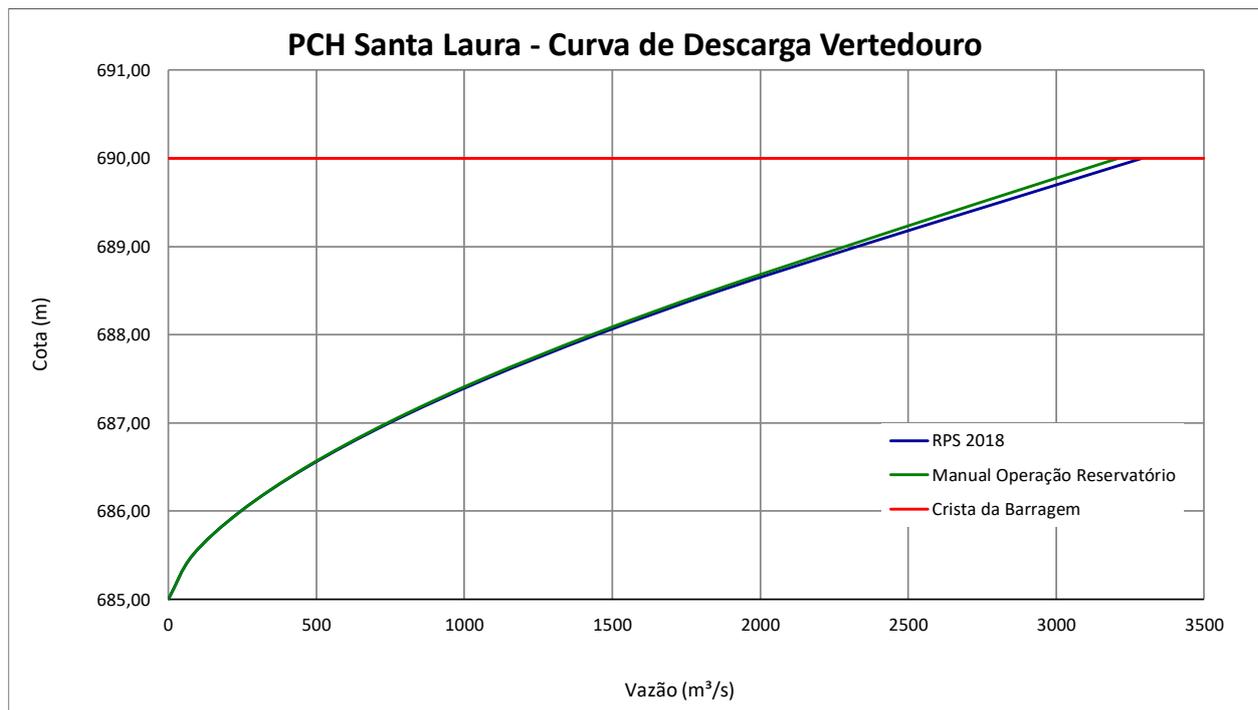


Gráfico 4 – Curva de Descarga Vertedouro – PCH Santa Laura

Concluindo pode-se afirmar que o sistema extravasor da PCH Santa Laura opera com condições de segurança e com capacidade de vazão de acordo com a atualização das vazões máximas de cheia, inclusive a vazão de cheia decamilenar.

5.2.5 Calibração do modelo matemático

Com os dados da restituição - curvas de níveis, seções topobatimétricas e níveis de água (dados do item 5.2.2), foi calibrada a calha do rio Chapecozinho no trecho estudado no programa Hec-Ras. A Figura 21 apresenta as 242 seções lançadas no programa e a Figura 22 apresenta o perfil do rio com os níveis de água obtidos para a calibração do modelo com dados topográficos de 2018.

O desenho SLA-C-SER-003-00-18, no Volume II, apresenta a localização das seções.

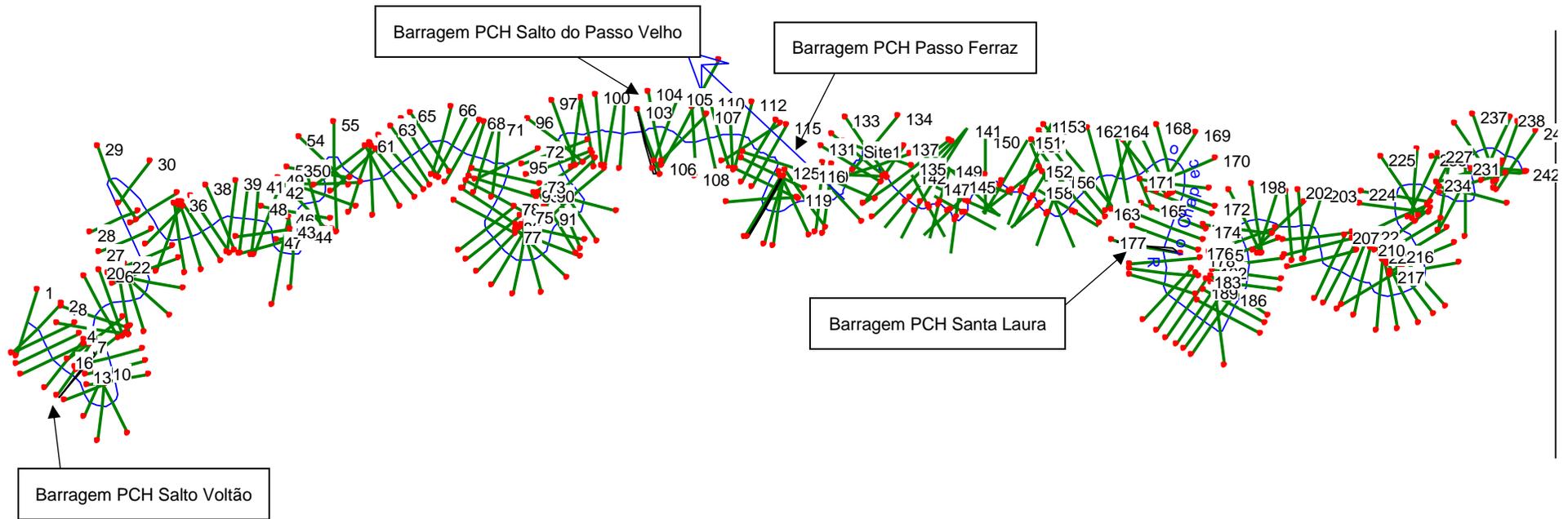


Figura 21 – Seções lançadas no Hec-Ras

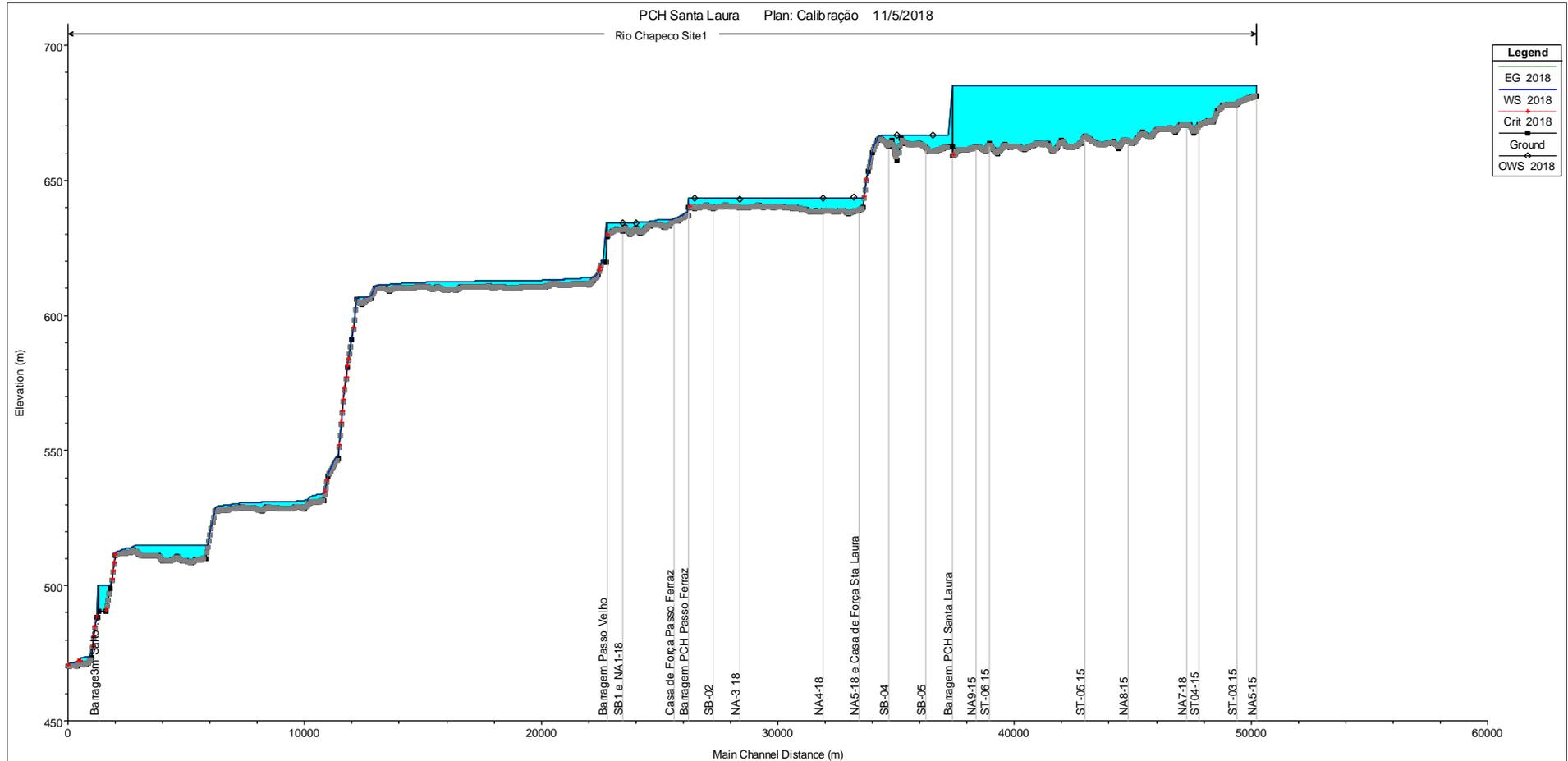


Figura 22 – Perfil do Rio Chapecozinho com Barramentos

5.3 Causa considerada para o rompimento

Para as simulações das cheias naturais sem o rompimento da barragem verifica-se que não há galgamento em nenhuma parte da seção da barragem, conforme a Tabela 16.

Para determinar o rompimento, devido às características da barragem, a hipótese considerada foi **vazamento (piping) no ponto mais baixo do barramento de enrocamento com núcleo de argila.**

5.3.1 Dados utilizados para formação da brecha

Para a simulação de rompimento da Barragem Principal, maior altura, foi adotada uma brecha com geometria trapezoidal, localizada no ponto mais profundo da seção, com altura de 26 metros e largura de 25,00 m, dentro do limite de $0,5H < B < 3H$ estabelecido pelos critérios científicos de tamanho da brecha, de forma que a simulação apresente resultados conservativos. A inclinação do talude esquerdo e do talude direito é de 1 H:1 V.

A Figura 23 apresenta a modelagem da barragem no programa de simulação Hec-Ras.

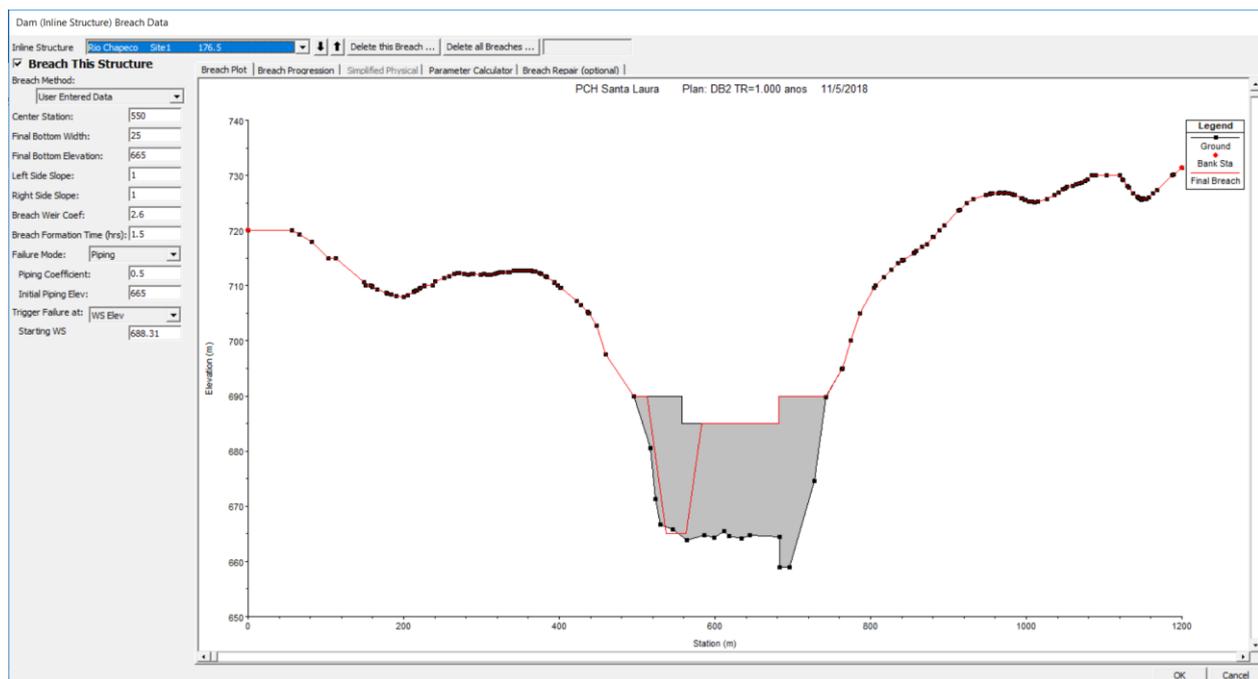


Figura 23 – Dados do Barramento enrocamento Santa Laura – Hec-Ras

O tempo adotado de formação da brecha de rompimento foi de 90 minutos de acordo com os critérios científicos de tempo de formação da brecha, conforme descrito apresentado na Figura 16 e definido no item 5.1.4.2 Tempo de rompimento.

5.4 Simulações Realizadas

Primeiramente simulou-se o Rio Chapecozinho na situação natural para as duas vazões (TR=100 e TR=1.000 anos), para depois simular o rompimento da barragem (dam break) da PCH Santa Laura.

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 Santa Laura (Dam Break);
- Simulação 3 - Condição de enchente com Rompimento da Barragem da PCH Santa Laura (Dam Break) e efeito de cascata com usinas de jusante.

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

Tabela 15 – Hidrogramas para PCH Santa Laura

TR (anos)	Pico Máximo do Hidrograma de Cheias (m ³ /s)
100	1.277
1.000	1.712

5.4.1 Resultados Básicos Simulação 1

A Tabela 16 apresenta os resultados dos níveis de água obtidos na Barragem, Casa de Força e Ponte de jusante somente com a consideração de enchente, sem rompimento da Barragem de Santa Laura nos diferentes tempos de recorrência considerados.

A ponte de jusante (cidade de Bom Jesus) sofre alagamento com condição de enchente de TR=100 anos e TR=1.000 anos. Já a barragem da PCH Salto Voltão ocorre alagamento com TR=1.000 anos.

Tabela 16 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Santa Laura sem rompimento da Barragem

Estrutura	Cota de Proteção (m)	NA Máximo com Enchente (m)	
		TR 100	TR 1.000
Barragem Santa Laura	690,00	687,73	688,32
Casa de Força Santa Laura	655,35	653,46	655,10
Barragem PCH Passo Ferraz	647,50	645,99	647,51
Ponte de Jusante	639,48	640,70	641,78
Barragem Salto do Passo Velho	638,61	636,12	636,52
Barragem Salto Voltão	503,20	502,88	503,46

5.4.2 Resultados Básicos Simulação 2

Todas as simulações de rompimento foram efetuadas para o tempo de recorrência de 100 e 1.000 anos, com o rompimento ocorrendo no pico máximo do hidrograma de enchentes para cada tempo de recorrência considerado.

A Tabela 17 apresenta os resultados dos níveis de água obtidos na Barragem, Casa de Força e Ponte de jusante com a consideração do rompimento da Barragem de Santa Laura.

A Casa de Força da PCH Santa Laura, Barragem Passo Ferraz, Ponte Jusante (cidade Bom Jesus) e Barragem Salto Voltão sofrem galgamento a partir da enchente de TR=100 anos mais rompimento da barragem.

Tabela 17 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Santa Laura com rompimento da Barragem

Estrutura	Cota de Proteção (m)	NA Máximo com Rompimento (m)	
		TR 100	TR 1.000
Barragem Santa Laura	690,00	687,72	688,31
Casa de Força Santa Laura	655,35	660,81	661,49
Barragem PCH Passo Ferraz	647,50	651,82	652,61
Ponte de Jusante	639,48	645,01	645,66
Barragem Salto do Passo Velho	638,61	637,98	638,28
Barragem Salto Voltão	503,20	504,70	505,08

Com rompimento da Barragem Santa Laura, ocorre galgamento das Barragens Passo Ferraz e Salto Voltão, logo, será realizada simulação 3 com efeito de cascata, considerando rompimento das Usinas de Jusante após galgamento de 50 cm acima da cota de proteção.

5.4.3 Resultados Básicos Simulação 3

5.4.3.1 Simulação 3 – Efeito Cascata

Na simulação 2 ocorreu o galgamento das barragens de jusante, PCH Passo Ferraz e PCH Salto Voltão, indicando que a onda da cheia resultante do rompimento não amortece no reservatório de jusante.

Todas as simulações de rompimento foram efetuadas para o tempo de recorrência de 100 e 1.000, com o rompimento ocorrendo:

- TR=100 anos e Nível do reservatório da PCH Santa Laura de 687,72 m;
- TR=1.000 anos e Nível do reservatório da PCH Santa Laura de 688,31 m;

Logo, foi simulado rompimento das Barragens da PCH Passo Ferraz e PCH Salto Voltão após ocorrência de 0,50 m de galgamento, visto que estas usinas de jusante não amortecem a onda de inundação na possível ocorrência do rompimento da PCH Santa Laura.

Tabela 18 – Dados dos níveis nos Barramentos com rompimento da Barragem Santa Laura e efeito de cascata

Estrutura	Cota de Proteção (m)	NA Máximo com Rompimento (m)	
		TR 100	TR 1.000
Barragem Santa Laura (*)	690,00	687,72	688,31
Casa de Força Santa Laura	655,35	660,81	661,49
Barragem PCH Passo Ferraz (*)	647,50	651,82	652,61
Ponte de Jusante	639,48	645,01	645,66
Barragem Salto do Passo Velho	638,61	637,98	638,28
Barragem Salto Voltão (*)	503,20	503,77	504,20

(*) Barragens rompidas

5.4.3.2 Causa de Rompimento das Barragens Jusante

Todas as barragens a jusante da PCH Santa Laura apresentam barramento de concreto, com baixa altura e pequeno reservatório.

Para a simulação dos rompimentos, devido às características das barragens onde o trecho com maior altura sobre a fundação é de concreto, a hipótese considerada foi de grande vazamento originário do rompimento do bloco de concreto (bloco mais profundo). O grande acúmulo de água em decorrência do elevado índice pluviométrico (recorrência) e os danos causados por erosão pluvial, correspondendo à **formação de brecha por falha de fundação ou colapso estrutural do concreto**.

A simulação de rompimento no bloco de concreto resulta na pior hipótese com os maiores danos a jusante.

5.4.3.3 Dados utilizados para formação da brecha

Para a simulação de rompimento foi adotada uma geometria retangular do tamanho do bloco de concreto, largura 15,00 m, rompendo o bloco mais profundo e atendendo os critérios científicos de tamanho da brecha (Item 5.1.4). A Figura 23 apresenta a modelagem da barragem no programa de simulação Hec-Ras para Barragem Passo Ferraz e Figura 25 apresenta a modelagem da barragem no programa de simulação Hec-Ras para Barragem Salto Voltão.

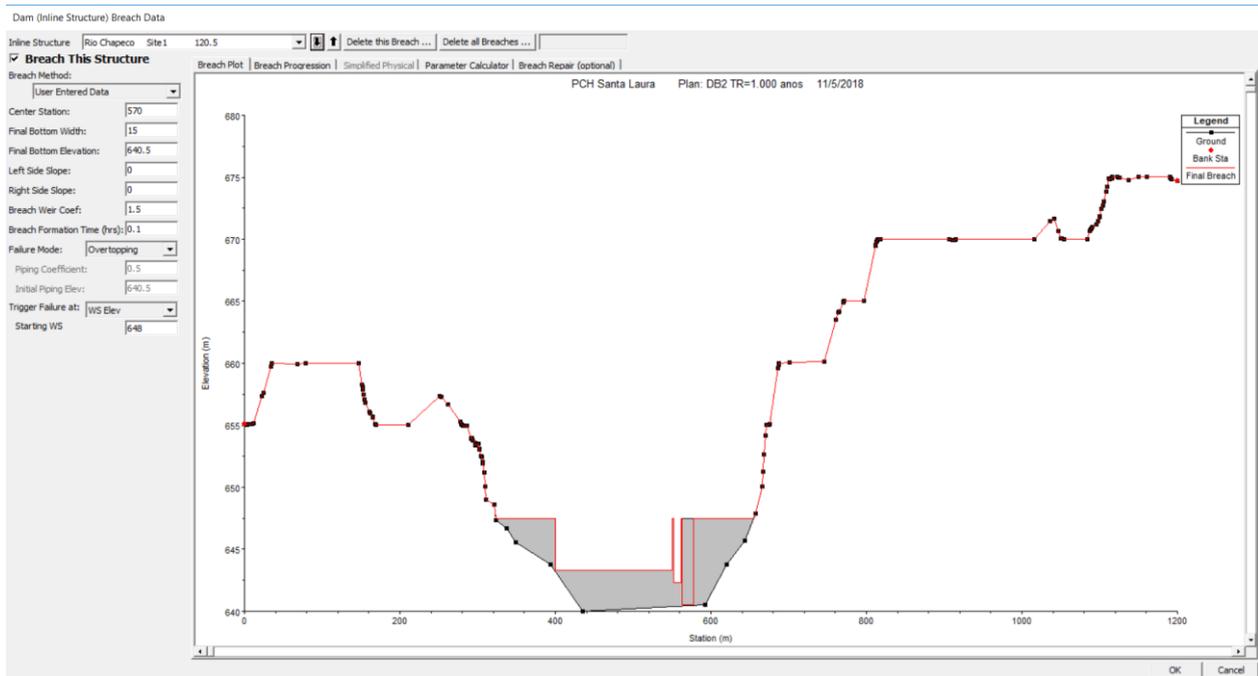


Figura 24 – Dados do Barramento Passo Ferraz – Hec-Ras

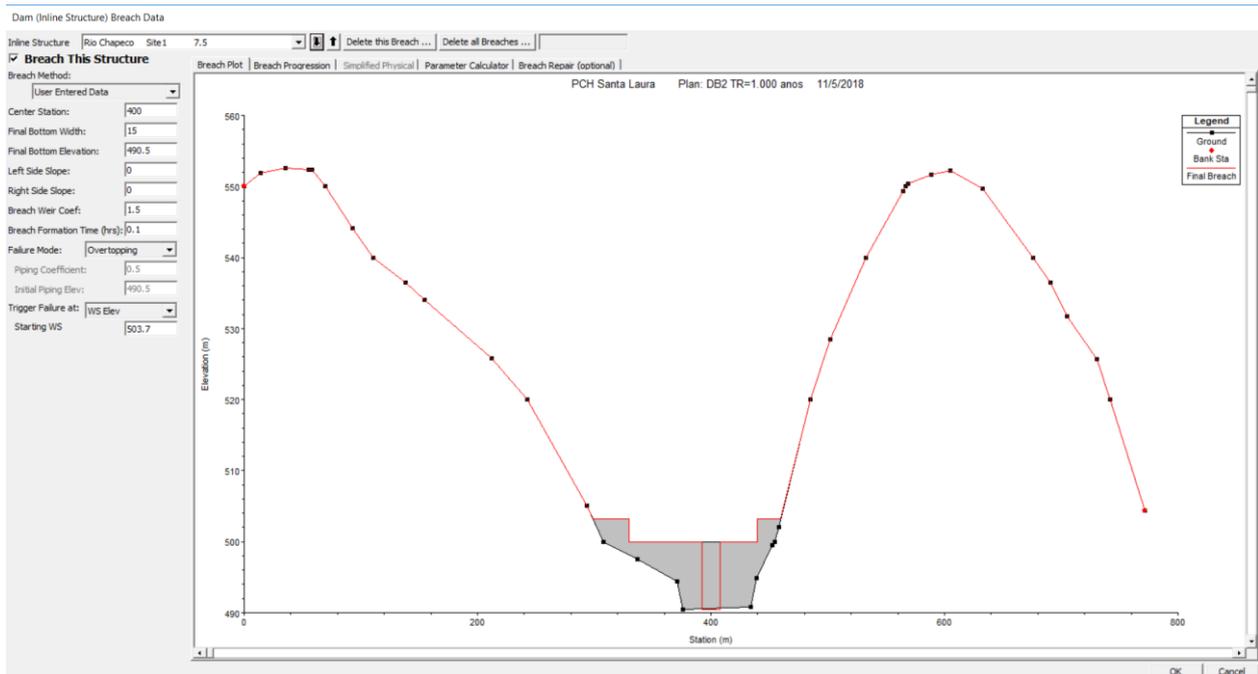


Figura 25 – Dados do Barramento Salto Voltão – Hec-Ras

O tempo de formação da brecha adotado para ambas as barragens foi de 6 minutos de acordo com os critérios científicos de tempo de formação da brecha, conforme descrito e apresentado na Figura 16 e definido no item 5.1.4.2 Tempo de rompimento.

5.4.3.4 Resultados Simulação 3

Todas as simulações de rompimento foram efetuadas para os tempos de recorrência de 100 e 1.000 anos, com o rompimento ocorrendo no pico máximo do hidrograma de enchentes para

cada tempo de recorrência considerado. As usinas de jusante foram rompidas após galgamento de 50 cm.

A Tabela 17 apresenta os resultados dos níveis de água obtidos na Barragem, Casa de Força, Ponte e Usinas de jusante com a consideração do rompimento da Barragem de Santa Laura e efeito de cascata.

A ponte de jusante é galgável a partir da enchente de TR=100 anos. E a Casa de Força Santa Laura, Barragem Passo Ferraz e Barragem Salto Voltão ocorre inundação com rompimento e TR=100 anos e TR=1.000 anos.

Tabela 19 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Santa Laura com rompimento da Barragem Santa Laura e efeito de cascata

Estrutura	Condição	Cota de Proteção (m)	NA Máximo (m)	
			TR 100	TR 1.000
Casa de Força Santa Laura	Natural sem rompimento	655,35	653,46	655,10
	Com rompimento barragem		660,81	661,49
Barragem PCH Passo Ferraz	Natural sem rompimento	647,50	645,99	647,51
	Com rompimento barragem		651,82	652,61
Ponte de Jusante	Natural sem rompimento	639,48	640,70	641,78
	Com rompimento barragem		645,01	645,66
Barragem Salto do Passo Velho	Natural sem rompimento	638,61	636,12	636,52
	Com rompimento barragem		637,98	638,28
Barragem Salto Voltão	Natural sem rompimento	503,20	502,88	503,46
	Com rompimento barragem		503,77	504,20

(*) Destacados, ocorre inundação.

5.5 Altura Máxima da Onda

A Tabela 20 apresenta os níveis máximos obtidos nas simulações 1 e 3, 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. Os pontos dos barramentos a jusante estão selecionados junto com outras seções de interesse que estão definidas nas descrições.

- Condição Natural – Sem rompimento da Barragem (Simulação 1);
- Dam Break – Com rompimento da Barragem (Simulação 3 – Efeito de cascata).

Tabela 20 – Resultados Obtidos- natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Santa Laura

PERFIL					TR 100 ANOS					TR 1.000 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		
242	NA5-15	44,38	50444,31	681,42	688,18	688,18	0	3,25	1255,69	688,9	688,9	0	3,73	1683,79
241		200	50399,93	681,32	688,26	688,26	0	2,86	1257,99	688,99	688,99	0	3,35	1689,99
240		200	50199,93	680,71	688,38	688,38	0	1,9	1274,17	689,18	689,18	0	2,18	1708,59
239	NA6-15	200	49999,93	680,14	688,34	688,34	0	1,73	1274,11	689,14	689,14	0	2,02	1708,52
238		200	49799,93	679,51	688,24	688,24	0	1,81	1258	689,01	689,01	0	2,16	1705,55
237	ST-03 15	200	49599,93	678,17	688,15	688,15	0	1,72	1255,74	688,9	688,9	0	2,04	1687,03
236		200	49399,93	678,4	688,08	688,08	0	1,38	1253,49	688,81	688,81	0	1,64	1684
235		200	49199,93	678,05	687,99	687,99	0	1,19	1251,28	688,68	688,68	0	1,45	1681,01
234		200	48999,93	677,67	687,9	687,9	0	1,34	1251,23	688,56	688,56	0	1,65	1680,96
233		200	48799,93	675,84	687,87	687,87	0	0,77	1251,14	688,53	688,53	0	0,94	1680,84
232		200	48599,93	671,59	687,83	687,83	0	0,85	1251,01	688,48	688,48	0	1,04	1678,22
231		200	48399,93	672,1	687,83	687,83	0	0,64	1250,87	688,48	688,48	0	0,78	1678,2
230		200	48199,93	671,31	687,83	687,83	0	0,53	1250,71	688,48	688,48	0	0,66	1680,25
229	ST04-15	200	47999,93	670,57	687,76	687,76	0	1,24	1250,62	688,37	688,36	0	1,55	1678,18
228		200	47799,93	667,45	687,8	687,8	0	0,71	1250,53	688,43	688,43	0	0,9	1678,16
227		140	47599,93	670,62	687,8	687,8	0	0,63	1250,43	688,44	688,43	0	0,8	1679,85
226	NA7-18	260,01	47459,93	670,52	687,81	687,81	0	0,49	1250,32	688,45	688,44	0	0,61	1678,15
225		200	47199,92	670,48	687,79	687,79	0	0,71	1250,14	688,42	688,41	0	0,89	1679,47
224		200	46999,92	668	687,79	687,79	0	0,57	1250,02	688,42	688,42	0	0,73	1679,31
223		200	46799,92	669,38	687,79	687,79	0	0,65	1249,91	688,41	688,41	0	0,82	1679,16
222		200	46599,92	668,93	687,77	687,77	0	0,82	1249,82	688,38	688,38	0	1,04	1679,03
221		200	46399,92	669,1	687,75	687,75	0	0,91	1249,73	688,35	688,35	0	1,15	1678,9
220		200	46199,92	668,83	687,75	687,74	0	0,73	1249,63	688,35	688,35	0	0,93	1678,76
219		200	45999,92	666,21	687,76	687,76	0	0,41	1249,5	688,37	688,36	0	0,52	1678,59
218		200	45799,92	666,62	687,75	687,75	0	0,5	1249,37	688,35	688,35	0	0,64	1678,4
217		200	45599,92	667,72	687,75	687,74	0	0,51	1249,23	688,35	688,34	0	0,64	1678,2

PERFIL					TR 100 ANOS					TR 1.000 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		
216		200	45399,92	665,52	687,75	687,74	0	0,43	1249,07	688,35	688,35	0	0,54	1677,97
215		200	45199,92	663,62	687,75	687,75	0	0,37	1248,93	688,35	688,35	0	0,48	1677,76
214	NA8-15	200	44999,92	664,59	687,75	687,75	0	0,26	1248,75	688,36	688,35	0	0,32	1677,5
213		200	44799,92	664,83	687,75	687,75	0	0,22	1248,45	688,36	688,36	0	0,29	1677,04
212		200	44599,92	661,93	687,75	687,75	0	0,23	1248,22	688,36	688,35	0	0,29	1676,72
211		200	44399,92	664,34	687,75	687,74	0	0,35	1248,03	688,35	688,35	0	0,45	1676,44
210		200	44199,92	663,86	687,75	687,74	0	0,37	1247,87	688,35	688,35	0	0,47	1676,19
209		200	43999,92	663,14	687,74	687,74	0	0,37	1247,72	688,35	688,34	0	0,48	1675,95
208		200	43799,92	663,14	687,74	687,74	0	0,42	1247,58	688,34	688,34	0	0,53	1675,75
207		200	43599,92	664,1	687,74	687,74	0	0,41	1247,45	688,34	688,34	0	0,52	1675,55
206		219,99	43399,92	665,07	687,74	687,73	0	0,44	1247,32	688,34	688,33	0	0,56	1675,31
205	ST-05 15	180	43179,93	666,55	687,74	687,74	0	0,31	1247,17	688,34	688,34	0	0,4	1675,07
204		200	42999,93	663,86	687,74	687,74	0	0,29	1247,03	688,34	688,34	0	0,36	1674,84
203		200	42799,93	662,69	687,74	687,73	0	0,33	1246,89	688,34	688,33	0	0,42	1674,62
202		200	42599,93	662,07	687,74	687,74	0	0,16	1246,76	688,34	688,34	0	0,2	1674,38
201		200	42399,93	662,48	687,74	687,73	0	0,3	1246,61	688,34	688,33	0	0,39	1674,11
200		200	42199,93	664,95	687,74	687,74	0	0,19	1246,47	688,34	688,34	0	0,24	1673,84
199		200	41999,93	662,07	687,74	687,73	1	0,29	1246,33	688,34	688,33	1	0,37	1673,54
198		200	41799,93	660,83	687,74	687,73	-0,01	0,27	1246,23	688,34	688,33	-0,01	0,35	1673,33
197		200	41599,93	663,62	687,74	687,73	-0,01	0,29	1246,14	688,34	688,33	-0,01	0,36	1673,13
196		200	41399,93	663,17	687,74	687,73	-0,01	0,27	1246,06	688,34	688,33	-0,01	0,35	1672,91
195		200	41199,93	663,86	687,74	687,73	-0,01	0,27	1245,99	688,33	688,33	0	0,34	1672,71
194		200	40999,93	662,9	687,73	687,73	0	0,3	1245,95	688,33	688,33	0	0,39	1672,55
193		200	40799,93	662,28	687,73	687,73	0	0,32	1245,94	688,33	688,32	-0,01	0,4	1672,43
192		200	40599,93	661,38	687,74	687,73	-0,01	0,21	1241,28	688,33	688,33	0	0,27	1672,29
191		200	40399,93	662,41	687,74	687,73	-0,01	0,21	1240,81	688,33	688,33	0	0,27	1672,14
190		200	40199,93	662,59	687,74	687,73	-0,01	0,16	1240,28	688,33	688,33	0	0,2	1671,99
189		200	39999,93	662,21	687,73	687,73	0	0,22	1239,73	688,33	688,33	0	0,28	1671,86

PERFIL					TR 100 ANOS					TR 1.000 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		
188		300,96	39799,93	663,21	687,73	687,73	0	0,2	1239,17	688,33	688,33	0	0,26	1671,74
187		175,16	39498,97	660	687,73	687,73	0	0,19	1238,45	688,33	688,33	0	0,24	1671,64
186		168,62	39323,81	661,38	687,73	687,73	0	0,18	1238	688,33	688,33	0	0,23	1671,6
185	ST-06 15	155,26	39155,19	663,51	687,73	687,73	0	0,3	1237,61	688,33	688,32	-0,01	0,38	1663,73
184		200	38999,93	660,83	687,73	687,73	0	0,23	1237,31	688,33	688,32	-0,01	0,3	1663,34
183		200	38799,93	661,9	687,73	687,73	0	0,29	1236,93	688,32	688,32	0	0,37	1662,86
182	NA9-15	200	38599,93	662,48	687,73	687,72	-0,01	0,29	1236,58	688,32	688,32	0	0,36	1662,43
181		200	38399,93	661,66	687,73	687,72	-0,01	0,29	1236,24	688,32	688,32	0	0,37	1662
180		200	38199,93	661,55	687,73	687,72	-0,01	0,34	1235,95	688,32	688,31	-0,01	0,43	1661,62
179		200	37999,93	661,52	687,72	687,72	0	0,34	1235,68	688,31	688,31	0	0,44	1661,28
178		190,92	37799,93	661,1	687,73	687,72	-0,01	0,22	1235,35	688,32	688,31	-0,01	0,28	1660,85
177	NA10-15	209,07	37609,01	659	687,73	687,72	-0,01	0,25	1235,06	688,32	688,31	-0,01	0,33	1660,49
Barragem PCH Santa Laura														
176		200	37399,94	662,46	674,67	682,85	8,18	3,26	6582,06	676,11	683,41	7,3	3,44	7273,68
175		200	37199,94	661,9	674,63	682,93	8,3	2,57	6561,3	676,07	683,5	7,43	2,68	7240,9
174		260,01	36999,94	661,36	674,4	682,03	7,63	4,4	6530,65	675,78	682,59	6,81	4,18	6697,17
173	NA6-18	140	36739,93	660,64	674,49	682,47	7,98	2,42	6485,3	675,9	683,03	7,13	2,55	7137,42
172		163,7	36599,93	660,5	674,27	682,11	7,84	3,28	6458,86	675,64	682,66	7,02	3,37	7102,95
171	SB-05	236,31	36436,23	662,2	674,35	682,38	8,03	1,65	6416,4	675,75	682,96	7,21	1,72	7048,55
170		200	36199,92	663,79	673,2	681,35	8,15	4,09	6342,1	674,34	681,99	7,65	3,9	6723,28
169		200	35999,92	663,21	672,96	681,03	8,07	3,21	6275,07	674,02	681,68	7,66	3,14	6717,21
168		200	35799,92	663,16	672,95	680,91	7,96	2,68	6217,81	674,02	681,53	7,51	2,71	6711,85
167		200	35599,92	663,72	672,68	680,26	7,58	3,74	6108,11	673,69	680,84	7,15	3,85	6706,9
166		144,14	35399,92	665,43	671,92	677,83	5,91	6,18	6106,35	672,76	678,33	5,57	6,36	6700,61
165	SPT-02 18	255,87	35255,78	657,65	671,98	678,34	6,36	2,9	6102,68	672,87	678,86	5,99	3,01	6692,85
164		118,98	34999,91	664,66	671,57	676,61	5,04	4,78	6096,84	672,33	677	4,67	5,01	6680,67
163	SB-04	281,04	34880,93	662,49	671,23	675,71	4,48	4,13	6093,52	671,94	676,03	4,09	4,28	6675,24
162		200	34599,89	665,38	670,4	674,61	4,21	1,88	6066,05	670,94	674,96	4,02	1,94	6633,28

PERFIL					TR 100 ANOS					TR 1.000 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		
161		200	34399,89	664,97	668,75	672,64	3,89	3,56	6042,02	669,29	672,95	3,66	3,58	6548,76
160		200	34199,89	660,17	664,43	669,74	5,31	3,78	6015,7	665,13	671,09	5,96	2,99	6083,58
159		200	33999,89	653,31	656,25	660,53	4,28	6,58	4770,21	656,65	661,27	4,62	6,53	5384,86
158		184,06	33799,89	640	653,56	661,17	7,61	1,08	5761,04	655,21	661,85	6,64	1,03	5891,94
157	NA5-18 e Casa de	215,94	33615,83	638,79	653,46	660,81	7,35	2,59	5548,69	655,1	661,49	6,39	2,63	5886,84
156		200	33399,89	638,62	653,21	659,72	6,51	4,19	4138,31	654,78	660,25	5,47	4,33	4446,46
155		200	33199,89	637,72	653,11	660,01	6,9	2,23	4344,12	654,67	660,63	5,96	2,24	4886,15
154		200	32999,89	638,69	653,1	659,82	6,72	2,4	4137,54	654,67	660,43	5,76	2,53	4659,63
153		200	32799,89	638,69	653,07	659,81	6,74	2,22	4136,34	654,63	660,42	5,79	2,31	4658,89
152		200	32599,89	638,49	653,05	659,82	6,77	1,88	4134,72	654,61	660,42	5,81	2,03	4657,97
151		284,85	32399,89	638,83	653,04	659,73	6,69	2,02	4132,76	654,6	660,31	5,71	2,34	4656,23
150	NA4-18	115,14	32115,04	638,69	653	659,78	6,78	1,42	4128,26	654,57	660,38	5,81	1,49	4653,07
149		200	31999,9	638,28	652,99	659,79	6,8	1,22	4126,27	654,54	660,4	5,86	1,25	4652,18
148		200	31799,9	638,69	652,88	659,68	6,8	1,91	4121,76	654,4	660,28	5,88	1,95	4649,26
147		200	31599,9	638,48	652,89	659,73	6,84	1,18	4116,45	654,42	660,34	5,92	1,18	4645,65
146		200	31399,9	639,1	652,76	659,7	6,94	1,34	4109,88	654,28	660,31	6,03	1,36	4642,05
145		200	31199,9	639,34	652,72	659,68	6,96	1,31	4102,8	654,24	660,29	6,05	1,35	4637,8
144		200	30999,9	639,89	652,64	659,64	7	1,42	4095,57	654,14	660,25	6,11	1,49	4633,47
143		200	30799,9	639,76	652,58	659,54	6,96	1,98	4088,48	654,06	660,14	6,08	2,13	4628,49
142		200	30599,9	639,93	652,43	659,28	6,85	2,9	3969,5	653,88	659,86	5,98	3,02	4504,29
141		200	30399,9	640,24	652,48	659,42	6,94	1,55	3967	653,96	660,01	6,05	1,69	4610,82
140		200	30199,9	640,31	652,42	659,39	6,97	1,36	3963,62	653,89	659,98	6,09	1,41	4593,82
139		200	29999,9	640,07	652,11	659,02	6,91	2,45	3959,84	653,57	659,62	6,05	2,48	4506,1
138		200	29799,9	640,55	652,13	658,84	6,71	1,96	3955,28	653,6	659,39	5,79	2,11	4502,49
137		200	29599,9	640,14	651,85	658,73	6,88	1,44	3887,08	653,32	659,29	5,97	1,52	4496,07
136		200	29399,9	640,62	651,62	658,62	7	1,13	3885,88	653,08	659,18	6,1	1,16	4425,75
135		200	29199,9	640,41	651,54	658,47	6,93	1,18	3883,22	652,99	659,03	6,04	1,23	4423,48
134		200	28999,9	640,14	651,29	658,33	7,04	1,3	3879,54	652,73	658,9	6,17	1,32	4420,02

PERFIL					TR 100 ANOS					TR 1.000 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		
133		200	28799,9	640	651,12	658,19	7,07	1,25	3874,27	652,52	658,77	6,25	1,26	4414,91
132	NA-3 18	200	28599,9	640,06	650,64	657,43	6,79	2,67	3867,61	651,94	658,14	6,2	2,65	4408,82
131		200	28399,9	640,38	650,33	656,74	6,41	2,79	3839,82	651,6	657,52	5,92	2,73	4372,35
130		200	28199,9	640,34	649,72	655,75	6,03	3,47	3836,4	650,92	656,76	5,84	3,14	4368,64
129		200	27999,9	640,76	649,14	654,61	5,47	4	3802,77	650,32	655,64	5,32	3,8	4329,02
128		200	27799,9	640,34	648,89	654,3	5,41	3,07	3800,12	650,11	655,12	5,01	3,1	4324,78
127		152,22	27599,9	640,26	648,54	654,14	5,6	2,28	3795,99	649,81	654,93	5,12	2,3	4282,29
126	SB-02	247,77	27447,68	639,77	648,41	654,17	5,76	1,23	3790,64	649,73	654,98	5,25	1,24	4282,13
125		200	27199,91	640,69	647,27	652,65	5,38	4,28	3731,15	648,45	653,57	5,12	4,09	4239,82
124		320	26999,91	640,3	647,01	652,5	5,49	2,96	3730,33	648,3	653,29	4,99	3,06	4238,95
123	NA2- 18	80	26679,91	639,78	646,18	651,62	5,44	3,49	3696,71	647,54	652,39	4,85	3,59	4190,87
122		150	26599,91	640,43	645,97	651,52	5,55	3,25	3696,33	647,41	652,28	4,87	3,35	4190,49
121		50	26449,91	640	645,99	651,82	5,83	1,14	3695,42	647,51	652,61	5,1	1,18	4189,77
Barragem PCH Passo Ferraz														
120		114,94	26399,91	637,07	645,89	651,75	5,86	1,41	3695,42	647,43	652,54	5,11	1,46	4189,77
119		285,06	26284,97	636,81	645,61	651,44	5,83	2,09	3694,51	647,19	652,22	5,03	2,18	4189,01
118		200	25999,91	635,14	645,04	650,83	5,79	1,85	3659,76	646,68	651,59	4,91	1,94	4142,03
117	Casa de Força	200	25799,91	635,12	644,84	650,57	5,73	1,93	3658,77	646,49	651,33	4,84	2	4141,36
116		200	25599,91	633,19	644,78	650,54	5,76	0,84	3656,13	646,44	651,31	4,87	0,87	4139,2
115		200	25399,91	632,79	644,67	650,36	5,69	1,32	3653,14	646,32	651,13	4,81	1,33	4136,7
114		200	25199,91	633,59	644,5	650,31	5,81	0,77	3648,51	646,22	651,09	4,87	0,78	4132,81
113		200	24999,91	633,44	644,4	650,23	5,83	0,93	3643,04	646,14	651	4,86	0,95	4128,04
112		200	24799,91	633,28	643,7	649,86	6,16	1,77	3638,61	645,34	650,66	5,32	1,75	4124,1
111		200	24599,91	632,16	643,15	649,07	5,92	2,51	3635,67	644,45	649,82	5,37	2,56	4121,09
110		200	24399,91	630,26	642,69	647,99	5,3	2,9	3629,04	643,84	648,73	4,89	2,93	4118,5
109		261,24	24199,91	632,5	641,72	645,86	4,14	4,66	3628,41	642,71	646,45	3,74	4,89	4111,73
108	SPT-01 18	202,26	23938,67	630,16	641,25	645,48	4,23	1,24	3625	642,25	646,1	3,85	1,3	4109,98
107	Ponte	104,04	23736,41	632,82	640,7	645,01	4,31	2,1	3615,22	641,78	645,66	3,88	1,97	4106,86

PERFIL					TR 100 ANOS					TR 1.000 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		
106	SB1 e NA1-18	232,44	23632,37	631,33	640,62	644,95	4,33	1,29	3615,19	641,72	645,56	3,84	1,31	4104,97
105		200	23399,93	631,77	639,47	643,12	3,65	4,32	3615,1	640,46	643,59	3,13	4,54	4102,35
104		200	23199,93	631,25	637,52	640,38	2,86	4,2	3614,97	638,24	640,77	2,53	4,4	4101,19
103		200,01	22999,93	629,41	636,12	637,98	1,86	3,46	3614,75	636,52	638,28	1,76	3,72	4098,31
Barragem Salto do Passo Velho														
102		200	22799,92	619,78	625,22	628,91	3,69	5,68	3614,75	626,07	629,42	3,35	6,02	4098,31
101		200	22599,92	614,95	623,63	627,41	3,78	2,86	3522,53	624,63	628,08	3,45	2,96	3978,29
100		200	22399,92	613,03	623,25	626,99	3,74	2,13	3427,74	624,26	627,67	3,41	2,24	3929,09
99		200	22199,92	611,45	623,17	626,9	3,73	1,37	3427,44	624,18	627,59	3,41	1,47	3927,99
98		200	21999,92	611,69	623,12	626,84	3,72	0,92	3426,63	624,13	627,53	3,4	0,96	3877,5
97		200	21799,92	611,86	623,01	626,68	3,67	1,27	3424,58	624	627,37	3,37	1,28	3876,8
96		200	21599,92	611,66	622,88	626,45	3,57	1,33	3375,87	623,85	627,1	3,25	1,35	3825,91
95		200	21399,92	611,45	622,79	626,26	3,47	1,39	3325,96	623,74	626,91	3,17	1,48	3824,69
94		200	21199,92	611,33	622,74	626,2	3,46	0,97	3324,87	623,69	626,85	3,16	1,02	3773,18
93		200	20999,92	611,33	622,71	626,14	3,43	0,92	3323,23	623,65	626,79	3,14	0,98	3772,63
92		200	20799,92	611,81	622,66	626,05	3,39	1,06	3276,19	623,59	626,69	3,1	1,13	3771,56
91		200	20599,92	611,57	622,6	625,99	3,39	0,8	3275,36	623,54	626,63	3,09	0,84	3769,56
90		200	20399,92	610,52	622,54	625,87	3,33	0,95	3273,82	623,46	626,51	3,05	1,01	3723,22
89		200	20199,92	610,55	622,48	625,77	3,29	0,99	3230,47	623,4	626,4	3	1,06	3722,33
88		200	19999,92	610,6	622,37	625,55	3,18	1,36	3187,23	623,26	626,17	2,91	1,45	3678,98
87		200	19799,92	610,48	622,31	625,49	3,18	0,63	3186,64	623,2	626,1	2,9	0,67	3677,5
86		200	19599,92	610,41	622,27	625,42	3,15	0,79	3185,44	623,15	626,03	2,88	0,83	3636,29
85		200	19399,92	610,41	622,22	625,34	3,12	0,75	3183,6	623,09	625,95	2,86	0,78	3635,99
84		200	19199,92	610,28	622,18	625,27	3,09	0,78	3146,72	623,04	625,87	2,83	0,84	3635,15
83		200	18999,92	610,34	622,13	625,2	3,07	0,74	3146,19	622,99	625,81	2,82	0,79	3633,79
82		200	18799,92	610,17	622,1	625,16	3,06	0,64	3145,08	622,95	625,76	2,81	0,68	3631,75
81		200	18599,92	610,41	622,04	625,08	3,04	0,73	3143,42	622,89	625,68	2,79	0,77	3629,16
80		200	18399,92	610,69	621,97	624,95	2,98	1	3114,93	622,81	625,54	2,73	1,07	3599,39

PERFIL					TR 100 ANOS					TR 1.000 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		
79		200	18199,92	610,14	621,91	624,86	2,95	0,93	3114,52	622,74	625,44	2,7	1	3598,57
78		200	17999,92	610,83	621,86	624,78	2,92	0,76	3113,56	622,68	625,36	2,68	0,81	3597,13
77		200	17799,92	610,48	621,8	624,71	2,91	0,73	3111,98	622,62	625,29	2,67	0,78	3595
76		200	17599,92	610,36	621,7	624,55	2,85	1,15	3089,14	622,51	625,11	2,6	1,23	3569,9
75		200	17399,92	610,6	621,57	624,35	2,78	1,19	3088,5	622,36	624,91	2,55	1,27	3569,17
74		200	17199,92	610,48	621,49	624,23	2,74	0,94	3066,68	622,27	624,78	2,51	1,02	3567,7
73		200	16999,92	610,72	621,42	624,15	2,73	0,64	3066,34	622,2	624,69	2,49	0,67	3543,6
72		200	16799,92	610,55	621,32	624,03	2,71	0,87	3065,49	622,09	624,57	2,48	0,92	3543,09
71		200	16599,92	609,31	621,19	623,91	2,72	0,73	3063,99	621,96	624,46	2,5	0,76	3541,93
70		200	16399,92	609,93	621,07	623,75	2,68	1,01	3047,88	621,84	624,28	2,44	1,09	3540,53
69		200	16199,92	609,31	620,93	623,51	2,58	1,35	3047,52	621,68	624,03	2,35	1,45	3522,62
68		200	15999,92	609,83	620,79	623,28	2,49	1,33	3031,62	621,51	623,78	2,27	1,43	3522,12
67		200	15799,92	610,55	620,65	623,11	2,46	0,72	3031,12	621,36	623,61	2,25	0,76	3520,5
66		200	15599,92	609,66	620,5	623,01	2,51	0,69	3029,68	621,25	623,51	2,26	0,73	3502,68
65		200	15399,92	610,69	620,37	622,87	2,5	0,94	3028,14	621,12	623,36	2,24	1	3502,22
64		200	15199,92	610,41	620,23	622,74	2,51	0,78	3016,49	620,99	623,23	2,24	0,82	3501,28
63		200	14999,92	610,52	620,06	622,58	2,52	0,93	3016,07	620,81	623,07	2,26	0,96	3499,72
62		200	14799,92	610,28	619,91	622,41	2,5	0,87	3015,31	620,65	622,9	2,25	0,92	3497,99
61		200	14599,92	610,12	619,74	622,19	2,45	1,12	3014,34	620,47	622,67	2,2	1,2	3496,17
60		200	14399,92	610,28	619,5	621,93	2,43	1,26	3013,24	620,22	622,4	2,18	1,34	3489,58
59		200	14199,92	610,09	618,99	621,33	2,34	1,85	3007,71	619,68	621,77	2,09	1,95	3489,22
58		200	13999,92	610,24	618,22	620,48	2,26	1,95	3000,09	618,85	620,92	2,07	2,04	3480,86
57		200	13799,92	609,21	617,44	619,54	2,1	1,27	2989,91	617,95	620	2,05	1,31	3468,8
56		200	13599,92	610,09	616,98	619,29	2,31	0,84	2987,9	617,54	619,77	2,23	0,88	3466,84
55		200	13399,92	610,21	616,73	619,14	2,41	0,73	2978,39	617,31	619,63	2,32	0,74	3454,96
54		200	13199,92	610,12	616,25	618,89	2,64	1,13	2977,84	616,9	619,39	2,49	1,17	3454,67
53		200	12999,92	606,47	614,72	618,6	3,88	1,03	2977,06	616,24	619,12	2,88	1,07	3453,96
52		200	12799,92	605,55	613,29	618,01	4,72	1,58	2976,12	614,46	618,62	4,16	1,54	3452,84

PERFIL					TR 100 ANOS					TR 1.000 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		
51		200	12599,92	603,97	612,53	616,78	4,25	2,37	2969,42	613,53	617,45	3,92	2,16	3242,73
50		200	12399,92	605,79	609,9	613,08	3,18	5,19	2965,43	610,7	613,88	3,18	4,91	3370,89
49		200	12199,92	591,09	596,16	599,2	3,04	7,27	2975,7	596,87	601,38	4,51	5,67	3393,41
48		400	11999,92	580,69	586,98	591,29	4,31	3,9	2955,89	588,59	593,03	4,44	3,22	3349,65
47		410,94	11599,92	547,07	554,45	557,93	3,48	4,58	2974,85	555,6	558,72	3,12	4,51	3450,19
46		189,04	11188,98	540,48	547,07	549,85	2,78	3,95	2971,7	547,89	550,41	2,52	4,01	3449,78
45		200	10999,94	531,34	544,15	547,71	3,56	2,56	2965,36	545,2	548,46	3,26	2,65	3438,13
44		200	10799,94	531,17	543,2	546,82	3,62	2,47	2956,63	544,25	547,59	3,34	2,55	3437,45
43		200	10599,94	531,21	542,42	546,18	3,76	2,04	2946,01	543,48	546,98	3,5	2,13	3435,9
42		200	10399,94	530,62	541,95	545,77	3,82	1,77	2934,25	543,03	546,57	3,54	1,86	3420,14
41		200	10199,94	528,5	541,13	545,21	4,08	2,12	2933,78	542,32	546,01	3,69	2,21	3419,3
40		200	9999,94	529,1	540,69	544,94	4,25	1,44	2921,26	541,97	545,75	3,78	1,54	3417,7
39		200	9799,94	529,1	540,48	544,73	4,25	1,47	2920,99	541,76	545,52	3,76	1,58	3415,71
38		200	9599,94	528,28	540,29	544,54	4,25	1,45	2920,49	541,58	545,32	3,74	1,55	3413,47
37		200	9399,94	528,28	540,12	544,36	4,24	1,37	2919,74	541,4	545,13	3,73	1,46	3410,8
36		200	9199,94	528,21	539,98	544,21	4,23	1,24	2918,7	541,26	544,97	3,71	1,32	3390,81
35		200	8999,94	528,9	539,82	544,04	4,22	1,31	2917,47	541,1	544,8	3,7	1,39	3390,62
34		200	8799,94	528,69	539,59	543,8	4,21	1,54	2909,23	540,85	544,54	3,69	1,63	3390,11
33		200	8599,94	529,1	539,34	543,54	4,2	1,5	2908,93	540,6	544,27	3,67	1,59	3389,22
32		400	8399,94	527,66	539,12	543,32	4,2	1,44	2908,45	540,37	544,03	3,66	1,54	3381,12
31		486,5	7999,94	528,79	538,72	542,8	4,08	1,67	2907,23	539,92	543,46	3,54	1,8	3380,72
30		393,44	7513,44	528,97	538,1	542,02	3,92	1,54	2901,37	539,21	542,61	3,4	1,63	3376,9
29		720	7120	528,28	537,2	541,01	3,81	1,81	2900,19	538,25	541,67	3,42	1,76	3375,78
28		400	6400	527,66	531,8	533,86	2,06	6,61	2896,63	532,35	534,48	2,13	6,74	3372,23
27		400	6000	509,93	523,51	527,42	3,91	1,23	2863,21	524,74	528,25	3,51	1,35	3334,87
26		200	5600	509,52	523,41	527,27	3,86	1,17	2862,54	524,64	528,08	3,44	1,27	3332,93
25		200	5400	508,48	523,37	527,2	3,83	1,14	2862,04	524,58	528	3,42	1,23	3331,65
24		200	5200	509,1	523,31	527,12	3,81	1,09	2861,39	524,51	527,92	3,41	1,17	3317,73

PERFIL					TR 100 ANOS					TR 1.000 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		
23		200	5000	509,41	523,28	527,08	3,8	0,85	2860,57	524,48	527,88	3,4	0,92	3317,62
22		200	4800	510,6	523,26	527,05	3,79	0,82	2859,65	524,46	527,84	3,38	0,88	3317,45
21		200	4600	509,52	523,21	526,96	3,75	1,17	2858,82	524,4	527,74	3,34	1,26	3317,24
20		200	4400	509,1	523,13	526,82	3,69	1,42	2858,1	524,3	527,59	3,29	1,53	3317
19		200	4200	509,31	523,05	526,67	3,62	1,48	2857,42	524,2	527,43	3,23	1,6	3316,72
18		200	4000	511,08	522,96	526,53	3,57	1,5	2856,68	524,1	527,27	3,17	1,62	3316,35
17		200	3800	511,1	522,9	526,48	3,58	0,88	2852,72	524,04	527,23	3,19	0,93	3315,75
16		200	3600	511,1	522,84	526,34	3,5	1,28	2852,68	523,96	527,07	3,11	1,39	3315,16
15		200	3400	511,24	522,8	526,26	3,46	1,19	2852,62	523,91	526,99	3,08	1,3	3314,64
14		200	3200	511,44	522,73	526,12	3,39	1,5	2852,55	523,82	526,82	3	1,64	3314,14
13		200	3000	513,24	521,87	524,87	3	3,07	2852,48	522,86	525,47	2,61	3,29	3313,77
12		400	2800	512,21	520,98	523,72	2,74	3,3	2852,38	521,88	524,25	2,37	3,51	3313,41
11		200	2400	511,95	518,25	520,76	2,51	2,77	2851,97	519,09	521,24	2,15	2,84	3311,66
10		200	2200	511,25	514,48	515,65	1,17	6,85	2851,54	514,96	515,92	0,96	7,43	3311,38
9		200	2000	498,97	503,53	505,63	2,1	4,36	2851,31	504,23	506,15	1,92	4,44	3311,38
8		600	1800	490,45	502,88	503,77	0,89	2,02	2851,01	503,46	504,2	0,74	2,23	3299,9
Barragem Salto Voltão														
7		200	1200	488,28	491,82	497,02	5,2	5,17	2841	492,01	498,14	6,13	4,71	3292,06
6		200	1000	473,26	482,14	486,39	4,25	2,83	2850,86	484,04	487,35	3,31	2,95	3308,35
5		200	800	470,93	481,69	486,11	4,42	1,89	2850,36	483,66	487,1	3,44	2,02	3308,17
4		200	600	470,82	481,38	485,81	4,43	1,68	2849,8	483,35	486,8	3,45	1,8	3307,95
3		200	400	470,39	480,79	485,08	4,29	2,8	2849,22	482,75	486,05	3,3	2,98	3307,7
2		200	200	470,6	480,59	484,84	4,25	2,46	2848,72	482,52	485,8	3,28	2,61	3307,48
1		0	0	470,1	480,42	484,69	4,27	1,96	2848,1	482,34	485,67	3,33	2,06	3307,2

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

As seções topobatimétricas SB são referentes aos dados existentes 2007, seções topobatimétricas ST e os níveis de água NA – 15 são referentes aos levantamentos topográficos 2015 e seções topobatimétricas SPT e níveis de água NA-18 levantamentos 2018. Todos os dados estão apresentados no Anexo I – 2 Topografia.

5.6 Limite Físico a Jusante da PCH Santa Laura

O limite físico do trecho estudado, foi do início do reservatório da PCH Santa Laura até a última usina de jusante, PCH Salto Voltão, compreendendo cerca de 50,44 km. Este trecho compreende estabelecido:

- Acima do limite máximo de 25 km - Volume Reservatório entre 3 -50 hm³, de acordo com Guia da ANA Volume V;
- 3 horas após rompimento da barragem Santa Laura, de acordo ANA;
- Até Usina de jusante – PCH Salto Voltão, de acordo com ANEEL.

5.7 Relação Nível de água x Tempo das Seções de Interesse

No trecho de jusante da Barragem Santa Laura existe benfeitoras tipo edificações, pontes e usinas de jusante, este fato foi confirmado pelo *Google Earth/Restituição* e verificadas em campo na realização da inspeção civil 2018.

Considerando o momento da ruptura descritos no item 5.3, serão apresentados os cotogramas das seções onde foram detectadas benfeitorias em risco, listadas na Tabela 21.

Tabela 21 – Localização das Seções de Interesse

Seções	Descrição	Estaca (m)	Distância da Barragem PCH
177	Barragem Santa Laura	37.409,01	0
162	Propriedades	34.599,89	2,81
157	Casa de Força Santa Laura	33.415,83	3,99
126	Propriedades	27.447,68	9,96
121	Barragem PCH Passo Ferraz	26.250	11,16
117	Casa de Força Passo Ferraz	25.600	11,81
108	Propriedades	23.739	13,67
107	Ponte de Jusante	23.536	13,87
106	Propriedades	23.432	13,98
103	Barragem Salto do Passo Velho	22.800	14,61
85	Propriedades	19.400	18,01
84	Propriedades	19.200	18,21
55	Propriedades	13.400	24,01
50	Propriedades	12.400	25,01
8	Barragem Salto Voltão	1.600	35,81

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. Nos cotogramas o eixo X corresponde ao tempo a partir do rompimento e o eixo Y o nível em metros atingido pela onda de cheia. As linhas de água traçadas nos cotogramas abaixo representam diferentes vazões estudadas,

tempo de recorrência de 100 anos e 1.000 anos. A Figura 26 indica a legenda dos traçados utilizados para cada simulação, linha contínua para vazão de cheia natural e tracejada para cheia juntamente com o rompimento dam break sendo a mesma cor para o mesmo hidrograma de entrada com a mesma vazão de enchente no mesmo tempo de recorrência.

Linhas com grande variação nos cotogramas, como um serrilhado, indicam trechos onde ocorrem grandes variações de níveis. Nesses trechos o escoamento se comporta como em uma corredeira ocorrendo flutuação rápida nos níveis de água indicando grande velocidade e variação do fluxo de fluvial para torrencial. Em alguns casos a variação de nível é tão acentuada que impossibilita ao programa reproduzir o cotograma de maneira consistente.



Figura 26 – Legenda dos Cotogramas

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.

5.7.1 SL-162 – Propriedades

As propriedades a jusante da Barragem PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-162, está localizada cerca de 2,81 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 27).



Figura 27 – Localização propriedades - SL-162

Tabela 22 – Detalhe das simulações - SL-162 – Propriedades

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	670,4	674,61	4,21	00:05	01:40	14:05
1.000 ANOS	670,94	674,96	4,02	00:05	01:40	12:15

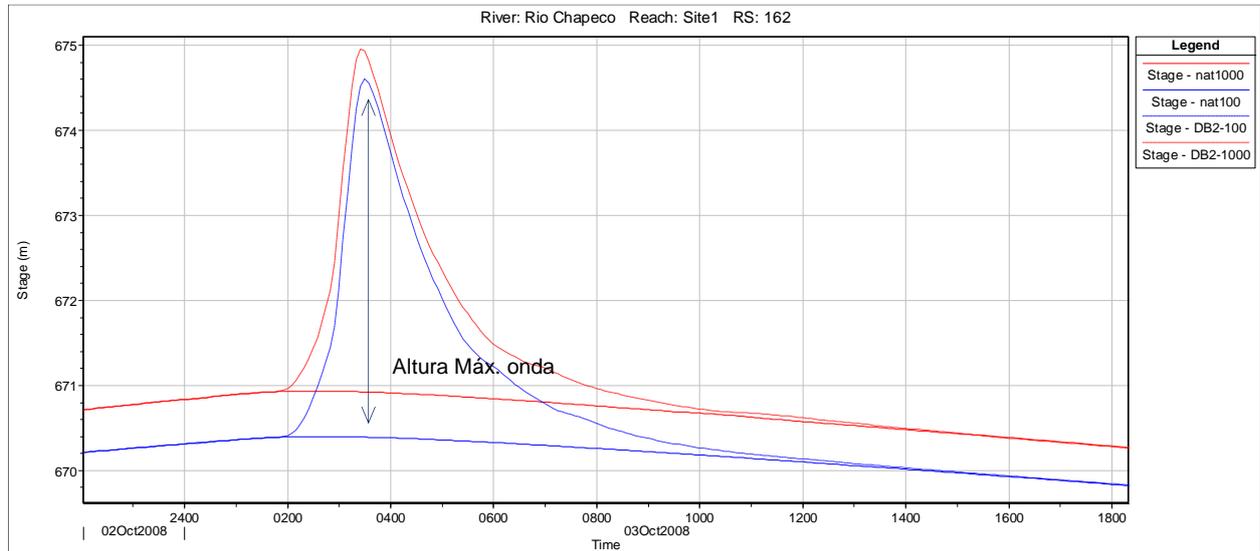


Figura 28 – Cotograma - SL-162 – Propriedades

5.7.2 SL-157 – Casa de Força – PCH Santa Laura

A Casa de Força da PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-157, está localizada cerca de 3,99 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 29).



Figura 29 – Localização Casa de Força - SL-157

Tabela 23 – Detalhe das simulações - SL-157 – Casa de Força Santa Laura

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	653,46	660,81	7,35	00:10	01:55	16:00
1.000 ANOS	655,1	661,49	6,39	00:10	02:00	17:15

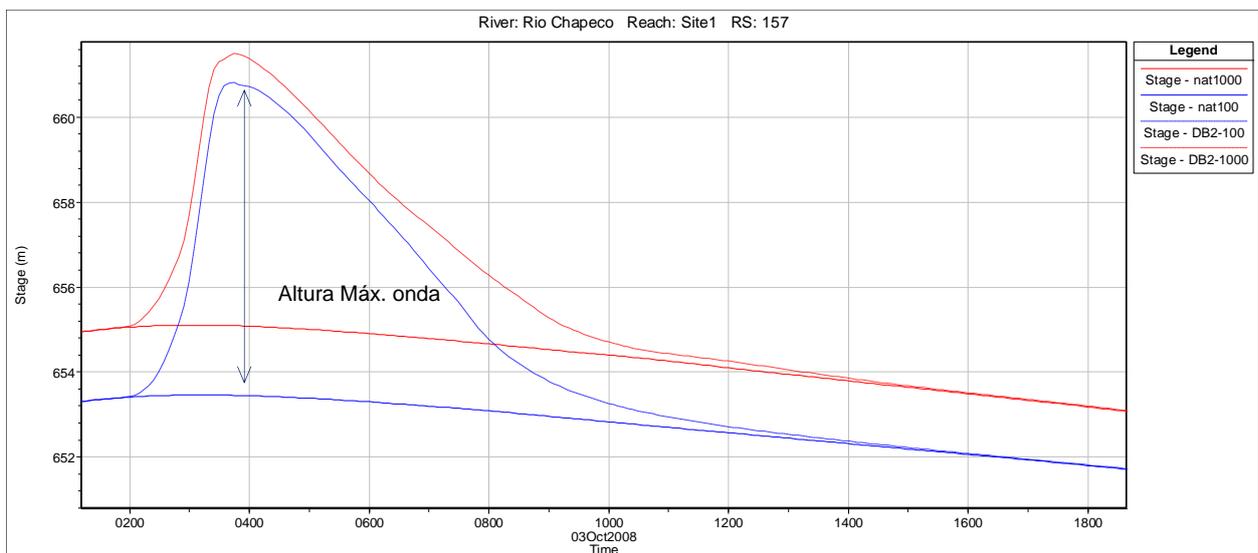


Figura 30 – Cotograma - SL-157 – Casa de Força Santa Laura

5.7.3 SL-126 – Propriedades

As propriedades a jusante da Barragem PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-126, está localizada cerca de 9,96 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 31).



Figura 31 – Localização propriedades - SL-126

Tabela 24 – Detalhe das simulações - SL-126 – Propriedades

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	648,41	654,17	5,76	00:20	02:45	20:50
1.000 ANOS	649,73	654,98	5,25	00:15	02:45	18:15

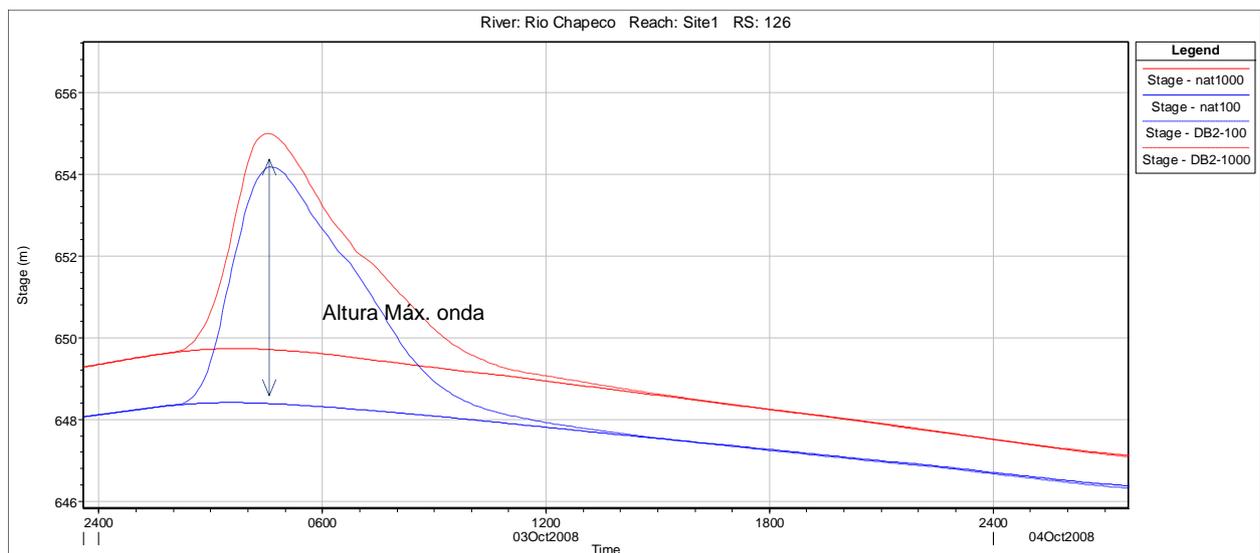


Figura 32 – Cotagrama - SL-126 – Propriedades

5.7.4 SL-121 – Barragem PCH Passo Ferraz

A Barragem da PCH Passo Ferraz a jusante da Barragem PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-121, está localizada cerca de 11,16 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 33).



Figura 33 – Localização Barragem Passo Ferraz - SL-121

Tabela 25 – Detalhe das simulações - Barragem Passo Ferraz - SL-121

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	645,99	651,82	5,83	00:25	03:00	10:45
1.000 ANOS	647,51	652,61	5,10	00:25	03:00	14:15

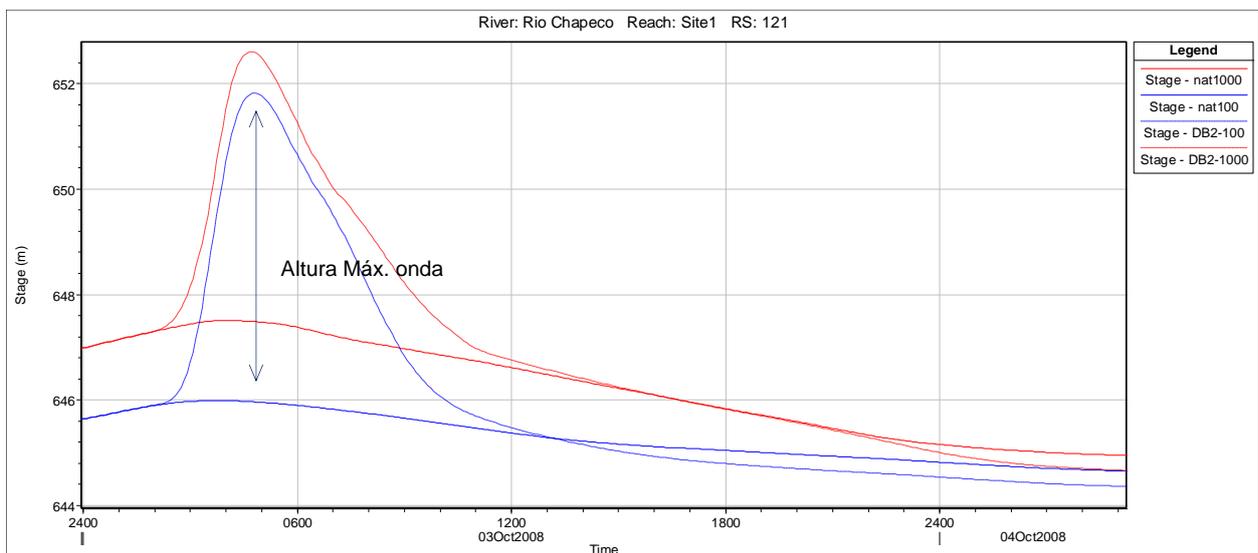


Figura 34 – Cotagrama - Barragem Passo Ferraz - SL-121

5.7.5 SL-117 – Casa de Força Passo Ferraz

A Casa de Força da PCH Passo Ferraz a jusante da Barragem PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-117, localizada cerca de 11,81 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 35).



Figura 35 – Localização Casa de Força Passo Ferraz - SL-117

Tabela 26 – Detalhe das simulações - SL-117 – Casa de Força Passo Ferraz

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	644,84	650,57	5,73	00:30	03:05	15:40
1.000 ANOS	646,49	651,33	4,84	00:30	03:05	16:15

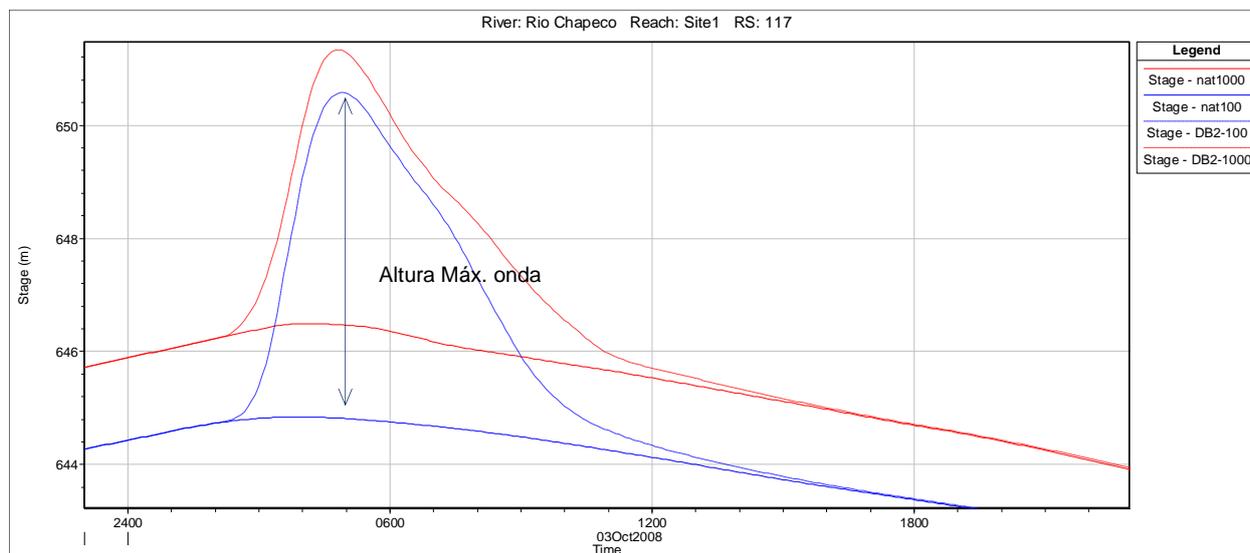


Figura 36 – Cotagrama - SL-117 – Casa de Força Passo Ferraz

5.7.6 SL-108/107/106 – Propriedades e Ponte

As propriedades a jusante da Barragem PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-108 e SL-106 e ponte identificada como SL-107, está localizada cerca de 13,67 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 37).



Figura 37 – Localização propriedades - SL-108/107/106

Tabela 27 – Detalhe das simulações - SL-108/107/106 – Propriedades e Ponte

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	641,25	645,48	4,23	00:32	03:10	16:38
1.000 ANOS	642,25	646,1	3,85	00:32	03:10	17:15

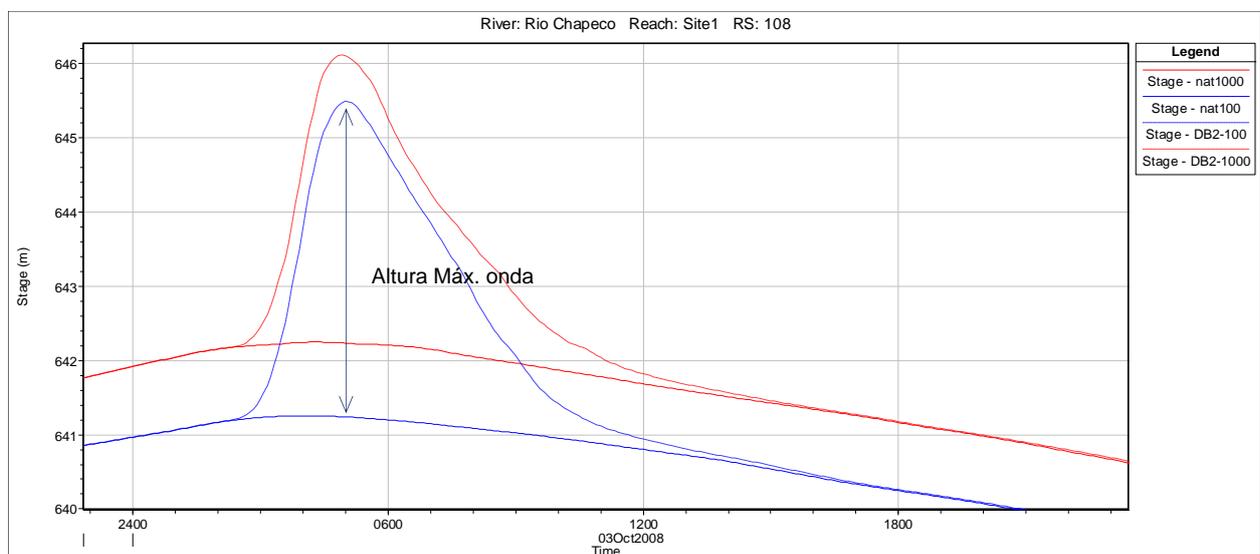


Figura 38 – Cotograma - SL-108/107/106 – Propriedades e Ponte

5.7.7 SL-103 – Barragem Salto Passo Velho

A Barragem da PCH Salto Passo Velho a jusante da Barragem PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-103, localizada cerca de 14,61 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 39).



Figura 39 – Localização Barragem Salto Passo Velho - SL-103

Tabela 28 – Detalhe das simulações - SL-103 Barragem Salto Passo Velho

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	636,12	637,98	1,86	00:40	03:15	17:30
1.000 ANOS	636,52	638,28	1,76	00:35	03:15	18:15

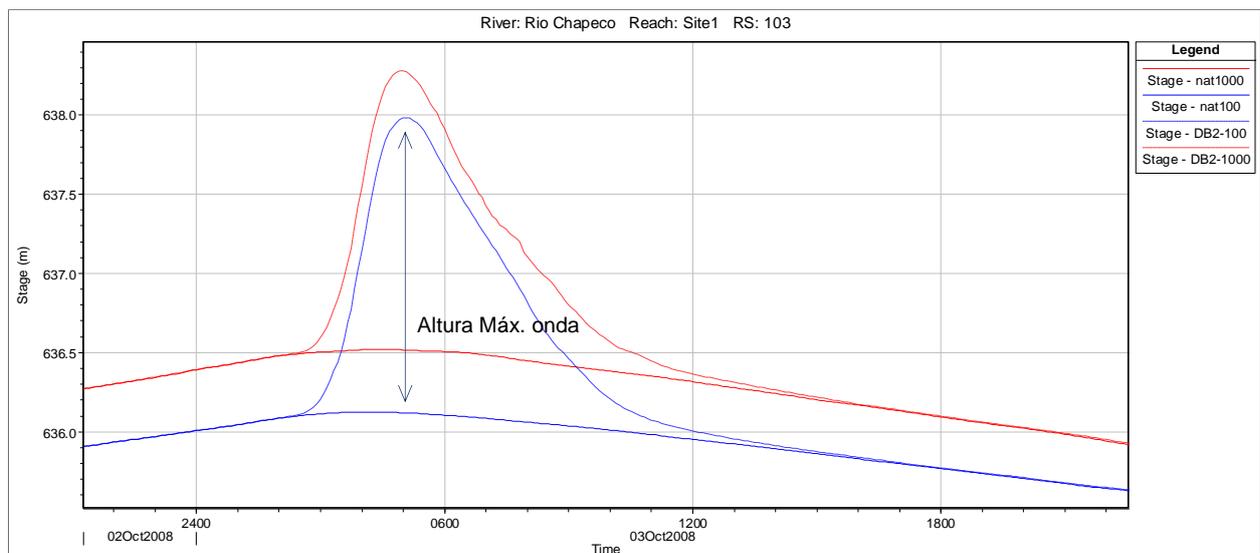


Figura 40 – Cotagrama - SL-103 Barragem Salto Passo Velho

5.7.8 SL-85/84 – Propriedades

As propriedades a jusante da Barragem PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-85/84, está localizada cerca de 18,01 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 41).



Figura 41 – Localização propriedades - SL-85/84

Tabela 29 – Detalhe das simulações - SL-85/84– Propriedades

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	622,22	625,34	3,12	00:40	04:10	19:30
1.000 ANOS	623,09	625,95	2,86	00:45	04:10	20:15

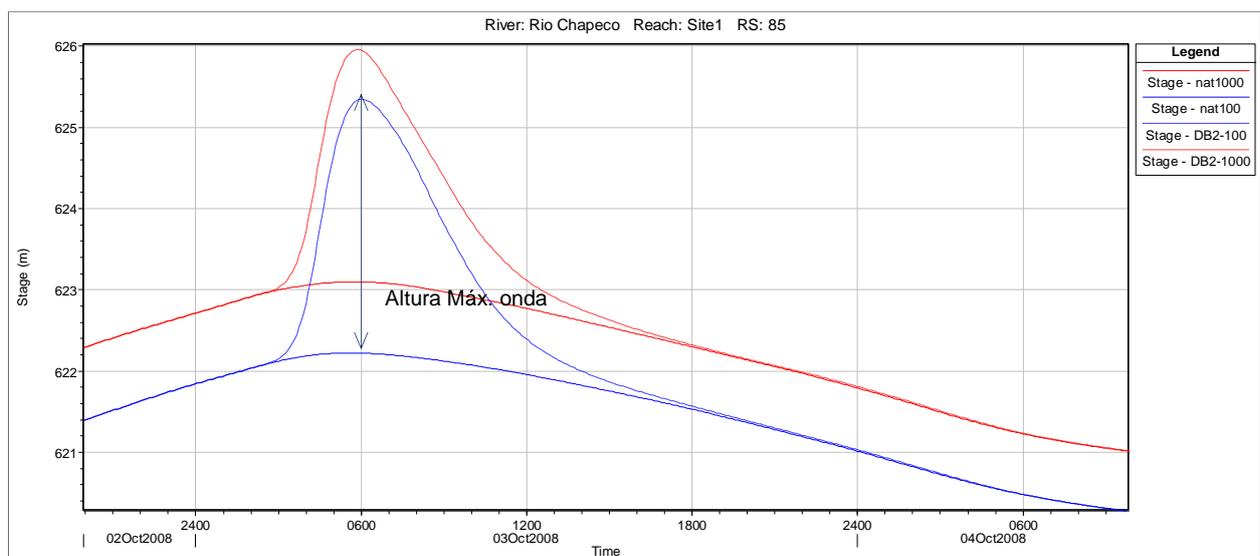


Figura 42 – Cotograma - SL-85/84– Propriedades

5.7.9 SL-55 – Propriedades

As propriedades a jusante da Barragem PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-55, está localizada cerca de 24,01 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 43).



Figura 43 – Localização propriedades - SL-55

Tabela 30 – Detalhe das simulações - SL-55 – Propriedades

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	616,73	619,14	2,41	01:10	05:05	18:00
1.000 ANOS	617,31	619,63	2,32	01:10	04:55	19:15

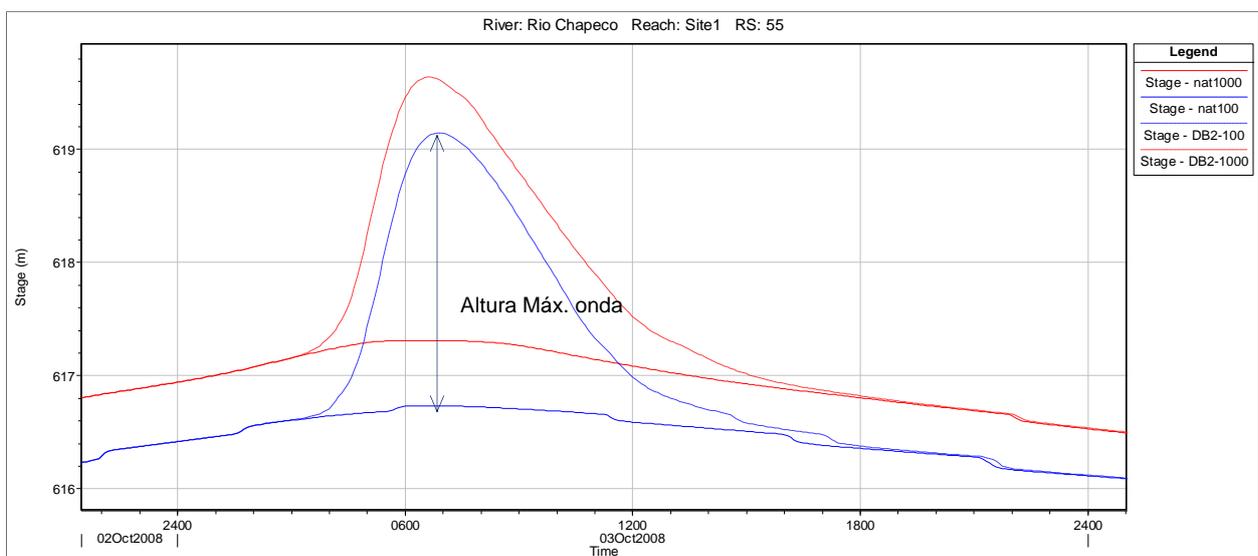


Figura 44 – Cotograma - SL-55 – Propriedades

5.7.10 SL-50 – Propriedades

As propriedades a jusante da Barragem PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-50, está localizada cerca de 25,01 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 45).



Figura 45 – Localização propriedades - SL-50

Tabela 31 – Detalhe das simulações - SL-50 – Propriedades

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	609,9	613,08	3,18	01:15	05:10	17:55
1.000 ANOS	610,7	613,88	3,18	01:15	05:15	19:15

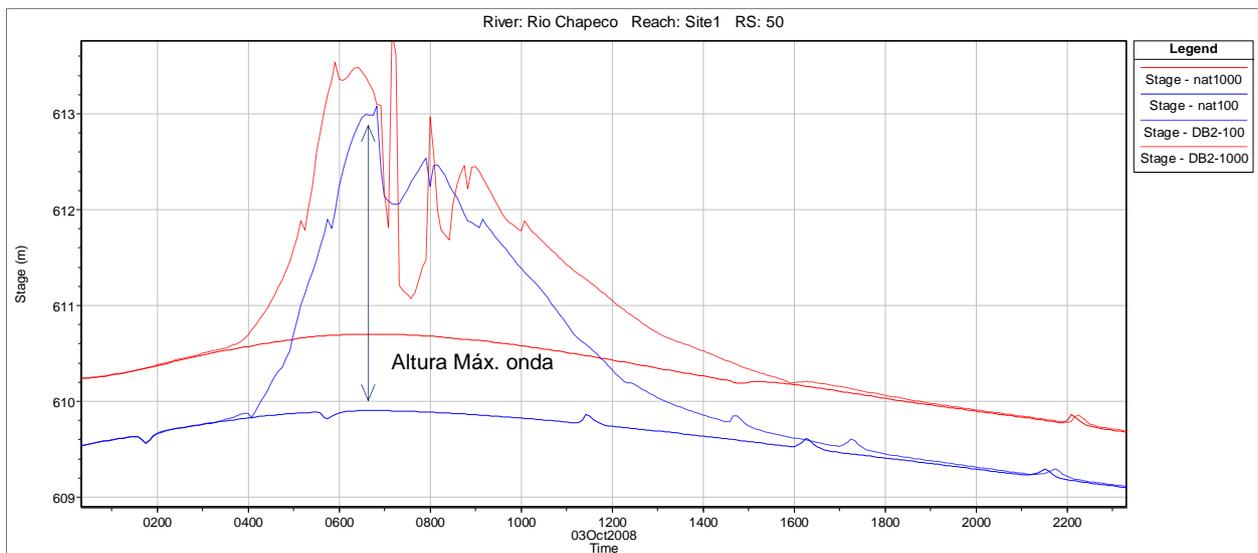


Figura 46 – Cotograma - SL-50 – Propriedades

5.7.11 SL-8 – Barragem Salto Voltão

A Barragem Salto Voltão a jusante da Barragem PCH Santa Laura, identificada pela seção SL-8, está localizada cerca de 35,81 km da barragem PCH Santa Laura (Figura 47).



Figura 47 – Localização Barragem Salto Voltão - SL-8

Tabela 32 – Detalhe das simulações - SL-8 – Barragem Salto Voltão

HIDROGRAMA	Nível de 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				
100 ANOS	502,88	503,77	0,89	02:10	06:10	07:00
1.000 ANOS	503,46	504,2	0,74	02:15	06:05	10:15

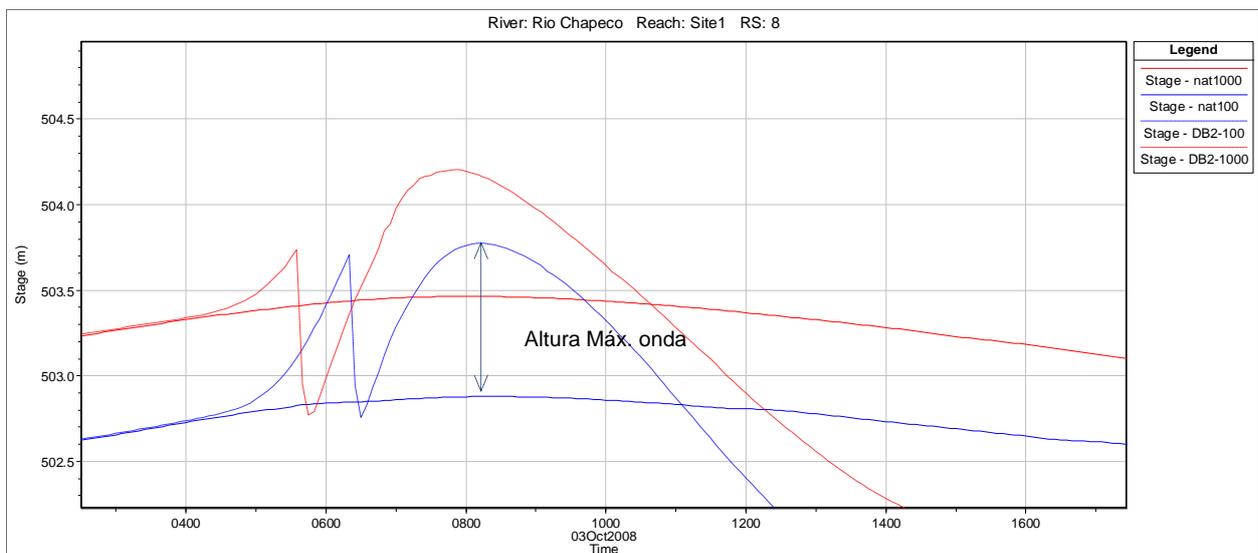


Figura 48 – Cotograma - SL-8 – Barragem Salto Voltão

5.7.12 Resumo Geral das Seções de Interesse

A Tabela 33 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-100 anos e TR-1.000 anos.

Os mapas de inundação apresentados no Volume II estão divididos por tempo de recorrência e possuem destaque para os locais próximos as seções indicadas na Tabela 33. 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 da mesma para cada seção, bem como uma imagem do local para facilitar a localização. Os desenhos de 7 a 10 representam os mapas SLA-C-MPI-004-00-18 – Mapa de Inundação – TR 100 Anos – Natural e Dam Break – Folhas 01 a 04 e os desenhos de 11 a 14 representam os mapas SLA-C-MPI-005-00-18 – Mapa de Inundação – TR 1.000 Anos – Natural e Dam Break – Folhas 01 a 04.

Tabela 33 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção

Seções de Interesse	Distância da Barragem PCH Santa Laura (km)	DB 100 anos								DB 1.000 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 Santa Laura - Tempo após Rompimento																			
Rio Chapecózinho	162	Propriedades	2,81	670,40	674,61	4,21	00:05	01:40	14:05	1,88	6066,05	670,94	674,96	4,02	00:05	01:40	12:15	1,94	6633,28
	157	Casa de Força Santa Laura	3,99	653,46	660,81	7,35	00:10	01:55	16:00	2,59	5548,69	655,10	661,49	6,39	00:10	02:00	17:15	2,63	5886,84
	126	Propriedades	9,96	648,41	654,17	5,76	00:20	02:45	20:50	1,23	3790,64	649,73	654,98	5,25	00:15	02:45	18:15	1,24	4282,13
	121	Barragem PCH Passo Ferraz	11,16	645,99	651,82	5,83	00:25	03:00	10:45	1,14	3695,42	647,51	652,61	5,10	00:25	03:00	14:15	1,18	4189,77
	117	Casa de Força Passo Ferraz	11,81	644,84	650,57	5,73	00:30	03:05	15:40	1,93	3658,77	646,49	651,33	4,84	00:30	03:05	16:15	2,00	4141,36
	108	Propriedades	13,67	641,25	645,48	4,23	00:32	03:10	16:38	1,24	3625	642,25	646,10	3,85	00:32	03:10	17:15	1,3	4109,98
	107	Ponte de Jusante	13,87	640,70	645,01	4,31	00:35	03:10	16:35	2,1	3615,22	641,78	645,66	3,88	00:35	03:10	17:15	1,97	4106,86
	106	Propriedades	13,98	640,62	644,95	4,33	00:35	03:15	17:35	1,29	3615,19	641,72	645,56	3,84	00:35	03:10	18:15	1,31	4104,97
	103	Barragem Salto do Passo Velho	14,61	636,12	637,98	1,86	00:40	03:15	17:30	3,46	3614,75	636,52	638,28	1,76	00:35	03:15	18:15	3,72	4098,31
	85	Propriedades	18,01	622,22	625,34	3,12	00:40	04:10	19:30	0,75	3183,6	623,09	625,95	2,86	00:45	04:10	20:15	0,78	3635,99
	84	Propriedades	18,21	622,18	625,27	3,09	00:40	04:15	20:30	0,78	3146,72	623,04	625,87	2,83	00:45	04:10	20:45	0,84	3635,15
	55	Propriedades	24,01	616,73	619,14	2,41	01:10	05:05	18:00	0,73	2978,39	617,31	619,63	2,32	01:10	04:55	19:15	0,74	3454,96
	50	Propriedades	25,01	609,90	613,08	3,18	01:15	05:10	17:55	5,19	2965,43	610,70	613,88	3,18	01:15	05:15	19:15	4,91	3370,89
8	Barragem Salto Voltão	35,81	502,88	503,77	0,89	02:10	06:10	07:00	2,02	2851,01	503,46	504,20	0,74	02:15	06:05	10:15	2,23	3299,9	

- A partir da Seção 121- Barragem PCH Passo Ferraz, cerca de 11,16 km a jusante da PCH Santa Laura, o tempo do pico da onda de inundação ultrapassa as três horas críticas para TR=100 e TR=1.000 anos, que é um dos limites tradicionais de modelagem indicando a região com maior risco, localidades dentro deste limite de 3 horas;
- A zona de autossalvamento fica definida como 30 min do início da onda, ou seja, até SL-117 – Casa de Força PCH Passo ferraz cerca de 11,81 km a jusante do barramento PCH Santa Laura.

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, **SANTA LAURA S.A.**, centralizar a veiculação de informações.

6.1 Agentes Internos

SPE

Nome do Empreendedor: Santa Laura S.A.

PCH: Santa Laura

MATRIZ

CNPJ: 07.328.431/0001-20

Endereço: Rodovia José Carlos Daux, Nº 5500, Bloco Jurerê, A - 3º Andar - Saco Grande, Florianópolis - SC, 88032-005

Fone: (48) 3878-7100

FILIAL

CNPJ: 07.328.431/0002-01

Endereço: Linha Santa Laura, s/nº, Faxinal dos Guedes/SC, CEP: 89694-000.

Administrador – Statkraft Energias Renováveis S/A

Endereço: Rodovia José Carlos Daux, Nº 5500, Bloco Jurerê, A - 3º Andar - Saco Grande, Florianópolis - SC, 88032-005

Diretor Presidente (Country Head): Fernando De Lapuerta Montoya

Fone: (48) 3877-7100

E-mail: fernando.delapuerta@statkraft.com

Responsável Técnico da Segurança da Barragem: Vito Mandilovich

Telefone: (48) 3877-7100/8600

E-mail: vito.mandilovich@statkraft.com

Dam Safety Manager (Dam Safety Officer): Marcela Jeiss

Telefone: (48) 3877-2514/ (41) 98803-6520

E-mail: marcela.jeiss@statkraft.com

Engenheira Civil Sênior (Technical Person): Juliana da Silva

Telefone: (48) 3877-2514

E-mail: juliana.dasilva@statkraft.com

Diretor de Operação e Manutenção (PM): Vito Mandilovich

Fone: (48) 3877-7100/8600

E-mail: vito.mandilovich@statkraft.com

Gerente de Operação: Robson Guimaraes da Silva

Fone: (48) 3877-7154/7117 / (48) 991072849

E-mail: robson.guimaraes@statkraft.com

Gerente de Manutenção: Diego Bragé

Fone: (48) 3877-7154/ (51) 98424-3453

E-mail: diego.brage@statkraft.com

Coordenador Regional (Coordenador do PAE): Rodrigo Dutra

Fone: (54) 99970-2065

E-mail: rodrigo.dutra@statkraft.com

Gerente de Ativos: Thiago Tomazzoli

Fone: (48) 3877-7100

E-mail: thiago.tomazzoli@statkraft.com

Gerente de Sustentabilidade Cristiane Santana da Silva

Fone: (48) 3877-7100

E-mail: cristiane.silva@statkraft.com

Gerente de Meio Ambiente: Bianca Barros

Fone: (48) 3877-7100

E-mail: bianca.barros@statkraft.com

6.2 Agentes Externos

Tabela 34 – Órgãos Federais que possuem atribuições em casos de desastres

ÓRGÃO	TELEFONE COMERCIAL
SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL FEDERAL (BRASÍLIA)	(61) 3414-5869
MINISTÉRIO DA DEFESA	(61) 3312-4000

COMANDO DO EXÉRCITO (61) 3415-6514

COMANDO DA MARINHA (61) 3429-1293 e (61) 99238-9790

COMANDO DA AERONÁUTICA (61) 2023-9400

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL 191
(61) 2025-6607

Tabela 35 – Órgãos do Estado do Santa Catarina que possuem atribuições em casos de desastres

ÓRGÃO	TELEFONE COMERCIAL
SECRETARIA DE ESTADO DA SEGURANÇA PÚBLICA E DEFESA DO CIDADÃO – SSPDC	(48) 3251-1000 (48) 3251-1112 Fax: (48) 3251-1120
CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES DOS RECURSOS AMBIENTAIS DE SANTA CATARINA – CIRAM	(48) 3665-5006 Fax: (48) 3665-5142
FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE – SANTA CATARINA – FATMA	(48) 3216-1770 Fax: (48) 3216-1753
POLÍCIA AMBIENTAL DE CHAPECÓ	(49) 3321-0159
CORPO DE BOMBEIRO MILITAR – SC	193 (48) 3251-9600
SECRETARIA DO ESTADO DE DEFESA CIVIL – SC	199 (48) 3664-7003 (48) 3664-7000
POLÍCIA MILITAR DE SANTA CATARINA – PMSC	Emergências: 190 (48) 3229-6302 (48) 3229-6307 Fax: (48) 3229-6305

Tabela 36 – Órgãos Municipais que possuem atribuições em casos de desastres

ÓRGÃO	TELEFONE COMERCIAL
COORDENADORIA REGIONAL DE DEFESA CIVIL DE CHAPECÓ	(49) 2049-7430
COORDENADORIA REGIONAL DE DEFESA CIVIL XANXERÊ	(49)9966-9740 (49)9919-1023
DEFESA CIVIL MUNICIPAL FAXINAL DOS GUEDES	(49) 3436-4300

ÓRGÃOS MUNICIPAIS DE APOIO À EMERGÊNCIA	CONTATOS
Polícia Militar	190

Polícia Rodoviária Federal	191
Bombeiros	193
Defesa Civil	199

6.2.1 Outros Órgãos

Os municípios atingidos são Faxinal dos Guedes, Bom Jesus e Ouro Verde.

Órgãos municipais que possuem atribuições natas em relação aos desastres:

MUNICÍPIO DE FAXINAL DOS GUEDES	CONTATOS
Prefeitura Municipal de Faxinal dos Guedes	(49) 3436-4300
Defesa Civil Municipal Faxinal Dos Guedes (Eliane Teles)	(49) 3436-4300
Hospital Municipal -São Cristóvão	(49) 3436-0120
Centro de Saúde de Faxinal dos Guedes	(49) 3436-4304
Corpo de Bombeiros de Faxinal dos Guedes	(49) 3382-2207
Polícia Militar de Faxinal dos Guedes	(49) 3436-0550

MUNICÍPIO DE BOM JESUS	CONTATOS
Prefeitura Municipal de Bom Jesus	(49) 3424-0181
Unidade de Saúde Boanerges Neves de Sá	(49) 3424-0000
Polícia Militar de Bom Jesus	(49) 3424-0117

MUNICÍPIO DE OURO VERDE	CONTATOS
Prefeitura Municipal de Ouro Verde	(49) 3447-0007
Fundo Municipal de Saúde	(49) 3447-0128

6.2.2 Usinas de Jusante

PCH Passo Ferraz

Nome de Contato Usina: Antônio ou Adelar

Contatos: (49) 988156546 ou (49) 3424 0156

Diretor Técnico: Norimar Fracasso

Contatos: (49) 9 99822722

PCH Salto do Passo Velho e PCH Salto Voltão

Responsável - Ivan S Carneiro

E-mail: ivan.carneiro@cemig.com.br

Contatos:

1º contato – (31) 9 9958 4310

2º contato – (31) 9 9942 6022

3º contato – (49) 9 8419 5443

4º contato – (31) 9 9999 7060

5º contato – (31) 3506 4091

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 Santa Laura. De acordo com as condições operacionais do vertedouro as cheias se comportarão conforme o gráfico abaixo.

A **EMERGÊNCIA** poderá ocorrer em qualquer condição de escoamento em conjunto com o rompimento da barragem. Em condições naturais de cheias sem rompimento da barragem ocorre inundação da população a jusante a partir da TR=100 anos.

Na Figura 49 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 100 anos já fica definido o nível de emergência 1.

A Tabela 37 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 das estruturas 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 Santa Laura garante a integridade da estrutura e reduzem drasticamente as possibilidades de um acidente com o rompimento da barragem.

A Tabela 37 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 junto com a leitura periódica da instrumentação da barragem. 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 de barramento do empreendimento e retratar suas condições de segurança, conservação e operação. A frequência destas inspeções deverá ser **anual** 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, bem como os dados da instrumentação da Barragem.

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 em 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 7 anos conforme a classificação da barragem (Classe B).

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 indica a sequência dos procedimentos para as inspeções nas estruturas de acordo com a periodicidade necessária.

O fluxograma de ações indica a sequência na tomada de decisões com base nos dados observados nas inspeções e no relatório das inspeções.

Caso o fluxograma de ações entrar em **EMERGÊNCIA** deverá seguir procedimento do Plano de Ação de Emergências, 7 - Caracterização dos Níveis de Segurança e Risco de Ruptura, e concomitantemente acionar o documento PS-HSE-R-50-ERP-TIR 1 (Emergency Response Plan) e seus respectivos anexos, no caso da PCH Santa Laura / Anexo V.

PCH SANTA LAURA - CURVA DE REFERÊNCIA PARA OPERAÇÃO

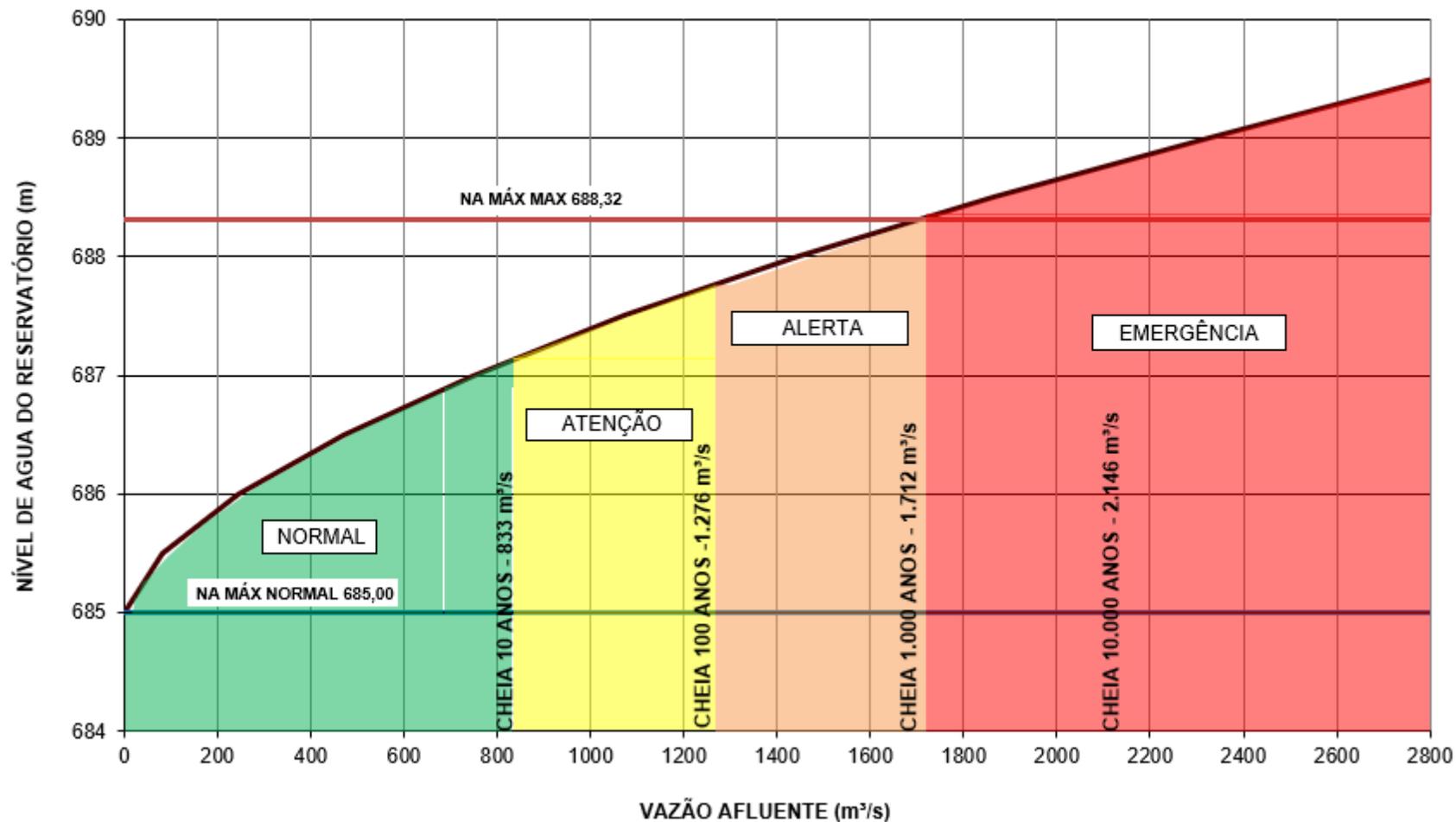


Figura 49 – Níveis de Segurança e Risco de Ruptura

Tabela 37 – Níveis de Segurança e risco Ruptura

Nível de Segurança	Condições e Situações
<p>Nível NORMAL (verde)</p> <p>a) Operação normal das estruturas de descarga</p>	<p>a) cheia até 833 m³/s (TR até 10 anos) – Realizar o monitoramento das precipitações e vertimento das usinas de montante.</p>
<p>Nível ATENÇÃO (amarelo)</p> <p>a) Aumento da condição hidrológica e localidades com possibilidade de alagamento a partir do eixo do barramento.</p>	<p>a) cheia de 833 até 1.276 m³/s (TR entre 10 e 100 anos) – Aviso aos agentes externos da condição de enchente com possibilidade de alagamento em localidades dos municípios;</p> <p>b) manutenção imediata para reduzir a infiltração.</p>
<p>Nível ALERTA (laranja)</p> <p>a) Localidades com possibilidade de alagamento a partir do eixo do barramento.</p> <p>b) Início Infiltração no bloco de concreto com qualquer condição hidrológica</p>	<p>a) cheia de 1.276 até 1.712 m³/s (TR entre 100 e 1.000 anos) – Aviso aos agentes externos da condição de enchente com alagamento em localidades do município;</p> <p>b) Infiltração sem controle pela barragem, retirar pessoal das propriedades atingidas.</p>
<p>Nível EMERGÊNCIA (vermelho)</p> <p>b) Ruptura está prestes a ocorrer, ocorrendo ou acabou de ocorrer com qualquer condição hidrológica.</p>	<p>a) cheia de 1.712 até 2.146 m³/s (TR entre 1.000 e 10.000 anos) – Aviso aos agentes externos da condição de enchente extrema com alagamento em localidades do município → Retirada dos atingidos de jusante;</p> <p>a) cheia a partir de 1.712 m³/s (TR igual ou superior a 1.000 anos) – Aviso aos agentes externos da condição de galgamento do barramento com alagamento em localidades do município → Retirada dos atingidos de jusante;</p> <p>b) rompimento da Barragem com formação da onda de cheia com qualquer condição hidrológica → Retirada dos atingidos de jusante</p>

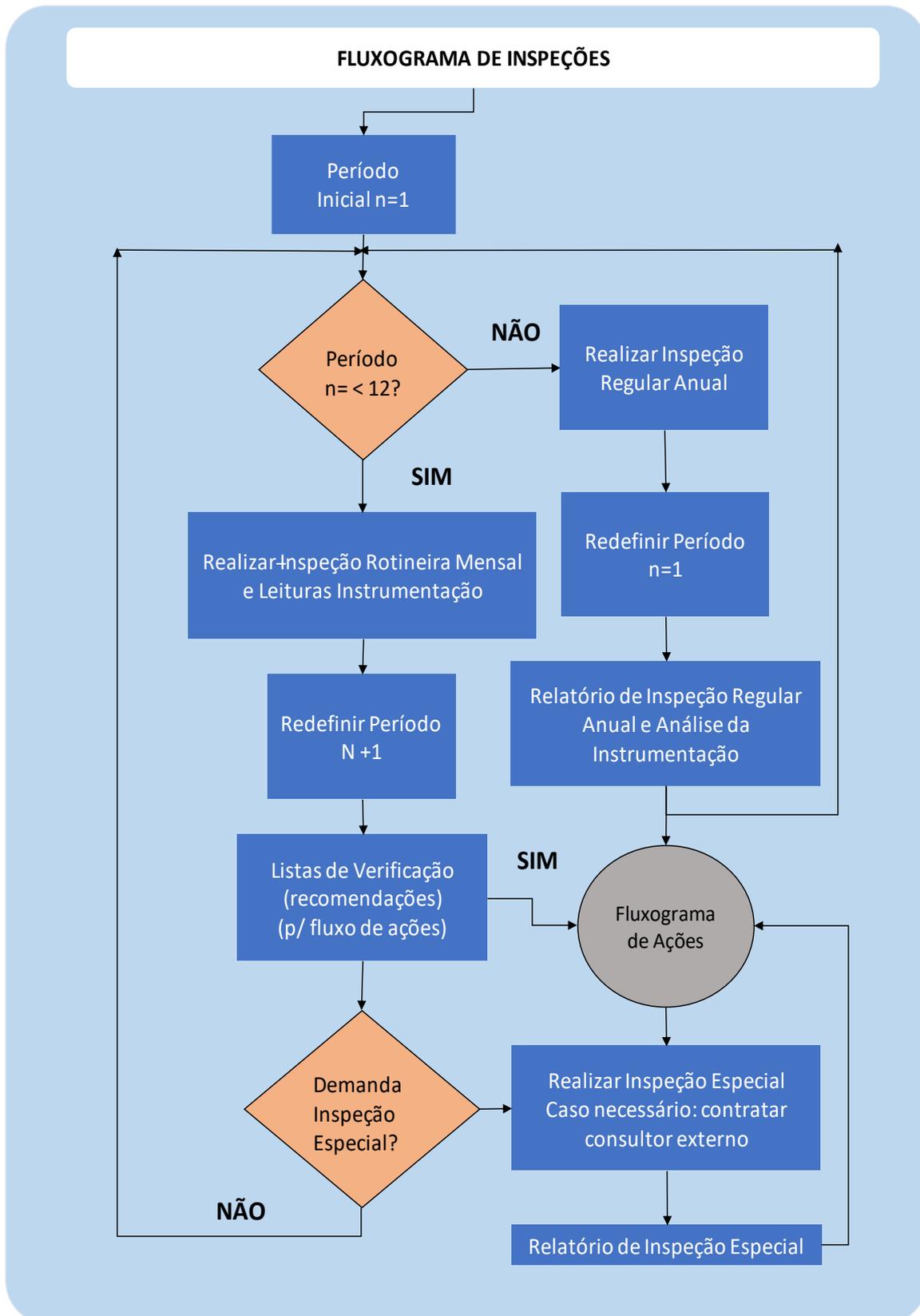
a) nível de alerta devido as condições hidrológicas;

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

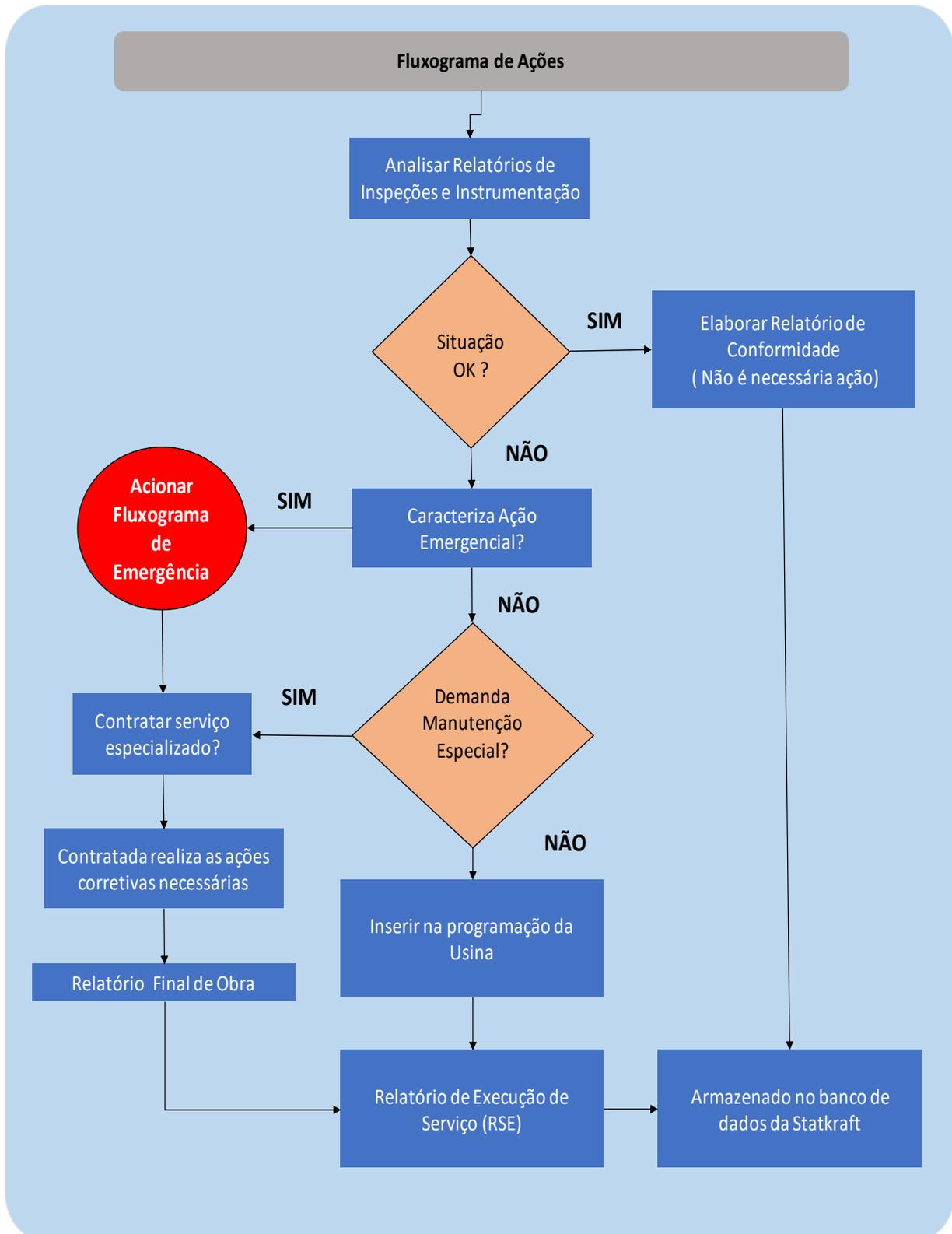
EMERGÊNCIA – A ruptura do barramento pode ocorrer em qualquer condição hidrológica formação de brecha ou em eventos extremos. O alerta aos órgãos responsáveis deve ser emitido assim que constatada a impossibilidade de reverter o problema possibilitando a retirada de todos os atingidos a jusante do barramento.

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 Ações - manutenção das estruturas

8 RESPONSABILIDADES DE TODOS OS AGENTES ENVOLVIDOS

As possíveis consequências danosas que ocorrerem durante ou após uma situação de emergência as pessoas, as 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 – SANTA LAURA S.A.

O proprietário da Usina é a SANTA LAURA S.A., e também 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 de Santa Catarina, e dos municípios de Faxinal dos Guedes, Ouro Verde e Bom Jesus, bem como Corpo de Bombeiros, Polícia Militar e Civil e, Secretaria da Saúde dos municípios destes municípios.

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 III.

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 mesma 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, e pela equipe do centro de operação de geração COS-Florianópolis através de monitoramento remoto via satélite.

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.

Como sistema de prevenção aos moradores de jusante da barragem os mesmos devem ser avisados a partir de cheias de 10 anos para evacuação da área, pois algumas localidades já são atingidas com esta condição de enchente.

Conforme a Figura 49 – Níveis de Segurança e Risco de Ruptura e a Tabela 37 – Níveis de Segurança e risco Ruptura, do item 7 as situações serão classificadas como:

9.1 Situação normal (Verde)

OPERACIONAL: Cheia até 833 m³/s – TR 10 Anos

- Observar a pluviometria da região e os dados de vertimento das usinas à montante;
- Realizar inspeção regular no barramento e nível do barramento buscando observar alguma anomalia na estrutura;
- Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado **EMERGÊNCIA**.

CONSERVAÇÃO DAS ESTRUTURAS: Cheia até 833m³/s – TR 10 Anos

- Realizar inspeção regular no barramento e nível do barramento buscando observar alguma anomalia na estrutura que necessite reparo.

9.2 Situação atenção (Amarelo)

OPERACIONAL: Cheia de 833 m³/s até 1.276 – TR entre 10 e 100 Anos

- Observar a pluviometria da região e os dados de vertimento das usinas à montante;
- Realizar inspeção regular no barramento e nível do barramento buscando observar alguma anomalia na estrutura que necessite reparo;
- Aviso aos agentes externos da ocorrência de enchente;
- Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado **EMERGÊNCIA**.

CONSERVAÇÃO DAS ESTRUTURAS: Cheia de 833 até 1.276 m³/s – TR entre 10 e 100Anos

- Infiltração no barramento acima do normal com qualquer condição hidrológica;
- Infiltração - Manutenção imediata para reduzir as infiltrações.

Após a condição de enchente (TR entre 10 e 100 anos) deverá ser realizada uma inspeção completa no barramento e no vertedouro para verificar as condições gerais da estrutura civil.

9.3 Situação de alerta (Laranja)

OPERACIONAL: Cheia de 1.276 até 1.712 m³/s – TR entre 100 e 1.000 anos

- Observar a pluviometria da região e os dados de vertimento das usinas à montante;
- Cheia - Aviso aos agentes externos da possível ocorrência de enchente com possibilidade de alagamento em localidades dos municípios (Mapas de Inundação TR 100 anos);
- Infiltração - Manutenção imediata para reduzir as infiltrações;
- Caso ocorra uma diminuição brusca do nível do reservatório e/ou seja detectado vazamento na barragem com potencial de ruptura, deverá ser acionado **EMERGÊNCIA**.

Após a condição de enchente (TR entre 10 e 100 anos) deverá ser realizada uma inspeção completa no barramento e no vertedouro para verificar as condições gerais da estrutura civil.

CONSERVAÇÃO DAS ESTRUTURAS: Cheia de 1.276 até 1.712 m³/s – TR entre 100 e 1.000 anos

- Infiltração sem possibilidade de controle - realizar o rebaixamento imediato do reservatório reduzindo a pressão no barramento e os possíveis danos no rompimento;
- Caso não seja solucionado o problema de infiltração acionar **EMERGÊNCIA** e evacuar imediatamente os moradores das propriedades localizadas na Zona de Autossalvamento.

Após a de enchente (TR entre 100 e 1.000 anos) deverá ser realizada uma inspeção completa no barramento e no vertedouro e verificar as condições gerais da estrutura civil.

9.4 Situação de emergência 2 (Vermelha)

**OPERACIONAL: Cheia de 1.712 até 2.146 m³/s – TR entre 1.000 e 10.000 anos
Cheia a partir de 2.146 m³/s – TR igual ou superior a 10.000 anos**

**CONSERVAÇÃO DAS ESTRUTURAS: Ruptura prestes a ocorrer, ocorrendo ou acabou de ocorrer com qualquer condição hidrológica operacional ou de conservação
Nível do reservatório chegando à cota 688,32m**

- Nestas situação a operadora deverá comunicar a defesa civil para a retirada da população atingida de jusante. Importante a comunicação da usina com os moradores nas áreas mais próximas. Os Mapas de Inundação com Dam Break para os diversos tempos de recorrência devem servir de orientação para a retirada da população.

NAS SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA DEVERÃO SER AVISADOS E RETIRADOS TODOS OS ATINGIDOS DE JUSANTE BUSCANDO A SEGURANÇA DESTES. A RETIRADA DOS ATINGIDOS SE DARÁ PELOS AGENTES EXTERNOS (DEFESA CIVIL, POLÍCIA MILITAR, ETC)

10 ACESSOS, MAPAS DE ÁREAS SUJEITAS A INUNDAÇÕES POTENCIAIS

O desenho 1 - SLA-C-AGE-001-00-18 apresenta localização e acessos a PCH Santa Laura e o desenho 2 - SLA-C-PRE-002-00-18 apresenta a área a ser resguardada na propriedade da empresa. Os desenhos estão no Volume II.

O estudo das áreas de risco de desastre permitiu a elaboração de 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 desastres.

Logo, como sistema de prevenção aos moradores de jusante da barragem devem ser avisados a partir de cheias de 10 anos de recorrência (692 m³/s) para evacuação da área ou em uma eventual ruptura da barragem, pois algumas localidades já são atingidas com enchentes a partir de TR = 10 anos.

10.1 Acessos

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.

10.2 Propriedades Atingidas

As propriedades nas seções SL-162, SL-157, SL-126, SL-121 e SL-117 são atingidas em condições de enchente e em caso de rompimento do barramento e estão dentro da área de autossalvamento. Como estão muito próximas da barragem o tempo de chegada e de pico da onda nessas seções é bastante curto sendo então necessário a evacuação desses locais o mais breve possível na ocorrência da **EMERGÊNCIA**.

Após a seção SL-117 ocorrem diversas propriedades onde já ocorrem alagamentos com o nível de cheia a partir de 100 anos e devem ser alertados os órgãos responsáveis conforme já mencionado.

Todas as seções indicadas se referem a pontos estratégicos de infraestrutura a jusante do barramento de Santa Laura e estão indicadas a localização das seções nos mapas de inundação. Nessas localidades podemos ter alagamentos devido as cheias estudadas e/ou rompimento da barragem sendo que todas possuem risco.

A Tabela 38 indica o resultado da simulação dos estudos para as seções de interesse que ocorrem inundação.

Os mapas de inundação para o tempo de recorrência de 100 e 1.000 anos foram obtidos nas seguintes simulações:

- SLA-C-MPI-004-00-18 – Mapa de Inundação – TR 100 Anos – Natural e Dam Break – Folhas 01 a 04;
- SLA-C-MPI-005-00-18 – Mapa de Inundação – TR 1.000 Anos – Natural e Dam Break – Folhas 01 a 04.

Os mapas estão apresentados no Volume II – Anexo III.

O mapa de inundação da zona de autossalvamento, definido para pior condição de acordo com manual da ANA, que é a inundação com tempo de recorrência de 1.000 anos associado ao rompimento da barragem, está apresentado no seguinte mapa:

- SLA-C-MPI-006-00-18 – Zona de Autossalvamento – Natural e Dam Break – TR 1.000 Anos – Folha 01.

Tabela 38 – Níveis de Água e Tempo de chegada do pico da onda em cada seção inundada a Jusante da PCH Santa Laura

Seções de Interesse	Distância da Barragem PCH Santa Laura (km)	DB 100 anos									DB 1.000 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 Santa Laura - Tempo após Rompimento																			
Rio Chapecózinho	162	Propriedades	2,81	670,40	674,61	4,21	00:05	01:40	14:05	1,88	6066,05	670,94	674,96	4,02	00:05	01:40	12:15	1,94	6633,28
	157	Casa de Força Santa Laura	3,99	653,46	660,81	7,35	00:10	01:55	16:00	2,59	5548,69	655,10	661,49	6,39	00:10	02:00	17:15	2,63	5886,84
	126	Propriedades	9,96	648,41	654,17	5,76	00:20	02:45	20:50	1,23	3790,64	649,73	654,98	5,25	00:15	02:45	18:15	1,24	4282,13
	121	Barragem PCH Passo Ferraz	11,16	645,99	651,82	5,83	00:25	03:00	10:45	1,14	3695,42	647,51	652,61	5,10	00:25	03:00	14:15	1,18	4189,77
	117	Casa de Força Passo Ferraz	11,81	644,84	650,57	5,73	00:30	03:05	15:40	1,93	3658,77	646,49	651,33	4,84	00:30	03:05	16:15	2,00	4141,36
	108	Propriedades	13,67	641,25	645,48	4,23	00:32	03:10	16:38	1,24	3625	642,25	646,10	3,85	00:32	03:10	17:15	1,3	4109,98
	107	Ponte de Jusante	13,87	640,70	645,01	4,31	00:35	03:10	16:35	2,1	3615,22	641,78	645,66	3,88	00:35	03:10	17:15	1,97	4106,86
	106	Propriedades	13,98	640,62	644,95	4,33	00:35	03:15	17:35	1,29	3615,19	641,72	645,56	3,84	00:35	03:10	18:15	1,31	4104,97
	85	Propriedades	18,01	622,22	625,34	3,12	00:40	04:10	19:30	0,75	3183,6	623,09	625,95	2,86	00:45	04:10	20:15	0,78	3635,99
	84	Propriedades	18,21	622,18	625,27	3,09	00:40	04:15	20:30	0,78	3146,72	623,04	625,87	2,83	00:45	04:10	20:45	0,84	3635,15
	55	Propriedades	24,01	616,73	619,14	2,41	01:10	05:05	18:00	0,73	2978,39	617,31	619,63	2,32	01:10	04:55	19:15	0,74	3454,96
	50	Propriedades	25,01	609,90	613,08	3,18	01:15	05:10	17:55	5,19	2965,43	610,70	613,88	3,18	01:15	05:15	19:15	4,91	3370,89
8	Barragem Salto Voltão	35,81	502,88	503,77	0,89	02:10	06:10	07:00	2,02	2851,01	503,46	504,20	0,74	02:15	06:05	10:15	2,23	3299,9	

(*) Até SL-117 – região de autossalvamento, considerado para o rompimento da barragem e dentro do limite de 30 min, estabelecido pela ANA.

(**) Destacados propriedades atingidas conforme condição.

10.3 Zona de Autossalvamento – ZAS

Estudos de rompimentos em barragens indicam que a área de maior risco a população se encontra no trecho entre a barragem e 10 km a jusante ou o local onde o início da onda de cheia demore 30 minutos para chegar, sendo considerado sempre o ponto mais distante 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 Santa Laura o local do limite da ZAS se encontra a 11,81 km de distância da barragem sendo nesse caso o critério de 30 minutos da chegada da onda de cheia para a pior condição de estudo que é o rompimento com a cheia de 1.000 anos. Dentro da ZAS existem aproximadamente (02) regiões (casas e edificações) no vale a jusante que poderão ser afetadas pela onda de cheia e uma usina de jusante a PCH Passo Ferraz que resultaria da ruptura da barragem. Na Tabela 39 apresenta-se a sua localização e principais características.

Tabela 39 – Características das infraestruturas/edificações localizadas na ZAS da barragem

PAE DA BARRAGEM SANTA LAURA					
Infraestrutura e Edificações na ZAS					
Denominação	Descrição	Coordenada geográfica Latitude	Coordenada geográfica Longitude	Distância do barramento (Km)	Cota (m) - TR=1.000
SL-162	Propriedades	-26° 45' 19,98"	-52° 19' 43,44"	2,81	674,96
SL-157	Casa de Força Santa Laura	-26° 45' 41,29"	-52° 20' 09,38"	3,99	661,49
SL-126	Propriedades	-26° 45' 29,84"	-52° 22' 38,42"	9,96	654,98
SL-121	Barragem PCH Passo Ferraz	-26° 45' 35,40"	-52° 23' 11,72"	11,16	652,61
SL-117	Casa de Força Passo Ferraz	-26° 45' 16,69"	-52° 23' 06,93"	11,81	651,33

Próximo as propriedades atingidas foram identificadas áreas de fuga onde não há o risco de inundação e devem ser definidas como ponto de encontro da população residente na zona de autossalvamento. A população dessas áreas deve ser orientada a identificar e se locomover para as áreas de fuga em caso de situações de emergência com risco de rompimento da barragem. As edificações atingidas e as áreas de fuga estão identificadas no Mapa de Inundação – Zona de Autossalvamento SLA-C-MPI-006-00-18 no Volume II – Anexo IV.

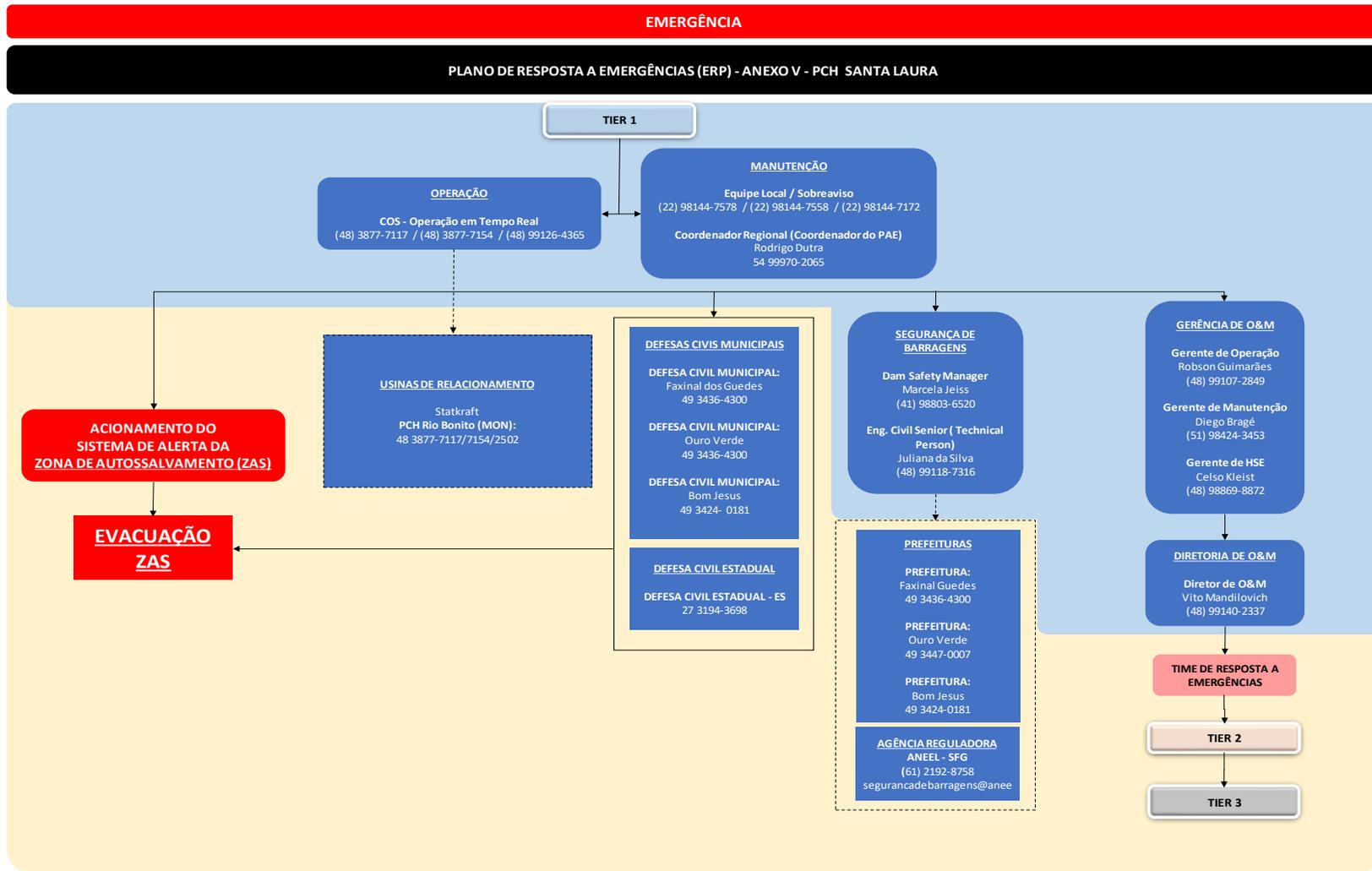
11 FLUXO DE INFORMAÇÃO E ACIONAMENTO

11.1 Meios de Comunicação

O acionamento de emergências será realizado através de telefone com a Defesa Civil de Santa Catarina, bem como com a Defesa Civil municipais, Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, Polícia Civil e Prefeituras dos municípios de Faxinal dos Guedes, Ouro Verde e Bom Jesus (atingidos).

11.2 Acionamento em Caso de Emergências

O acionamento em caso de emergência dos agentes envolvidos se dará pelo Fluxograma 3 que mostra a sequência de tramitação das informações. Este fluxograma apresenta o responsável pelo acionamento, COS-Florianópolis e SANTA LAURA S.A., e os agentes externos envolvidos, Defesa Civil de Santa Catarina, bem como com a Defesa Civil municipais, Corpo de Bombeiros, Polícia Militar, Polícia Civil e Prefeituras dos municípios de Faxinal dos Guedes, Ouro Verde e Bom Jesus.



LEGENDA:
 [Red Box] Relacionamento interno
 [Blue Box] Relacionamento externo
 [Dashed Arrow] Comunicar
 [Solid Arrow] Acionar

Fluxograma 3 – Acionamento emergências

Este fluxograma está apresentado no Volume II – Anexo V no desenho SLA-C-FLA-007-00-18 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 1.000 anos**, ou seja, **vazão afluente maior que 1.712 m³/s**, juntamente com aumento da Pluviometria na região. Nesta condição os proprietários atingidos deverão ser avisados para evacuação da área de inundação;
- Vazamento na Barragem sem controle com risco de colapso ou rompimento.

Como o risco de galgamento da barragem da PCH Santa Laura 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 pela tomada de água e que reduz de maneira substancial os danos a jusante decorrentes do rompimento da barragem. É um procedimento que pode ser realizado com segurança permitindo a redução dos esforços sobre o barramento facilitando trabalhos de recuperação da estrutura.

11.3 Plano de Segurança e Contingências

O Plano de Segurança e Contingências da PCH Santa Laura está apresentado no Anexo IV.

Este plano tem como objetivo orientar os operadores, mantenedores, seguranças e equipes terceirizadas, sobre como proceder no caso de ocorrências diretas e indiretas que possam comprometer a integridade física de pessoas, a confiabilidade operacional e as estruturas civis dos empreendimentos.

Os manuais deste plano fornecem informações de interesse para o desenvolvimento das atividades integrantes dos serviços de Infraestrutura da PCH Santa Laura, principalmente durante a vigência de situações não normais, decorrentes de condições hidrológicas adversas, caracterizadas por elevadas vazões que possam provocar grandes danos à Barragem, bem como a terceiros situados a jusante.

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 V e conforme abaixo:



DECLARAÇÃO DE INÍCIO DE EMERGÊNCIA URGENTE

Situação: _____

Empreendedor: _____

Barragem: _____

Eu, _____ (nome e cargo) _____, na condição de Coordenador do PAE da Barragem _____ e no uso das atribuições e responsabilidade que me foram delegadas, efetuo o registro da Declaração de Emergência, na situação de _____, para a barragem _____ a partir das horas e minutos do dia ____/____/____ em função da ocorrência de: _____

_____ (local) _____, _____ de _____ de _____.

(Nome e assinatura)

(cargo e RG)



DECLARAÇÃO DE ENCERRAMENTO DE EMERGÊNCIA URGENTE

SITUAÇÃO: _____

Empreendedor: _____

BARRAGEM: _____

Eu, _____ (nome e cargo)

_____, na condição de coordenador do

PAE da Barragem _____ e no uso das atribuições e

responsabilidades que me foram delegadas, efetuo o registro da Declaração de

Encerramento da Emergência, na Situação de _____

_____, a partir das horas e minutos do dia ____/____

/_____, em função da recuperação das condições adequadas de Segurança da

Barragem e eliminação do Risco de Ruptura.

OBS:

_____.

_____ (local) _____, _____ de _____ de _____.

(Nome e assinatura)

(cargo e RG)



MENSAGEM DE NOTIFICAÇÃO

Mensagem resultante da aplicação do *Plano de Ação de Emergência - PAE* da
Barragem _____ em ____/____/____.
Município: _____ Rio: _____ Bacia Hidrográfica _____
A partir das ____: ____ h de ____/____/____, está sendo ativado o nível de resposta:

Verde - Normal Amarelo - Atenção Laranja – Alerta Vermelho -Emergência

Esta mensagem está sendo enviada simultaneamente:

Empreendedor:

Entidade Fiscalizadora: Agência Nacional de Energia Elétrica

SECRETARIA DO ESTADO DE DEFESA CIVIL – SC

SECRETARIA MUNICIPAL DE DEFESA CIVIL – CHAPECÓ, XANXERÊ E FAXINAL DOS
GUEDES

Barragens a montante: PCH Celso Ramos

Barragem a jusante: PCH Passo Ferraz

Descrição da situação (causas, evolução)

A causa da Declaração é (descrição mínima da situação, identificação da condição
anormal, possíveis danos, risco de ruptura potencial ou real, etc.)

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 40).

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

Tabela 40 – Entidades que recebem Cópia PAE

Entidade	Nº de cópias (Digital)
Secretaria De Estado De Defesa Civil Do Estado - SC	1
Secretaria Regional De Defesa Civil – Xanxerê	1
Secretaria Municipal De Defesa Civil – Faxinal dos Guedes	1
Secretaria Municipal De Defesa Civil – Ouro Verde	1
Secretaria Municipal De Defesa Civil – Bom Jesus	1

14 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

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.

Também deverá ser avaliada a segurança da Barragem considerando o atual estado da arte para os critérios de projeto, atualizando dados hidrológicos e as alterações das condições a montante e a jusante. A equipe deverá desenvolver um estudo dos documentos do projeto e da documentação disponível, além de efetuar uma inspeção visual da Barragem e das estruturas com diagnóstico e avaliação do problema, indicando recomendações a serem efetuadas para garantir a sua integridade.

Recomenda-se na próxima revisão do Plano de Ação de Emergências realizar novos levantamentos cartográficos/topográficos de modo a melhorar a precisão dos dados e dos mapas de inundação obtidos bem como novas simulações de cheia e rompimentos com todos os dados de topografia, hidrologia e sócio econômicos atualizados.

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. Esta revisão deverá ser realizada de 7 em 7 anos devido ao fato de a Barragem ter sido classificada como Classe B - Categoria de Risco - Baixo e Dano Potencial Associado - Alto.

Recomenda-se após a condição de enchente maiores que TR 10 anos ($Q \Rightarrow 833 \text{ m}^3/\text{s}$) 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 100 anos ($Q \Rightarrow 1.276 \text{ m}^3/\text{s}$) 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
Ronaldo Corrêa	Engenharia Civil	Geotecnia

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

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.

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 N° 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.

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.

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.

17 ANEXOS

Anexo I – Dados (somente digital)

Anexo II – Modelo (somente digital)

Anexo III – Apresentação PAE

Anexo IV – Manual de Segurança e Contingência (somente digital)

Anexo V - Formulários

Anexo VI - ART

ANEXO III – APRESENTAÇÃO PAE

ANEXO V - FORMULÁRIOS

ANEXO VI - ARTS