

## PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM PCH RASTRO DE AUTO



**RDA-PSB-REV01-2026**

**JUNHO/2026**

Presidente Presidente:

Erineo José Hennemann

Certel Rastro de Auto Geração de  
Energia S/A

Responsável Técnico Seg.

Barragem: Rodrigo da Cas - Certel

Eng. Civil - CREA/RS: 212636

Responsável Revisão 01 PSB:

Elizeu Riba – TRSUL Engenharia

Eng. Civil - CREA PR 26.079/D

01	10/06/2026	Revisado após reforço das estruturas	ER	TRSUL Engenharia Ltda.
00	10/03/2025	Emissão inicial	PBE	Prosenge Projetos e Engenharia
<b>Revisão</b>	<b>Data</b>	<b>Objeto da revisão</b>	<b>Red.</b>	<b>Empresa</b>

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM – PSB – CHECK LIST .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>HISTÓRICO.....</b>	<b>9</b>
3.1	OBJETIVO.....	9
<b>4</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR/EMPREENDIMENTO/BARRAGEM.....</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS TÉCNICOS .....</b>	<b>11</b>
5.1	IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO PELA REVISÃO PSB/PAE-2026....	11
<b>6</b>	<b>DADOS TÉCNICOS DO EMPREENDIMENTO E NECESSÁRIOS PARA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS BARRAGENS .....</b>	<b>12</b>
6.1	DADOS GERAIS .....	12
6.2	BARRAGEM / VERTEDOURO .....	12
6.3	COMPORTA DESCARGA DE FUNDO (BARRAGEM) .....	13
6.4	COTA DE COROAMENTO DA BARRAGEM.....	13
6.5	ARRANJO GERAL DAS ESTRUTURAS .....	14
6.6	BORDA LIVRE.....	14
6.7	TEMPO DE RECORRÊNCIA (TR) PARA O DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS EXTRAVASORAS .....	15
6.8	VAZÃO DE PROJETO PARA DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAS EXTRAVASORAS	15
6.9	VAZÕES DE CHEIAS (VAZÕES EXTREMAS).....	15
6.10	DIMENSÕES ÚTEIS DOS DISPOSITIVOS EXTRAVASORES .....	23
6.11	PROJETO COMO CONSTRUÍDO.....	23
6.12	DESENHOS DE REFERÊNCIA.....	23
6.13	INSTRUMENTAÇÃO .....	23
6.14	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA USINA.....	23
6.14.1	Localização e acessos.....	28
6.14.2	Reservatório .....	30
6.14.3	Usinas de jusante .....	30
6.15	CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE GLOBAL DAS ESTRUTURAS DA BARRAGEM.....	32
6.15.1	Dimensionamento e Estabilidade da Barragem/Vertedouro .....	32
6.15.2	Estruturas Avaliadas .....	32

6.15.3	Vertedouro .....	39
6.15.4	Circuito Hidráulico de Adução .....	40
6.15.5	Casa de Força e Canal de Fuga .....	41
6.15.6	Níveis Operacionais e Ficha Técnica .....	42
6.16	CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS, GEOLÓGICAS E SÍSMICAS.....	51
6.16.1	Características da Bacia Hidrográfica .....	51
6.16.2	Análise das Estruturas Extravasoras.....	54
6.16.3	Estudos Geológicos e Geotécnicos.....	55
6.16.4	Critérios Sismológicos.....	61
6.17	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA BARRAGEM.....	61
6.17.1	Plano de Descomissionamento da Barragem .....	61
6.17.2	Manual de Operação e Manutenção da Barragem.....	61
<b>7</b>	<b>LEI DA POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS.....</b>	<b>61</b>
<b>8</b>	<b>CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM / ANO DE REFERÊNCIA 2025 .....</b>	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>ESTRUTURA ORGANIZACIONAL E QUALIFICAÇÃO TÉCNICA .....</b>	<b>67</b>
9.1	ESTRUTURA ORGANIZACIONAL .....	67
9.2	QUALIFICAÇÃO TÉCNICA.....	69
9.3	IDENTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÕES PROFISSIONAIS DA EQUIPE TÉCNICA .....	70
<b>10</b>	<b>MANUAIS DE PROCEDIMENTOS DOS ROTEIROS DE INSPEÇÕES DE SEGURANÇA E MONITORAMENTO E RELATÓRIO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM .....</b>	<b>72</b>
10.1	CADASTRO DAS ESTRUTURAS.....	72
10.1.1	PCHRDA-BAD → BARRAGEM DIREITA.....	72
10.1.2	PCHRDA-BAE → BARRAGEM ESQUERDA.....	73
10.1.3	PCHRDA-VT → VERTEDOIRO.....	73
10.1.4	PCHRDA-TA → TOMADA D'ÁGUA .....	73
10.1.5	PCHRDA-TU → TÚNEL DE ADUÇÃO.....	74
10.1.6	PCHRDA- CH → CHAMINÉ DE EQUILIBRIO.....	74
10.1.7	PCHRDA-CO → CONDUTO FORÇADO .....	74
10.1.8	PCHRDA-CF → CASA DE FORÇA .....	74
10.1.9	PCHRDA-GE → GERAL.....	74
10.2	PLANEJAMENTO DAS INSPEÇÕES .....	75

10.2.1	Tipos e Frequência das Inspeções.....	75
10.2.2	Classificação dos Inspetores.....	76
10.2.3	Itinerário e Materiais para Inspeções .....	77
10.2.4	Observações e Listas de Verificações .....	78
10.3	RESUMO DAS FICHAS DE INSPEÇÕES .....	83
10.3.1	Inspeções Regulares e Especiais .....	83
10.3.2	Inspeções Rotineiras .....	84
10.4	MANUTENÇÕES PERIÓDICAS USINA .....	84
10.5	FLUXO DE INFORMAÇÃO E EQUIPE DE INSPEÇÃO .....	85
<b>11</b>	<b>CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS VISTORIADAS.....</b>	<b>88</b>
<b>12</b>	<b>REGRA OPERACIONAL DO DISPOSITIVO DE DESCARGA.....</b>	<b>90</b>
<b>13</b>	<b>ÁREA A SER RESGUARDADA.....</b>	<b>91</b>
<b>14</b>	<b>PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA.....</b>	<b>93</b>
<b>15</b>	<b>RELATÓRIOS DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA.....</b>	<b>94</b>
15.1	RELATÓRIO MENSAL .....	94
15.2	RELATÓRIO ANUAL .....	94
15.3	RELATÓRIO ESPECIAL.....	95
<b>16</b>	<b>REVISÕES PERIÓDICAS DE SEGURANÇA.....</b>	<b>96</b>
<b>17</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RISCOS, COM DEFINIÇÃO DAS HIPÓTESES E DOS CENÁRIOS POSSÍVEIS DE ACIDENTE OU DESASTRE .....</b>	<b>98</b>
17.1	CENÁRIOS DE ROMPIMENTO – SIMULAÇÃO 1 .....	99
17.2	CENÁRIO DE ROMPIMENTO – SIMULAÇÃO 2 .....	100
17.3	CENÁRIO DE ROMPIMENTO EM CASCATA – SIMULAÇÃO 3 – PIOR CENÁRIO POSSÍVEL .....	101
17.4	CENÁRIO DE ROMPIMENTO – SIMULAÇÃO 4 .....	102
<b>18</b>	<b>MAPA DE INUNDAÇÃO, CONSIDERANDO PIOR CENÁRIO IDENTIFICADO.....</b>	<b>102</b>
<b>19</b>	<b>EQUIPE TÉCNICA .....</b>	<b>112</b>
<b>20</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>113</b>
<b>21</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>116</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Borda livre recomendadas pela USBR .....	14
Figura 2 – Estruturas do Barramento da PCH Rastro de Auto .....	25
Figura 3 – Jusante da PCH Rastro de Auto .....	26
Figura 4 – Ficha Técnica .....	27
Figura 5 – Mapa de acessos ao local da PCH Rastro de Auto .....	28
Figura 6 – Localização e acesso da Usina .....	29
Figura 7 – Mapa da área resguardada .....	29
Figura 8 – Cota x Volume – Reservatório PCH Rastro de Auto .....	30
Figura 9 – Curva de Descarga – Vertedouro .....	39
Figura 10 – Vertedouro da PCH Rastro de Auto .....	40
Figura 11 – Barragem da PCH Rastro de Auto (Vista Geral) .....	40
Figura 12 – Arranjo geral da PCH Rastro de Auto .....	43
Figura 13 – Barramento - Planta e Corte Longitudinal .....	44
Figura 14 – Vertedouro - Seção .....	45
Figura 15 – Circuito de Geração – Perfil Longitudinal .....	46
Figura 16 – Tomada de água - Seção .....	47
Figura 17 – Chaminé de equilíbrio – Seção Jusante e Montante .....	48
Figura 18 – Casa de Força – Planta .....	49
Figura 19 – Casa de Força – Seção Transveral .....	50
Figura 20 – Bacia Hidrográfica do rio Forqueta com localização aproximada da PCH Rastro de Auto ....	51
Figura 21 – Tipos Climáticos do Rio Grande do Sul .....	52
Figura 22 – Localização das sondagens realizadas .....	57
Figura 23 – Perfil Geológico no barramento da PCH Rastro de Auto .....	58
Figura 24 – Escavação na região do barramento .....	59
Figura 25 – Tratamento de fundação no barramento .....	60
Figura 26 - Matriz de Classificação de Barragem (Anexo I – REN nº 1.064/2023) .....	62
Figura 27 – Matriz para Classificação de barragem / Categoria de Risco e Dano Potencial Associado ..	63
Figura 28 – Matriz Classificação Categoria de Risco / Características Técnicas .....	64
Figura 29 – Matriz Classificação Categoria de Risco / Estado de Conservação .....	64
Figura 30 – Matriz Classificação Categoria de Risco / Plano de Segurança da Barragem - PS .....	65
Figura 31 – Matriz Classificação Dano Potencial Associado - DPA .....	66
Figura 32 - Fluxograma 1 - Estrutura organizacional equipe de segurança da Barragem – PCH Rastro de Auto .....	68
Figura 33 – Representação esquemática das anomalias .....	80
Figura 34 - Fluxograma 2 – Fluxograma de Ações - manutenção das estruturas .....	86
Figura 35 - Fluxograma 3 – Fluxograma de Segurança da Barragem - manutenção da instrumentação e/ou estruturas .....	87
Figura 36 – Descrição dos níveis dos parâmetros GUT .....	88
Figura 37 - Níveis do Grau de Hierarquização e Prazos máximos correspondentes .....	89
Figura 38 – Vertedouro .....	90
Figura 39 – Curva de Descarga do Vertedouro .....	90
Figura 40 – Portão de acesso a casa de força em bom estado .....	91
Figura 41 – Acesso para a barragem com cerca e portão .....	91
Figura 42 – Mapa da área resguardada .....	92

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Check list para conformidade do PSB .....	7
Tabela 2 – Vazões máximas anuais do posto base e do aproveitamento .....	16
Tabela 3 – Vazões de Cheia Método de Gumbel (dados oficiais ANA 1957 a 2023) .....	20
Tabela 4 – Vazões de Cheia Método Exponencial de Dois Parâmetros (dados oficiais ANA 1957 a 2023) .....	20
Tabela 5 – Vazões de Cheia Método Exponencial de Dois Parâmetros (1957 a 2024) .....	21
Tabela 6 – Coeficientes de Desagregação e Valores do Hidrograma para TR 10, TR 1.000 e 10.000 anos .....	22
Tabela 7 – Aproveitamentos Hidrelétricos no rio Forqueta previstos, próximos a PCH Rastro de Auto ...	31
Tabela 8 – Resultados Estabilidade Vertedouro – Seção S.3 (Análise 2D) .....	35
Tabela 9 – Resultados Estabilidade Vertedouro – Seção S.4 (Análise 2D) .....	35
Tabela 10 – Resultados Estabilidade Vertedouro - Seção S.5 (Análise 2D) .....	36
Tabela 11 – Resultados Estabilidade Barragem Margem Esquerda – Seção Única (Análise 2D) .....	36
Tabela 12 – Resultados Estabilidade Descarga de Fundo – Seção Única (Análise 3D) .....	37
Tabela 13 – Resultados Estabilidade Barragem Margem Direita – Seção Reforçada (Análise 2D) .....	37
Tabela 14 – Resultados Estabilidade Barragem Margem Direita – Seção Nova (Análise 2D) .....	38
Tabela 15 – Temperaturas região da PCH .....	53
Tabela 16 – Umidade Relativa do Ar em Bom Progresso .....	53
Tabela 17 – Precipitação Média Mensal – RPS .....	54
Tabela 18 - Lista de profissionais e qualificação técnica destes vinculados a equipe de segurança e operação da PCH Rastro de Auto .....	70
Tabela 19 - Contatos da PCH e do Empreendedor .....	71
Tabela 20 - Tipo e frequência das inspeções de segurança .....	75
Tabela 21 – Resumo das Fichas Inspeção .....	84
Tabela 22 – Resumo das Instruções de Trabalho e utilização - Manutenções .....	85
Tabela 23 – Hidrogramas para PCH Salto Forqueta .....	99
Tabela 24 – Hidrogramas para PCH Rastro de Auto .....	99
Tabela 25 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Rastro de Auto sem rompimento da Barragem ...	99
Tabela 26 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Rastro de Auto com rompimento da Barragem .	100
Tabela 27 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Salto Forqueta sem rompimento da Barragem .	101
Tabela 28 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Salto Forqueta com rompimento da Barragem .	101
Tabela 29 – Níveis Estruturas – Natural e com rompimento Barragem Salto Forqueta .....	101
Tabela 30 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break – Simulação 1 – Rompimento Hipotético da Barragem da PCH Rastro de Auto .....	103
Tabela 31 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break – Simulação 2 – Rompimento Hipotético da Barragem da PCH Salto Forqueta .....	103
Tabela 32 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - <b>Simulação 3 – Pior Cenário Possível</b> - Rompimento Hipotético da Barragem da PCH Rastro de Auto e PCH Salto Forqueta .....	104
Tabela 33 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Simulação 3 – Rompimento Hipotético da Barragem da PCH Rastro de Auto e PCH Salto Forqueta .....	105
Tabela 34 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para QTurb – Dia de Sol .....	106
Tabela 35 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para QTurb – Dia de Sol .....	107
Tabela 36 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 10 anos .....	108
Tabela 37 – Resultados Obtidos - Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 100 anos .....	109
Tabela 38 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 1.000 anos .....	110
Tabela 39 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 10.000 anos .....	111

## 1 INTRODUÇÃO

O presente relatório contempla o Plano de Segurança de Barragem da PCH Rastro de Auto, no rio Forqueta, pertencente à **CERTEL RASTRO DE AUTO GERAÇÃO DE ENERGIA S/A.**, localizada no estado do Rio Grande do Sul.

Visa atender a Política Nacional de Segurança de Barragens – Lei Federal nº Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010 alterada pela 14.066 de 30 de setembro de 2020, a Resolução Normativa – ANEEL - Nº 1064/2023.

Este plano foi elaborado para todas as estruturas da usina, fornecendo um plano completo de monitoramento, manutenção e operação das estruturas da Usina.

Estabelece orientações gerais quanto as metodologias e procedimentos, de forma a assegurar adequadas condições de segurança para a barragem e estruturas anexas.

## 2 PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM – PSB – CHECK LIST

O Plano de Segurança da Barragem foi revisado e assinado pelo responsável técnico, com manifestação de ciência do representante do empreendedor, e contém minimamente as informações dispostas no art. 8º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

O check list para conformidade do Plano de Segurança de Barragem (PSB), onde os itens em azul estão contidos no Art. 8º, da Lei 12.334/2010, que indicam o conteúdo mínimo do PSB. Os itens em verde não estão como conteúdo mínimo exigido na Lei, mas são considerados itens importantes e recomendados pela fiscalização da ANEEL.

Tabela 1 – Check list para conformidade do PSB

CHECK LIST PARA CONFORMIDADE DO PLANO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM (PSB)		
ITENS DO ART. 8º, LEI 12.334/2010		Páginas / OBS
1	I - Identificação do Empreendedor	
1.1	Nome da usina	11
1.2	Denominação da empresa outorgada	11
1.3	Representantes da empresa	11
1.4	Responsáveis pela segurança da barragem	11
1.5	Endereços, emails, telefones	11
2	II - Dados Técnicos (implantação, operação e manutenção da barragem)	
2.1	Arranjo geral das estruturas (com as seções típicas das principais estruturas)	14 e Anexo I
2.2	Classificação da barragem e ano de referência	62
2.3	Cota do Coroamento	13
2.4	Borda livre (diferença entre o NA max maximorum e a cota de coroamento)	14
2.5	Largura da crista das estruturas do barramento	12
2.6	Comprimento total da crista do barramento	12
2.7	Altura máxima do maciço	12
2.8	Material de construção das estruturas do barramento	12
2.9	Idade (a partir do 1º enchimento)	12

2.10	Tempo de Recorrência (TR) para o dimensionamento das estruturas extravasoras	15
2.11	Vazão de projeto para dimensionamento das estruturas extravasoras (m³/s)	15
2.12	Mês / Ano de atualização dos estudos hidrológicos de cheias	15
2.13	Dimensões úteis dos dispositivos extravasores	23
2.14	Projeto como construído (para usinas construídas após 20/9/2010)	23
2.15	Relatórios de compilação e interpretação da instrumentação	Não aplicável
2.16	Critérios de estabilidade global das estruturas de concreto	32
2.17	Critérios de dimensionamento geotécnico das barragens de terra	Não aplicável
2.18	Critérios de dimensionamento de filtros e tapetes para controle de percolação	Não aplicável
3	III - Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem e responsável pelo PSB	67
3.1	Identificação dos componentes da equipe e respectivas qualificações profissionais, tipo de vínculo, registros de classe e tipo de ART (obra ou serviço e cargo ou função), com indicação de equipe própria ou terceirizada responsável pelos procedimentos de inspeção de segurança da barragem, de monitoramento e relatórios de segurança de barragem	70
3.2	ART com a indicação de responsabilidade do Plano de Segurança	Anexo V
4	IV - Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem	72
4.1	Procedimentos dos roteiros de inspeção de segurança (o que a usina faz periodicamente nas inspeções)	72
4.2	Procedimentos dos roteiros de monitoramento (como é realizado o tratamento dos dados de monitoramento dos instrumentos de auscultação da barragem)	Não aplicavel
5	V - Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem	90
6	VI - Indicação da área de entorno das instalações e seus respectivos acessos a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção / operação da barragem	91
7	VII - Plano de Ação Emergencial (PAE)	93 e RDA-PAE-REV03-2026 PCH RDA-jun2026
8	VIII - Relatórios de Inspeção de Segurança Regular (ISR) e Especial, se existir	Anexo VII
9	IX - Revisões periódicas de segurança	Anexo VIII
10	X - Identificação e avaliação dos riscos, com definição das hipóteses e dos cenários possíveis de acidente ou desastre	98
11	XI - Mapa de inundação, considerado o pior cenário identificado	RDA-PAE-REV03-2026 PCH RDA-jun2026
11.1	Estudo de rompimento e de propagação de cheia associada, com elaboração de mapa de inundação para os possíveis cenários de ruptura da barragem, com o pior cenário identificado. (O pior cenário de ruptura da barragem deve considerar o maior impacto entre a área atingida pela inundação incremental de rompimento em cenário de cheia natural histórica e a área atingida por inundação proveniente de rompimento em dia seco, independente de cheia natural)	RDA-PAE-REV03-2026 PCH RDA-jun2026
11.2	Indicação da metodologia e software adotados e os critérios, premissas e parâmetros utilizados para a elaboração do mapa de inundação.	RDA-PAE-REV03-2026 PCH RDA-jun2026
12	XII - Identificação e dados técnicos das estruturas, das instalações e dos equipamentos de monitoramento da barragem	12
13	Declaração de condição de estabilidade de barragem (Documento comprobatório - declaratório de que foram feitas todas as verificações estruturais de estabilidade das estruturas do barramento para as condições atualizadas)	Anexo VI
14	Assinatura do responsável técnico pela elaboração do PSB	capa
15	Manifestação de ciência do representante do empreendedor pela elaboração do PSB	capa
16	Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) recolhida pela elaboração do PSB	Anexo V

A extensão e detalhamento do Plano de Segurança e estudos a ele associados são proporcionais à complexidade da barragem e sua área de influência, e devem ser suficientes para garantir as condições adequadas de segurança das estruturas e pessoas.

### **Período de realização dos trabalhos**

A realização dos trabalhos foi de 01 de abril de 2026 a 10 de junho de 2026.

## **3 HISTÓRICO**

Em junho de 2016 a empresa Infra-Geo elaborou o primeiro Plano de Segurança da Barragem – PCH Rastro de Auto. Este documento já passou por algumas revisões de atualizações, sendo último documento é datado de novembro/2023, o qual vai ser substituído por este documento com adequação de acordo com RPS-2025 e mudanças da RN 1064/2023 da ANEEL.

### **3.1 OBJETIVO**

De acordo com a Lei 12.334 de setembro de 2010 alterada pela 14.066/2020 e da Resolução Normativa nº 1064 de 02 de maio de 2023, todas as barragens deverão ser classificadas conforme o risco e o dano potencial associado.

Ainda conforme Lei 12.334 e Resolução Normativa nº 1064, a barragem da PCH Rastro de Auto se enquadra na matriz de classificação de barragem como **classe C**, isto é, categoria de risco baixo e dano potencial baixo. Logo, devido a esta classificação se faz necessário a elaboração do Plano de Segurança da Barragem (documento em questão) e o Plano de Ação de Emergências foi elaborado por definição do empreendedor (RDA-C-PAE-001-02-25) e atualizado em junho/2026 (RDA-BA-PAE-REV03-2026).

O Plano de Segurança da Barragem 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.

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

O Plano de Ação de Emergência (PAE) contemplará 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 que possivelmente poderão ser atingidas.

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 será voltada, principalmente, com as consequências à jusante com hipotética ruptura da barragem.

O Plano de Ação de Emergência (PAE) definirá 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.

Conforme a Lei nº 12.334, o Plano de Segurança da Barragem deve compreender, no mínimo, as seguintes informações:

- I - Identificação do empreendedor;
- II - Dados técnicos referentes à implantação do empreendimento, inclusive, no caso de empreendimentos construídos após a promulgação desta Lei, do projeto como construído, bem como aqueles necessários para a operação e manutenção da barragem;
- III - Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de segurança da barragem;
- IV - Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento e relatórios de segurança da barragem;
- V - Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem;
- VI - Indicação da área do entorno das instalações e seus respectivos acessos, a serem resguardados de quaisquer usos ou ocupações permanentes, exceto aqueles indispensáveis à manutenção e à operação da barragem;
- VII - Plano de Ação de Emergência – No Caso da PCH Rastro de Auto não é necessário a elaboração do Plano de Ação de Emergência devido à Classe da Barragem – C, porém foi elaborado por solicitação do empreendedor;
- VIII - Relatórios das inspeções de segurança;
- IX - Revisões periódicas de segurança;
- X – Identificação e avaliação dos riscos, com definição das hipóteses e dos cenários possíveis de acidente ou desastre;
- XI – Mapa de inundação, considerando pior cenário identificado;
- XII – Identificação e dados técnicos das estruturas, das instalações e dos equipamentos de monitoramento da barragem.

## 4 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR/EMPREENDIMENTO/BARRAGEM

### SPE

**Nome do Empreendedor:** CERTEL RASTRO DE AUTO GERAÇÃO DE ENERGIA S/A.

**PCH:** Rastro de Auto - PCH.PH.RS.030287-2

**CNPJ:** 109.73.187/0001-63

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

**Fone:** (51) 3762-5516 (Teutônia)

**Celular:** (51) 9796-0731 e Ramal 7007 (Rastro de Auto)

**Representantes Legais:** Diretor Presidente: Erineo José Hennemann

**Fone:** (51) 3762-5516

**E-mail:** [erineo@certel.com.br](mailto:erineo@certel.com.br)

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

**CREA:** RS 212636

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

**E-mail:** [rodrigo\\_cas@certel.com.br](mailto:rodrigo_cas@certel.com.br)

**Supervisor de Operação/Coordenador do PAE:** Silvio Fusiger

**Telefone:** (51) 99806-2364

## 5 IDENTIFICAÇÃO DOS RESPONSÁVEIS TÉCNICOS

### 5.1 IDENTIFICAÇÃO DO RESPONSÁVEL TÉCNICO PELA REVISÃO PSB/PAE-2026

#### Empresa Executora

TRISUL Engenharia Ltda – CNPJ n° 19.424.943/0001-70

**Endereço:** Rua São Paulo, 2650, 2° andar sala 202 – Itoupava Seca - Blumenau – SC – CEP: 89030-000

**Telefone/WhatsApp** (47) 98827-7788

**E-mail:** [elizeu@trsul.com.br](mailto:elizeu@trsul.com.br)

#### Responsável Técnico

Engenheiro Civil: Elizeu Riba

CREA SC n° 050559-2/D

CREA RS n° PR 26079

ART SC 10102689-7

## 6 DADOS TÉCNICOS DO EMPREENDIMENTO E NECESSÁRIOS PARA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS BARRAGENS

### 6.1 DADOS GERAIS

Empresa .....	CERTEL RASTRO DE AUTO GERAÇÃO DE ENERGIA S/A.
Empreendimento.....	PCH Rastro de Auto
Localização .....	Rio Forqueta
Municípios (barragem).....	Margem direita: São José do Herval Margem esquerda: Putinga
Município (Casa de Força).....	Margem direita: São José do Herval
Sub-bacia .....	86
Bacia .....	08
Estado .....	Rio Grande do Sul
Área de drenagem .....	564 km <sup>2</sup>
Potência instalada .....	7.020 kW
Vazão média de longo termo Q <sub>mlt</sub> .....	18,01 m <sup>3</sup> /s
Vazão sanitária (remanescente).....	0,69
Vazão Turbinada Total .....	20,06 m <sup>3</sup> /s
Nível de água Máximo de montante NAM <sub>Max (TR-10.000)</sub> .....	256,09 m
Nível de água Normal de montante NAM = cota soleira vertedouro .....	250,00 m
Nível de água normal de jusante NAJ .....	206,80 m
Queda bruta .....	43,20 m

### 6.2 BARRAGEM / VERTEDOURO

Tipo .....	Gravidade
Operação inicial.....	ano 2013
Idade (a partir do 1º enchimento) da barragem em 2026.....	13 anos
Material de construção estruturas do barramento.....	Concreto convencional/ciclópico
Comprimento total da crista do barramento (ombreiras+vertedouro).....	178,15 m
Ombreira Direita – comprimento.....	33,00 m
Largura da crista da ombreira direita.....	5,00 m
Município – margem direita.....	São José do Herval/RS
Altura máxima da ombreira direita.....	13,10 m
Ombreira Esquerda – comprimento.....	13,15 m
Largura da crista da ombreira esquerda.....	3,00 m
Município – margem esquerda.....	Putinga/RS
Altura máxima da ombreira esquerda.....	21,60 m
Cota de proteção das ombreiras (coroamento).....	257,10 m

Vertedouro tipo.....	soleira livre “perfil creager”
Tipo calha vertente.....	em degraus
Inclinação do paramento do vertedouro (jusante).....	0,75 H : 1V
Inclinação do paramento do vertedouro (montante).....	0H :1V
Comprimento total da crista do vertedouro .....	132,00 m
Altura máxima do bloco vertedouro.....	14,50 m
Cota da crista do vertedouro .....	250,00 m
Cota do nível máximo maximorum (TR = 10.000 anos).....	256,09 m
Cota do nível máximo em Ultimate Capacity.....	257,10 m
Lâmina máxima sobre o vertedouro calculada para TR = 10.000 anos.....	6,09 m
Lâmina máxima sobre o vertedouro admitida ( Ultimate Capacity ).....	7,10 m
Vazão máxima média diária (TR = 10.000 anos).....	4.328,10 m <sup>3</sup> /s
Vazão de cálculo do vertedouro.....	4.328,10 m <sup>3</sup> /s
Vazão máxima em Ultimate Capacity .....	5.444,00 m <sup>3</sup> /s

Após o evento de enchente extrema ocorrido em 2024 as estruturas que compõe a PCH passaram por recuperação, reforço e alteamento visando absorver os novos e atualizados estudos hidrológicos, estrutural e de rompimento.

### 6.3 COMPORTA DESCARGA DE FUNDO (BARRAGEM)

Comporta descarga de fundo .....	01 unidade
Tipo de comporta.....	vagão
Dimensões.(passagem livre) .....	3,00 m x 4,00 m (L x H)
Acionamento das comportas .....	hidráulico/manual
Cota do piso de operação da comporta da descarga de fundo.....	255,00 m
Cota da soleira da comporta da descarga de fundo.....	236,00 m
Altura de pressão máxima sobre a comporta da descarga de fundo.....	20,09 m
Altura soleira comporta descarga de fundo até cota de proteção das ombreiras.....	21,10 m

### 6.4 COTA DE COROAMENTO DA BARRAGEM

Cota de proteção e/ou coroamento da barragem (ombreiras esquerda e direita).....	257,10 m
Cota da crista do vertedouro .....	250,00 m
Cota do nível máximo maximorum (TR = 10.000 anos).....	256,09 m
Cota do nível máximo em Ultimate Capacity.....	257,10 m

## 6.5 ARRANJO GERAL DAS ESTRUTURAS

O arranjo geral das principais estruturas, contendo plantas e as respectivas seções típicas, encontram-se no Anexo I.

## 6.6 BORDA LIVRE

A borda livre é função da profundidade da água junto à barragem, da extensão (L) da superfície do reservatório (“fetch”), medida perpendicularmente ao eixo da barragem, e do vento que sopra sobre a superfície da água.

Para barragem com altura maior que 10 m, a borda livre deve ser estimada utilizando-se os critérios do USBR (Saville / Bertram).

Os estudos de borda livre são realizados utilizando-se da metodologia consagrada em projetos dessa natureza como recomendado no item 3.1.1 do documento da Eletrobrás, CBDB (2003). O método recomendado é o de Saville Jr. (1962), o qual é apresentado, também, em USBR (1981).

O dimensionamento racional da borda livre requer a determinação da altura e da ação das ondas. A altura das ondas no reservatório depende da velocidade e da duração do vento, do fetch, da profundidade da água e da largura do reservatório.

O fetch é definido como a distância mais longa em linha reta desde o eixo da barragem até a margem do reservatório na direção de propagação do vento. É a pista no corpo da água (superfície do reservatório) sobre a qual o vento vai agir. Esse parâmetro condiciona a altura da onda.

O USBR (1974) sugere como critério, que se adotem ventos de 100 milhas/h (160 km/h) para a borda livre normal e ventos de 50 milhas/h (80 km/h) para a borda livre mínima. Com base nessas velocidades, recomendam-se as bordas livres conforme figura a seguir.

Borda livre (m)		
<i>Fetch</i> (km)	BL normal (m)	BL mínima (m)
< 1,60 (~1 milha)	1,22	0,91
1,60	1,52	1,22
4,02	1,83	1,52
8,05	2,44	1,83
16,1	3,05	2,13

*Fonte: USBR (1974).*

Figura 1 – Borda livre recomendadas pela USBR

Portanto, para um fetch efetivo de 1,000 km, e aplicando as equações recomendadas chegamos ao valor da borda livre mínima calculada de 17 cm, portanto bem menor que o recomendado pelo USBR (1974) para uma velocidade do vento de 80 km/h que é de 0,91 m. Para o projeto adotamos 1,01 m de borda livre mínima, valor este acima do mínimo recomendado.

Ficando assim definida a borda livre:

- Borda livre é a diferença entre o NA max maximorum e a cota de coroamento: **1,01 m**, cota N.A.máximoMaximorum = 256,090 m (TR-10.000) e a cota de coroamento = 257,100 m

## 6.7 TEMPO DE RECORRÊNCIA (TR) PARA O DIMENSIONAMENTO DAS ESTRUTURAS EXTRAVASORAS

Foi adotado para o dimensionamento das estruturas extravasoras (vertedouro da barragem) e para as demais estruturas da PCH as vazões de cheias (extremas) atualizadas com tempo de recorrência **TR=10.000 anos** que resultou em 4.328,10 m<sup>3</sup>/s, gerando uma lâmina máxima de 6,09 m sobre a soleira do vertedouro, sendo que lâmina máxima somada a borda livre mínima que é de 1,01 m, resulta em 7,10 m (diferença entre a soleira do vertedouro e a cota de proteção das ombreiras).

Sendo assim o vertedouro terá como **capacidade máxima em “ultimate capacity” de 5.444,00 m<sup>3</sup>/s, absorvendo eventualmente a TR-10.000 calculada.**

## 6.8 VAZÃO DE PROJETO PARA DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAS EXTRAVASORAS

Após o reforço estrutural da barragem as vazões de projeto, com a atualização do estudo hidrológico passam a vigorar com os seguintes valores de referência:

Vazão média de longo termo.....	18,01 m <sup>3</sup> /s
Vazão turbinada máxima.....	20,06 m <sup>3</sup> /s
Vazão turbinada unitária (nominal).....	10,03 m <sup>3</sup> /s
Vazão Sanitária (ambiental).....	0,69 m <sup>3</sup> /s
Vazão máxima (TR = 10.000 anos).....	4.328,10 m <sup>3</sup> /s
Vazão de cálculo do vertedouro (TR= 10.000 anos).....	4.328,10 m <sup>3</sup> /s
Vazão máxima em Ultimate Capacity.....	5.444,00 m <sup>3</sup> /s

## 6.9 VAZÕES DE CHEIAS (VAZÕES EXTREMAS)

A atualização dos estudos hidrológicos para determinação das vazões extremas (cheias) foram realizados no mês de **junho de 2024**.

As alterações de projeto foram necessárias para atender a legislação de segurança de barragem considerando as novas vazões de cheia (extremas) originadas pela atualização do estudo hidrológico.

A estimativa de longo prazo de vazões máximas baseia-se em análises estatísticas da série de vazões máximas anuais, extraídas de séries de vazões médias diárias representativas do regime fluvial na bacia em estudo, ou seja, é determinada a probabilidade de que ocorra um evento extremo com base em dados históricos registrados anteriormente e transferidos para o local em estudo. Portanto, é recomendado dispor da maior série histórica de máximas anuais.

As vazões máximas são utilizadas para o dimensionamento do vertedouro, cota de proteção das demais estruturas correlatas.

Nesta avaliação, foram utilizadas as séries de vazões máximas diárias da estação fluviométrica base dos estudos **Passo do Coimbra (86745000)** utilizou-se as informações hidroweb/ANA registradas entre **1957 a 2023** e a **vazão máxima ocorrida em 2024 que foi medida no local da usina PCH Rastro de Auto e transposta para o posto base**, pois ainda não há registro no posto oficial. Observa-se que a vazão máxima ocorrida em 2024, supera em muito as máximas ocorridas anteriormente.

A seguir a tabela resumo com os dados de vazões máximas anuais do posto base e do aproveitamento (Hidroweb/ANA):

Tabela 2 –Vazões máximas anuais do posto base e do aproveitamento

Local	Posto PASSO DO COIMBRA 86745000	PCH RASTRO DE AUTO
Area Drenagem (km2)	791,00	564,00
Ano	Qmax (m³/s)	Qmax (m³/s)
1957	530,00	377,90
1958	620,00	442,07
1959	804,00	573,27
1960	408,00	290,91
1961	485,00	345,82
1962	42,40	30,23
1963	485,00	345,82
1964	289,00	206,06
1965	215,00	153,30
1966	558,00	397,87
1967	846,00	603,22
1968	200,00	142,60
1969	302,00	215,33
1970	430,00	306,60
1971	1.012,00	721,58
1972	443,00	315,87
1973	521,00	371,48

1974	941,00	670,95
1975	396,00	282,36
1976	292,00	208,20
1977	346,00	246,71
1978	224,00	159,72
1979	412,00	293,76
1980	445,00	317,29
1981	258,00	183,96
1982	843,00	601,08
<b>1983</b>	<b>1.093,00</b>	<b>779,33</b>
1984	769,00	548,31
1985	340,00	242,43
1986	589,00	419,97
1987	453,00	323,00
1988	565,00	402,86
1989	545,00	388,60
<b>1990</b>	<b>1.028,00</b>	<b>732,99</b>
1991	238,00	169,70
1992	229,00	163,28
1993	257,00	183,25
1994	595,00	424,25
1995	205,00	146,17
1996	387,00	275,94
1997	533,00	380,04
1998	316,00	225,31
1999	321,00	228,88
2000	486,00	346,53
<b>2001</b>	<b>1.258,00</b>	<b>896,98</b>
2002	503,00	358,65
2003	720,00	513,38
2004	125,00	89,13
2005	512,00	365,07
2006	373,00	265,96
2007	231,00	164,71
2008	620,00	442,07
2009	508,00	362,21
<b>2010</b>	<b>1.292,00</b>	<b>921,22</b>
2011	421,00	300,18
2012	449,00	320,15
2013	363,00	258,83
2014	363,00	258,83
2015	390,00	278,08
2016	403,00	287,35
2017	586,00	417,83
2018	287,00	204,64
2019	306,00	218,18

2020	680,00	484,85
2021	289,00	206,06
2022	451,00	321,57
2023	395,00	281,64
2024*	3.713,84	2.648,05

\*observação dados até 2023 são dados oficiais disponibilizados pela ANA.

\*2024 – dado estimado/medido pela TRISUL/CERTEL

O manual da Eletrobrás recomenda que para a definição das cheias de projeto, serão utilizadas duas distribuições: exponencial de dois parâmetros (estimada pelo método dos momentos), sempre que a assimetria da amostra for superior a 1,5 e Gumbel (extremos do tipo I), para assimetrias amostrais inferiores a 1,5.

No nosso caso a assimetria é igual a 4,95, valor superior a 1,5, então é recomendado utilizar o Método Exponencial de Dois Parâmetros.

Utilizando os dados de vazões máximas anuais, obtemos os seguintes valores:

Média = 383,09 m<sup>3</sup>/s

Desvio Padrão = 332,95 m<sup>3</sup>/s

Definida a base estatística para a obtenção dos eventos extremos  $Q_{INST}$ , é oportuno mencionar que os valores calculados foram majorados pelo Coeficiente de Fuller quando da sua transferência para o eixo do barramento proposto neste estudo, conforme formulação a seguir, para considerar o efeito do pico instantâneo das ondas de cheia.

$$Q_{INST} = \lambda Q_{MED}$$

$$\lambda = 1 + a / (AD)^b$$

onde: AD = área de drenagem (km<sup>2</sup>) a= 2,6 e b= 0,3

Vazões Máximas		Assimetria	
AD USINA=	564,00 km <sup>2</sup>	n=	68
Qmed=	383,09 m <sup>3</sup> /s	Assimetria=	4,95
s=	332,95 m <sup>3</sup> /s	Usar Exponencial de 2 Parâmetros	

Ano	Qmax		Ano	X1 - média
1957	377,90		1957	-140,0
1958	442,07		1958	205160,0
1959	573,27		1959	6877967,8
1960	290,91		1960	-783306,5
1961	345,82		1961	-51807,0
1962	30,23		1962	-43935479,2
1963	345,82		1963	-51807,0
1964	206,06		1964	-5548155,4
1965	153,30		1965	-12134444,5
1966	397,87		1966	3223,2

1967	603,22		1967	10665707,2
1968	142,60		1968	-13908845,1
1969	215,33		1969	-4721492,4
1970	306,60		1970	-447610,4
1971	721,58		1971	38780403,1
1972	315,87		1972	-303813,8
1973	371,48		1973	-1565,0
1974	670,95		1974	23852785,1
1975	282,36		1975	-1022297,4
1976	208,20		1976	-5349460,8
1977	246,71		1977	-2537095,0
1978	159,72		1978	-11145978,2
1979	293,76		1979	-712826,6
1980	317,29		1980	-284886,9
1981	183,96		1981	-7896619,1
1982	601,08		1982	10357782,6
1983	779,33		1983	62211260,1
1984	548,31		1984	4510054,3
1985	242,43		1985	-2783406,3
1986	419,97		1986	50142,8
1987	323,00		1987	-217033,7
1988	402,86		1988	7718,8
1989	388,60		1989	166,6
1990	732,99		1990	42835246,7
1991	169,70		1991	-9717484,2
1992	163,28		1992	-10620780,4
1993	183,25		1993	-7981747,0
1994	424,25		1994	69697,9
1995	146,17		1995	-13299401,0
1996	275,94		1996	-1230373,9
1997	380,04		1997	-28,5
1998	225,31		1998	-3927821,9
1999	228,88		1999	-3667539,4
2000	346,53		2000	-48890,8
2001	896,98		2001	135706993,3
2002	358,65		2002	-14606,4
2003	513,38		2003	2211286,4
2004	89,13		2004	-25403527,4
2005	365,07		2005	-5858,6
2006	265,96		2006	-1607257,4
2007	164,71		2007	-10415410,2
2008	442,07		2008	205160,0
2009	362,21		2009	-9102,3
2010	921,22		2010	155833320,5
2011	300,18		2011	-569975,4
2012	320,15		2012	-249424,2

2013	258,83		2013	-1918989,8
2014	258,83		2014	-1918989,8
2015	278,08		2015	-1158151,5
2016	287,35		2016	-877749,5
2017	417,83		2017	41913,2
2018	204,64		2018	-5683314,9
2019	218,18		2019	-4484755,6
2020	484,85		2020	1053744,5
2021	206,06		2021	-5548155,4
2022	321,57		2022	-232853,6
2023	281,64		2023	-1044158,8
2024	2648,05		2024	11619258632,7

\*2024 – dado estimado/medido pela TRISUL/CERTEL

Tabela 3 – Vazões de Cheia Método de Gumbel (dados oficiais ANA 1957 a 2023)

<b>Vazões de Cheia PCH RASTRO DE AUTO</b>		
<b>MÉTODO DE GUMBEL (1957 a 2023)</b>		
<b>TR</b>	<b>Q (m³/s)</b>	<b>Q inst (m³/s)</b>
2	319,17	443,23
10	588,70	817,52
50	825,00	1.145,66
100	924,90	1.284,38
500	1.155,74	1.604,95
1.000	1.254,98	1.742,76
10.000	1.584,49	2.200,34

Tabela 4 – Vazões de Cheia Método Exponencial de Dois Parâmetros (dados oficiais ANA 1957 a 2023)

<b>Vazões de Cheia PCH RASTRO DE AUTO</b>		
<b>MÉTODO EXPONENCIAL DE DOIS PARÂMETROS (1957 a 2023)</b>		
<b>TR</b>	<b>Q (m³/s)</b>	<b>Q inst (m³/s)</b>
2	293,00	406,89
10	588,22	816,85
50	883,43	1.226,81
100	1.010,58	1.403,37
500	1.305,79	1.813,33
1.000	1.432,94	1.989,89
10.000	1.855,29	2.576,40

Tabela 5 – Vazões de Cheia Método Exponencial de Dois Parâmetros (1957 a 2024)

<b>Vazões de Cheia PCH RASTRO DE AUTO</b>		
<b>MÉTODO EXPONENCIAL DE DOIS PARÂMETROS (1957 A 2024)</b>		
<b>TR</b>	<b>Q (m³/s)</b>	<b>Q inst (m³/s)</b>
2	280,93	390,12
10	816,79	1.134,25
50	1.352,64	1.878,39
100	1.583,43	2.198,87
500	2.119,28	2.943,00
1.000	2.350,06	3.263,48
10.000	3.116,70	4.328,10

Sendo assim o vertedouro e as demais estruturas da PCH Rastro de Auto foram dimensionadas para atender a cheia de projeto com tempo de recorrência TR=10.000 anos que é 4.328,10 m³/s. Para a definição do hidrograma e dos estudos de rompimento foram consideradas as vazões de 10, 1.000 e de 10.000 anos. Assim o hidrograma de cheias foi definido com base nessas duas vazões. O hidrograma é obtido através da multiplicação do tempo de concentração da bacia (considerado 10 horas) pelo adimensional (t/tp) e o valor da vazão de cheia para o respectivo tempo de recorrência pelo adimensional (Q/Qp). O pico da cheia é considerado no tempo t/tp=1 ou seja exatamente no tempo de concentração da bacia hidrográfica.

O menor valor de vazão considerado foi a Q<sub>mlt</sub> que no caso da PCH Rastro de Auto é de 18,01 m³/s, sendo que onde os valores forem menores que este serão substituídos.

Para o caso do estudo de rompimento em dia de sol foi utilizada constante a vazão média de longo período (18,01 m³/s) ao longo de todo o hidrograma.

Tabela 6 apresenta os valores do coeficiente de desagregação e os valores de tempo e vazão do hidrograma para cada cheia definida. O valor do tempo é o mesmo para todos os cenários sendo que apenas a vazão muda conforme o tempo de recorrência. Os valores de vazão correspondente ao tempo no hidrograma obtidos e utilizados no programa Hec-Ras também estão indicados na

Tabela 6. As curvas dos hidrogramas estão indicadas no Gráfico 1.

Tabela 6 – Coeficientes de Desagregação e Valores do Hidrograma para TR 10, TR 1.000 e 10.000 anos

Coef Desagregação		Tempo (h)	Vazão (m³/s)		
t/tp	Q/Qp		TR-10	TR-1.000	TR-10.000
0,000	0,000	0	18,01	18,01	18,01
0,100	0,015	1	18,01	48,95	64,92
0,200	0,075	2	85,07	244,76	324,61
0,300	0,16	3	181,48	522,16	692,50
0,400	0,28	4	317,59	913,77	1211,87
0,500	0,43	5	487,73	1403,30	1861,08
0,600	0,60	6	680,55	1958,09	2596,86
0,700	0,77	7	873,37	2512,88	3332,64
0,800	0,89	8	1009,48	2904,50	3852,01
0,900	0,97	9	1100,22	3165,58	4198,26
<b>1,000</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>1134,25</b>	<b>3263,48</b>	<b>4328,10</b>
1,100	0,98	11	1111,57	3198,21	4241,54
1,200	0,92	12	1043,51	3002,40	3981,85
1,300	0,84	13	952,77	2741,32	3635,60
1,400	0,75	14	850,69	2447,61	3246,08
1,500	0,65	15	737,26	2121,26	2813,27
1,600	0,57	16	646,52	1860,18	2467,02
1,800	0,43	18	487,73	1403,30	1861,08
2,000	0,32	20	362,96	1044,31	1384,99
2,200	0,24	22	272,22	783,24	1038,74
2,400	0,18	24	204,17	587,43	779,06
2,600	0,13	26	147,45	424,25	562,65
2,800	0,098	28	111,16	319,82	424,15
3,000	0,075	30	85,07	244,76	324,61
3,500	0,036	35	40,83	117,49	155,81
4,000	0,018	40	20,42	58,74	77,91
4,500	0,009	45	18,40	29,37	38,95
5,000	0,004	50	18,40	18,40	18,40

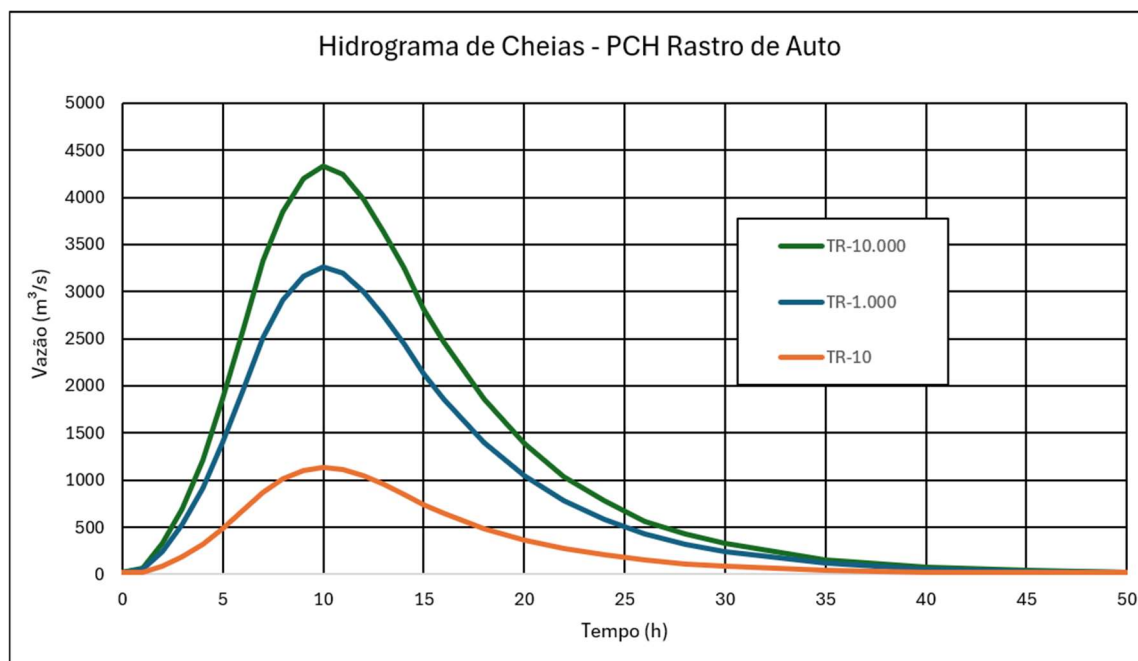


Gráfico 1 – Hidrograma de Cheias PCH Rastro de Auto

## 6.10 DIMENSÕES ÚTEIS DOS DISPOSITIVOS EXTRAVASORES

O vertedouro da barragem é o dispositivo extravasor principal do empreendimento. E possui as seguintes características:

Vertedouro tipo.....	soleira livre “perfil creager”
Lâmina máxima sobre o vertedouro calculada para TR = 10.000 anos.....	6,09 m
Lâmina máxima sobre o vertedouro admitida ( Ultimate Capacity ).....	7,10 m
Comprimento total da crista do vertedouro .....	132,00 m

A barragem possui uma comporta na Descarga de Fundo (DF), que poderá ser acionada eventualmente, com as seguintes características:

Comporta descarga de fundo .....	01 unidade
Tipo de comporta.....	vagão
Dimensões.(dimensões úteis) .....	3,00 m x 4,00 m (L x H)
Acionamento das comportas .....	hidráulico/manual

## 6.11 PROJETO COMO CONSTRUÍDO

A TRSUL Engenharia Ltda, disponibilizou o projeto como construído “As Built” da Reforço Estrutural da PCH Rastro de Auto e a CERTEL mantém em arquivos digitais para futuras consultas (Anexo I).

## 6.12 DESENHOS DE REFERÊNCIA

Todos os documentos da Usina estão apresentados no Anexo I – Documentos do Projeto do Plano de Segurança da Barragem - PSB.

## 6.13 INSTRUMENTAÇÃO

A instrumentação instalada anteriormente foi retirada devido a RPS-2025, onde galeria de drenagem foi tamponada com concreto convencional.

Para instrumentação da barragem foi optado no uso de pares de pinos junto as juntas de dilatação para monitoramento e controle de deslocamentos superficiais, deslocamentos angulares, e deslocamentos relativos e absolutos, tendo como referência dois marcos de referência geodésicos instalados, sendo 01 (um) na margem direita e outro na margem esquerda da barragem.

## 6.14 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA USINA

A PCH Rastro de Auto está localizada no município de Putinga e São José do Herval - RS, no rio Forqueta, com potência instalada de 7,02 MW e entrou em operação comercial em junho de 2013.

O empreendimento é composto de uma barragem em concreto de concreto de média altura e vertedouro de soleira livre de 132 m. Adução é composta das seguintes estruturas: Tomada de água se encontra afastada da barragem em um braço do reservatório na margem direita, túnel

seção arco-retângulo 3,80 x 3,80 m, chaminé de equilíbrio em concreto com diâmetro de 9 m, conduto forçado diâmetro de 2,70 m, casa de força com duas unidades de Francis dupla com potência instalada total de 7,02 MW.

A seguir será apresentado arranjo geral das estruturas da PCH Rastro de Auto e Ficha técnica resumo.



Figura 2 – Estruturas do Barramento da PCH Rastro de Auto



Figura 3 – Jusante da PCH Rastro de Auto

<b>FICHA TÉCNICA - PCH RASTRO DE AUTO</b>			
IDENTIFICAÇÃO			
	Nome da Usina:	PCH RASTRO DE AUTO	
	Situação:	Em Operação	
	Idade da barragem (anos)	13 anos (2013 - 2026)	
	Tipo de fundação	Rocha Alterada com injeção	
	Empresa:	Certel Rastro de Auto Geração de Energia S/A	
	Potência Instalada (MW):	7,02	
	Tipo de material utilizado na barragem	Concreto ciclópico/convenional	
	Equipamentos de comunicação	Comunicação via Celular e Internet	
LOCALIZAÇÃO			
Município	Putinga/Margem esquerda e São José do Herval/Margem Direita	Curso d'água	Rio Forqueta
Estado	RS	Sub-Bacia Nome/Código	Taquari/Antas / 86
Latitude	29° 03' 9,77" S	Bacia Nome/Código	Atlântico Sudeste/8
Longitude	52° 13' 08,03" W		
DADOS HIDROMETEOROLÓGICOS			
<b>VAZÕES CARACTERÍSTICAS</b>		Área de Drenagem do Barramento (km²):	564
Vazão MLT (m³/s)	18,01	<b>VAZÕES EXTREMAS</b>	
Vazão Fime Q95% (m³/s)	1,17	Vazão Máxima de Projeto (m³/s) (10.000 anos)	4.328,10
Vazão Mínima Média Mensal (m³/s)	0,13		
Vazão Sanitária (m³/s)	0,69		
Período do Histórico Completo:	1957 - 2024		
RESERVATÓRIO			
<b>NIVEIS D'ÁGUA DE MONTANTE</b>		<b>ÁREAS INUNDADAS</b>	
NA Máximo Excepcional (m)	256,09	No NA Máximo Excepcional (km²)	0,46
NA Máximo Normal (m)	250	No NA Máximo Normal (km²)	0,30
NA Mínimo Normal (m)	248,5	No NA Mínimo Normal (km²)	0,26
<b>NIVEIS D'ÁGUA DE JUSANTE</b>		<b>VOLUMES</b>	
NA Máximo Excepcional (m)	217,34	No N.A. Máximo Max. (hm³)	4,15
NA Máximo Normal (m)	206,8	No N.A. Máximo Normal (hm³)	1,41
NA Mínimo Normal (m)	206,22	No N.A. Mínimo Útil (hm³)	1,26
BARRAGEM (OMBREIRAS)			
Tipo		Gravidade	
Comprimento Total da Crista nas Ombreiras (m)		46,15	
Altura Máxima do bloco vertedouro (m)		19	
Cota da Crista do Vertedouro (m)		250	
Altura máxima das ombreiras em relação ao vertedouro (m)		7,1	
Cota da Crista da Barragem (m)		257,1	
VERTEDOURO		TOMADA D'ÁGUA	
Tipo	CREAGER (Soleira Livre)	Tipo: Estrutural	Tipo: Vagão
Capacidade TR-10.000 (m³/s)	4.328,10	Altura Total (m)	13
Comprimento Total (m)	132	Acionamento da Comporta	c/ Pistão Hidráulico
Cota da Soleira (m)	250	Comprimento Total (m)	13,27
Vazão ultimate Capacity (m³/s)	5.444,00	Largura da Comporta (m)	4
		Altura da Comporta (m)	4
CANAL/TÚNEL DE ADUÇÃO		CONDUTO FORÇADO	
Comprimento (m)	981,4	Diâmetro Interno (m)	2,70 / Trecho Bifurcado: 1,90
Seção	Arco Retângulo	Número de Unidades	1,0 / 2,0
Base (m)	4	Comprimento (m)	122,95 / 2,0 bifurcado de 28,56
Arco (m)	4		
CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO		CASA DE FORÇA	
Diâmetro (m)	9	Tipo	Abrigada
Altura Máxima (m)	23,57	Unidades Geradoras	2
		Largura (m)	10
		Comprimento (m)	35,5
TURBINAS		GERADOR	
Tipo	FRANCIS DUPLA	Potência Nominal Unitária (MVA)	4,4
Quantidade	2	Tensão Nominal (kV)	6,6
Potência Nominal Unitária (MW)	3,66	Rotação Nominal (rpm)	600
Vazão Nominal Unitária (m³/s)	10,03	Fator de Potência	90
Rotação Síncrona (rpm)	600	Rendimento Máximo (%)	97,4
Rendimento Máximo (%)	91,5		
ESTUDOS ENERGÉTICOS E SISTEMA DE TRANSMISSÃO			
Potência da Usina (MW)	7,02	Tensão (kV)	69
Energia Firme (MW)	3,96	Extensão (km)	2,431
Queda Bruta Máxima (m)	43,2	Local de Conexão	SE Certel 03 em Canudos do Vale
Queda Líquida de Referência (m)	40,65		

(\*) Adaptada - Ficha Técnica

Figura 4 – Ficha Técnica

### 6.14.1 Localização e acessos

A área da PCH Rastro de Auto situa-se no rio Forqueta, cerca de 50 km a montante de sua confluência com o rio Taquari. O rio Forqueta pertence à Bacia Hidrográfica Taquari-Antas e, na região da usina Rastro de Auto, divide os municípios de Putinga e São José do Herval. O acesso à área do barramento pode ser feito a partir de Porto Alegre pela rodovia BR/386 até o município de São José do Herval, onde a leste, segue-se por uma estrada vicinal que por cerca de 9 km até atingir o sítio do aproveitamento. As coordenadas geográficas específicas do eixo do barramento são 29° 03' 43" de latitude sul e 52° 13' 05" de longitude oeste.

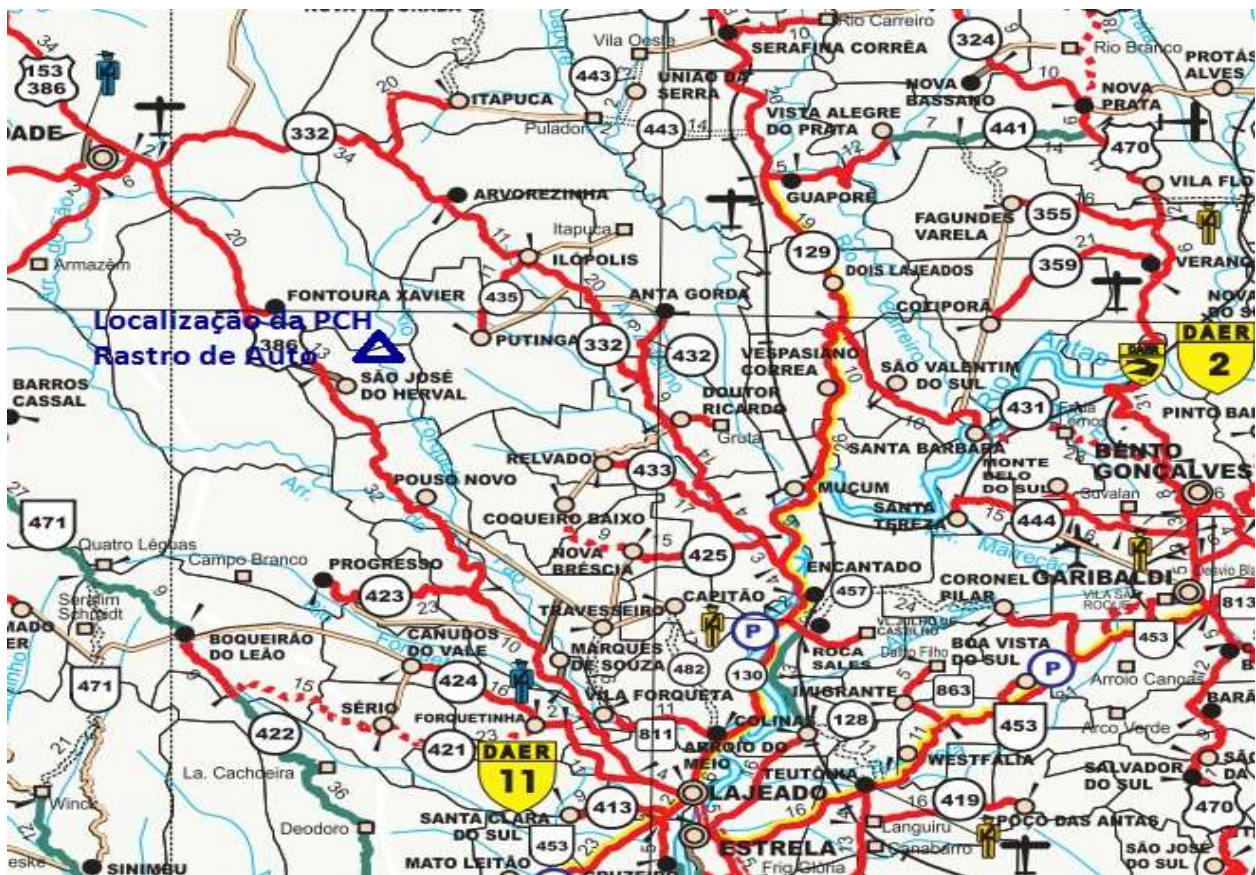


Figura 5 – Mapa de acessos ao local da PCH Rastro de Auto

A Figura 6 apresenta localização da Usina e a Figura 7 área resguardada (reservatório, APP e Estruturas da Usina). Estes desenhos estão apresentados no Anexo I - Documentos do Projeto – Área Resguardada e Acessos.

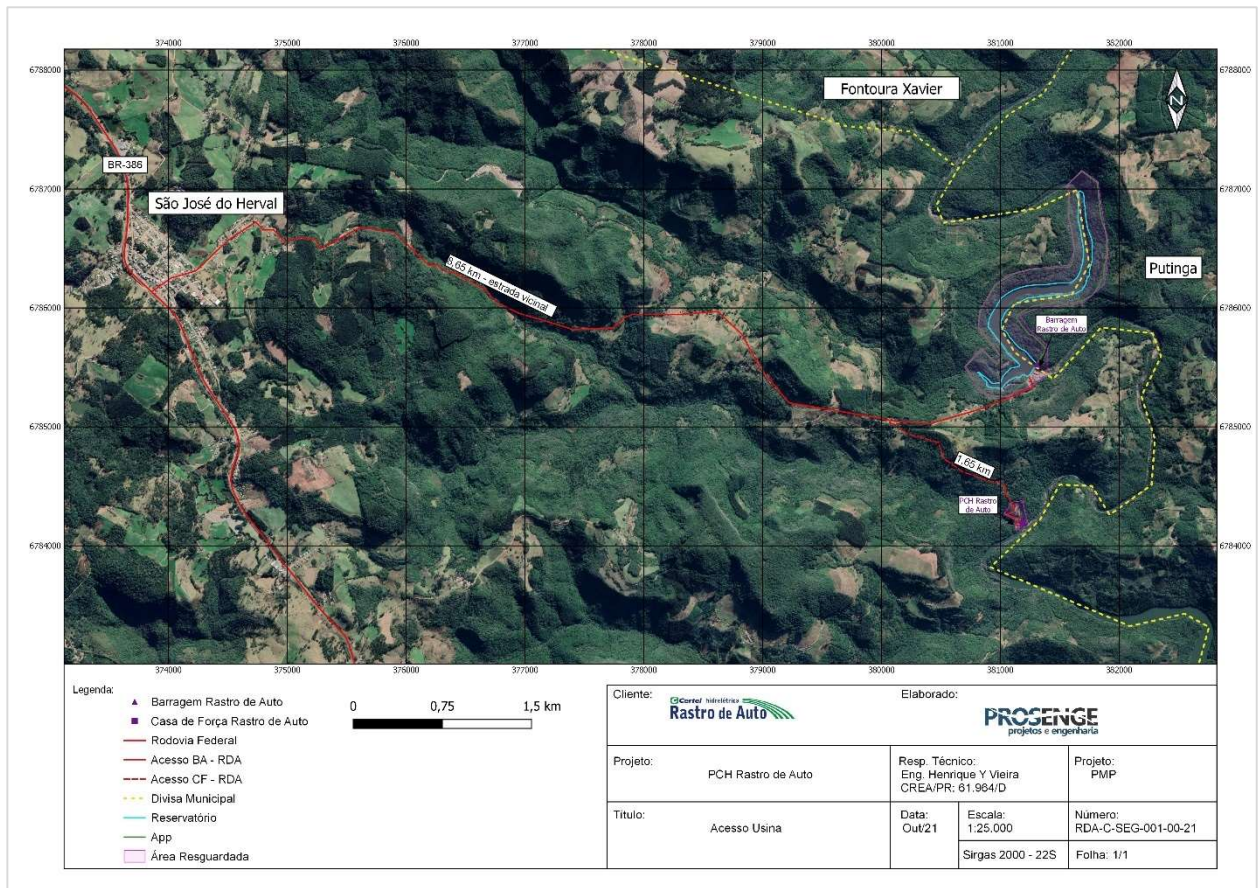


Figura 6 – Localização e acesso da Usina

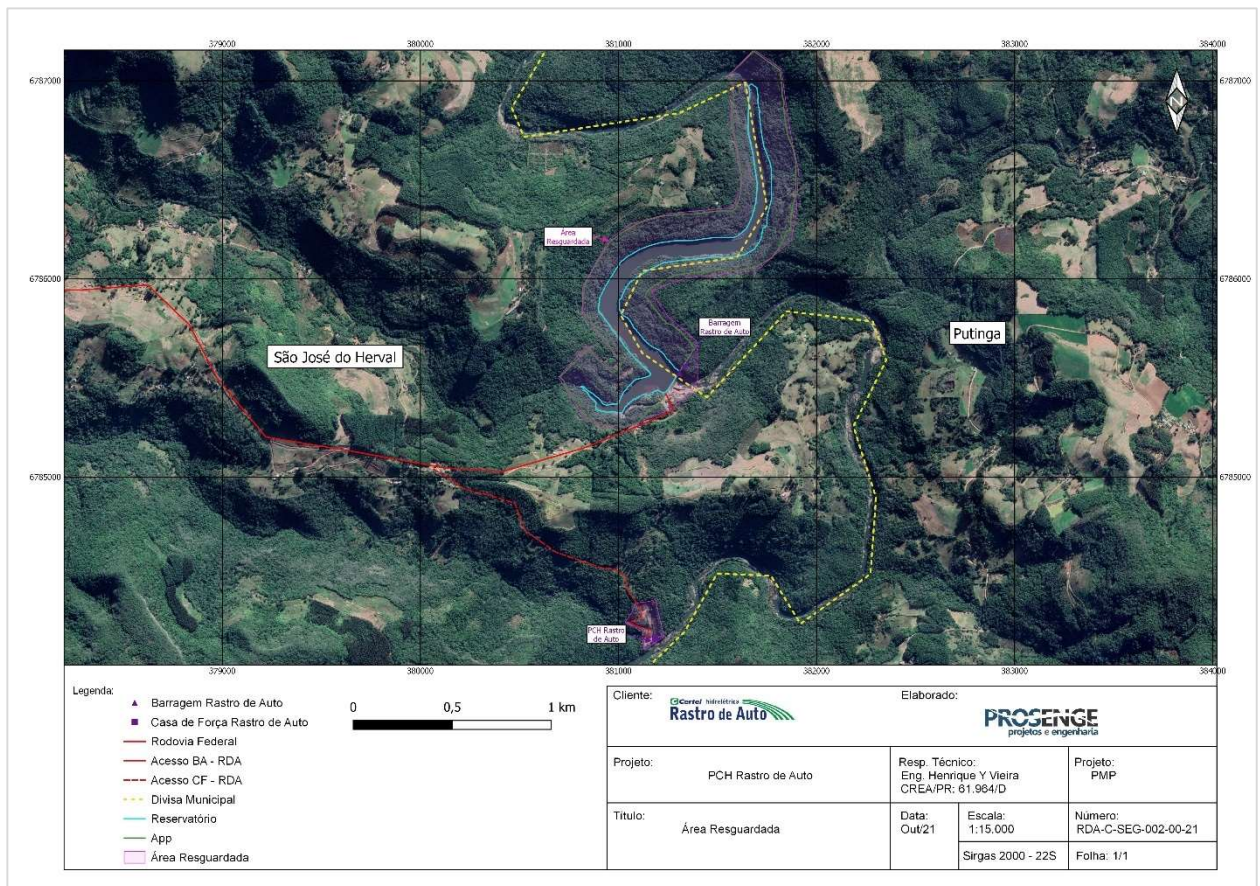


Figura 7 – Mapa da área resguardada

### 6.14.2 Reservatório

O nível de água máximo normal no reservatório da PCH Rastro de Auto está fixado na EI 250,00 m. Nesta elevação, o reservatório acumula um volume na ordem de 1,41 hm<sup>3</sup> e ocupa uma área de 0,303 km<sup>2</sup>.

A figura abaixo apresenta a curva cota x área x volume do reservatório.

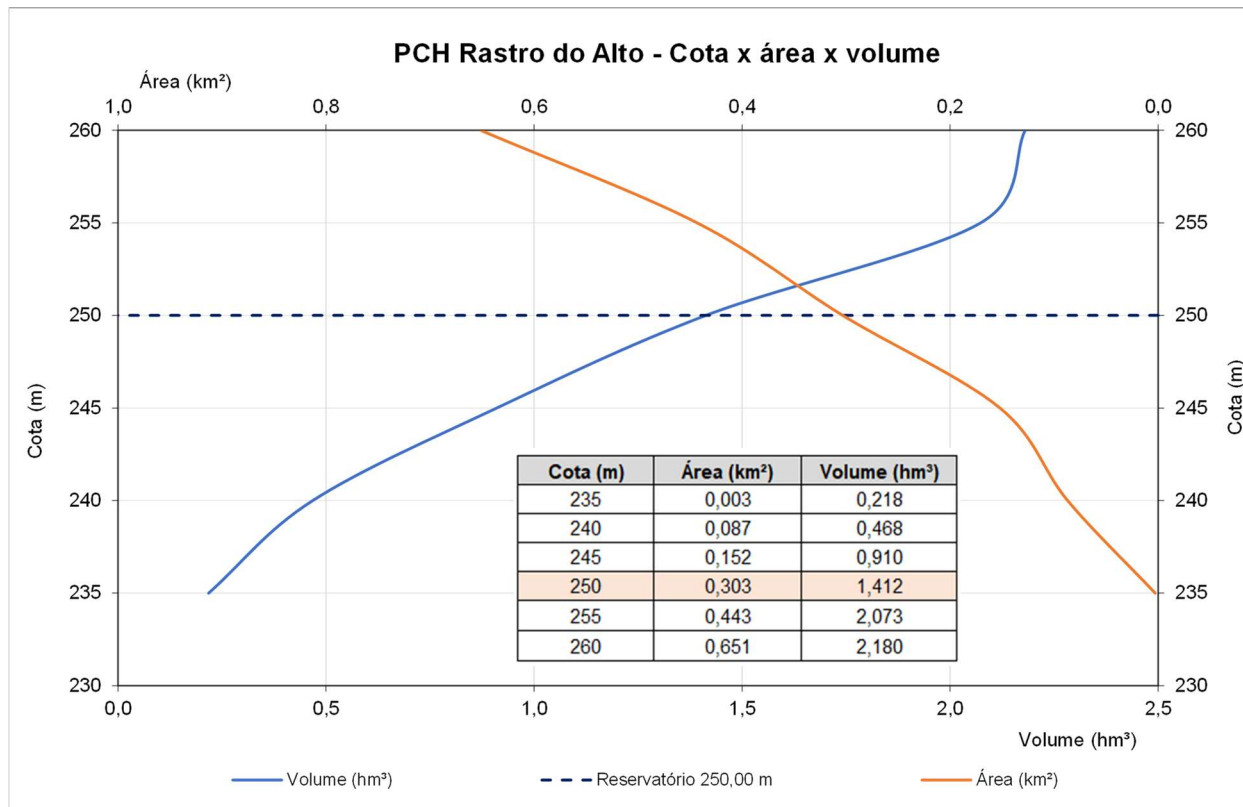


Figura 8 – Cota x Volume – Reservatório PCH Rastro de Auto

### 6.14.3 Usinas de jusante

A Tabela 7 abaixo apresenta a localização relativa da PCH Rastro de Auto na divisão de quedas do rio Forqueta. Somente a PCHs Rastro de Auto e Salto Forqueta estão materializadas em operação.

Tabela 7 – Aproveitamentos Hidrelétricos no rio Forqueta previstos, próximos a PCH Rastro de Auto

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

Fonte (Aneel, 2025)

- **PCH Salto Forqueta (após recuperação em 2025)** - Barragem de Concreto (ombreiras) protegidas para elevação 213,30 m e vertedouro de soleira livre de 152,00 m de comprimento e crista na elevação 206,8 m.

## 6.15 CRITÉRIOS DE ESTABILIDADE GLOBAL DAS ESTRUTURAS DA BARRAGEM

A barragem nas margens da PCH Rastro de Auto consiste somente em fechamentos nas ombreiras direita e esquerda executados em concreto tipo ciclópico/convencional com altura máxima de 21,60 m na ombreira esquerda junto com a descarga de fundo. Na margem direita a barragem apresenta 33,00 m de comprimento e na margem esquerda apresenta 13,15 m (incluindo a descarga de fundo). As estruturas foram reforçadas após enchente de 2024. As ombreiras da barragem após reforma/reforço estrutural de 2025 estão protegidas na El. 257,10 m.

Os desenhos que apresentam planta e seção do barramento (Figura 13) estão contidos no Anexo I – 2.Barragem e Vertedouro.

### 6.15.1 Dimensionamento e Estabilidade da Barragem/Vertedouro

De acordo com o estudo hidrológico em especial as vazões extremas (cheias) foi alterado o Nível Máximo Maximorum no barramento para absorver estas cheias de cálculo para NA Máx Max 256,09 m, logo foi elaborado nova memória de cálculo de projeto com critérios adotados.

Para a elaboração deste capítulo foram utilizados os documentos do Projeto Executivo elaborados para a fase de reforço estrutural da PCH Rastro de Auto e dados atualizados de hidrologia.

Os documentos do projeto "Como Construído", imprescindíveis para a verificação da situação real quando da implantação das estruturas, também foram disponibilizados.

Além da avaliação das estruturas civis por meio da inspeção realizada em campo, uma análise dos documentos do Projeto Executivo foi realizada com o objetivo de avaliar a segurança das estruturas com relação à estabilidade global, bem como o seu dimensionamento com relação aos critérios de projeto e normas técnicas.

A seguir será apresentado resumo da análise de estabilidade.

### 6.15.2 Estruturas Avaliadas

Esta memória de cálculo tem por objetivo apresentar a verificação da estabilidade global das estruturas de concreto, Vertedouro e Barragens da PCH Rastro de Auto, com relação ao tombamento, deslizamento e flutuação, bem como as tensões na base das fundações. Importante observar que todas as estruturas do barramento possuem chaveta na elevação 236,00, garantindo boa ancoragem da estrutura na rocha.

Como definição para estabilidade foi considerado a galeria de drenagem tamponada com concreto convencional  $f_{ck}=15$  Mpa e alteamento das ombreiras.

#### 6.15.2.1 Parâmetros Adotados

Os seguintes parâmetros foram utilizados para os materiais:

- Peso específico do concreto ciclópico/convencional ( $\gamma_c$ ): 24 kN/m<sup>3</sup>
- Peso específico da água ( $\gamma_a$ ): 10 kN/m<sup>3</sup>
- Ângulo de atrito concreto-rocha ( $\phi$ ): 40°
- Coesão (c): 100 kN/m<sup>2</sup>
- Tensão admissível rocha ( $\tau_{adm}$ ): 800 kN/m<sup>2</sup>

Os valores adotados para o concreto ciclópico/convencional e para a rocha são compatíveis com campo – pedra com rocha basáltica, haja vista que não foram realizados ensaios para a caracterização dos materiais. Os parâmetros da rocha foram utilizados como referência as memórias de cálculos da PCH Rastro de Auto do Projeto Executivo do Reforço Estrutural elaborado pela empresa TRSUL Engenharia.

#### 6.15.2.2 Condições de Carregamento

Foram consideradas as seguintes condições de carregamento, tanto para a Barragem como para o Vertedouro.

- Condição de Carregamento Normal (CCN)
  - NA montante = máximo normal – EL. 250,00
  - NA jusante = máximo normal – EL. 236,00
  - Assoreamento do Vertedouro – EL. 246,00
- Condição de Carregamento Excepcional 1 (CCE1)
  - NA montante = máximo maximorum (TR=1.000 anos) – EL. 254,90
  - NA jusante = máximo maximorum (TR=1.000 anos) – EL. 243,54 (Obtido estudo da modelagem hidráulica – Hec- Ras)
- Condição de Carregamento Excepcional 2 (CCE2)
  - NA montante = máximo maximorum (TR=10.000 anos) – EL. 255,81
  - NA jusante = máximo maximorum (TR=10.000 anos) – EL. 244,88 (Obtido estudo da modelagem hidráulica – Hec- Ras)
- Condição de Carregamento Limite (CCL)
  - NA montante = máximo maximorum (TR=10.000 anos) – EL. 255,81
  - NA jusante = máximo maximorum (TR=10.000 anos) – EL. 244,88 (Obtido estudo da modelagem hidráulica – Hec- Ras)
  - Assoreamento do Vertedouro – EL. 246,00

- Resumo dos Carregamentos

Carregamento	CCN	CCE1	CCE2	CCL
Peso-próprio	X	X	X	X
NA máx. normal montante	X			
NA máx. max. montante		X	X	X
NA máx. normal jusante	X			
NA máx. max. jusante		X	X	X
Assoreamento Reservatório				X

### 6.15.2.3 Conclusão da Estabilidade das Estruturas de Concreto

A análise da estabilidade global das estruturas de concreto da PCH Rastro de Auto, Vertedouro, Barragens e Descarga de Fundo demonstraram que os fatores de segurança ao tombamento (FST), ao deslizamento (FSD) e à flutuação (FSF) atenderam aos Critérios de Projeto Civil, considerando os diversos casos de carregamento (normal, excepcional e limite).

Serão apresentadas todas as seções calculadas no memorial de estabilidade das estruturas, levando em consideração as diferentes alturas, seções e se a seção é nova ou reforçada. Sendo assim, o Vertedouro apresenta análise de 3 (três) seções, a Barragem ME tem 1(uma) seção, a Descarga de Fundo tem 1(uma) seção e a Barragem MD tem 2 (duas) seções. A nomenclatura da seção levou em conta a mesma nomenclatura utilizado no projeto executivo da reforma/reforço estrutural do empreendimento.

A seguir estão apresentadas as tabelas resumo dos resultados.

Tabela 8 – Resultados Estabilidade Vertedouro – Seção S.3 (Análise 2D)

Fatores de Segurança - Vertedouro – Seção S3 (Reforçada)								Tensão Fundação	
Caso de Carregamento		Tombamento		Flutuação		Deslizamento		$\sigma_1$	$\sigma_2$
Sigla	Descrição	FST Obtido	FST Limite	FSF Obtido	FSF Limite	FSD Obtido	FSD Limite	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
CCN	Caso de Carregamento Normal	1,81	>1,50	3,30	>1,30	1,13	>1,0	289,84	71,22
CCE 1	Caso de Carregamento Excepcional 1 – N.A. Máx. Normal + Efeitos Sísmicos	1,58	>1,20	3,00	>1,10	1,45		336,39	9,12
CCE 2	Caso de Carregamento Excepcional 2 – N.A. Máx. Maximorum TR=1.000 anos	1,24		2,07		1,31		420,37	-100,37
CCE 3	Caso de Carregamento Excepcional 3 – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos	1,20		1,99		1,29		440,68	-118,23
CCL	CCL – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos + Contato Aberto	1,14		1,83		1,29		440,73	-147,93

(\*) Observações:

- Seção S3 do Vertedouro – estrutura reforçada conforme projeto executivo de reforma da PCH RDA.
- Análise bidimensional (2D)
- Valores negativos de  $\sigma_2$  indicam abertura de contato.

Tabela 9 – Resultados Estabilidade Vertedouro – Seção S.4 (Análise 2D)

Fatores de Segurança - Vertedouro – Seção S4 (Reforçada)								Tensão Fundação	
Caso de Carregamento		Tombamento		Flutuação		Deslizamento		$\sigma_1$	$\sigma_2$
Sigla	Descrição	FST Obtido	FST Limite	FSF Obtido	FSF Limite	FSD Obtido	FSD Limite	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
CCN	Caso de Carregamento Normal	3,86	>1,50	5,46	>1,30	4,07	>1,0	257,10	108,86
CCE 1	Caso de Carregamento Excepcional 1 – N.A. Máx. Normal + Efeitos Sísmicos	3,12	>1,20	4,69	>1,10	4,31		218,73	133,79
CCE 2	Caso de Carregamento Excepcional 2 – N.A. Máx. Maximorum TR=1.000 anos	2,24		3,60		2,96		237,98	150,42
CCE 3	Caso de Carregamento Excepcional 3 – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos	2,06		3,23		2,77		258,50	131,65
CCL	CCL – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos + Contato Aberto	1,83		2,67		2,72		246,10	107,05

(\*) Observações:

- Seção S4 do Vertedouro – estrutura reforçada conforme projeto executivo de reforma da PCH RDA.
- Análise bidimensional (2D)
- Valores negativos de  $\sigma_2$  indicam abertura de contato.

Tabela 10 – Resultados Estabilidade Vertedouro - Seção S.5 (Análise 2D)

Fatores de Segurança - Vertedouro – Seção S5 (Reforçada)								Tensão Fundação	
Caso de Carregamento		Tombamento		Flutuação		Deslizamento		$\sigma_1$	$\sigma_2$
Sigla	Descrição	FST Obtido	FST Limite	FSF Obtido	FSF Limite	FSD Obtido	FSD Limite	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
CCN	Caso de Carregamento Normal	5,20	>1,50	6,22	>1,30	8,86		164,07	32,54
CCE 1	Caso de Carregamento Excepcional 1 – N.A. Máx. Normal + Efeitos Sísmicos	4,14	>1,20	5,24	>1,10	8,40	>1,0	149,06	40,52
CCE 2	Caso de Carregamento Excepcional 2 – N.A. Máx. Maximorum TR=1.000 anos	2,53		3,65		4,27		116,32	116,14
CCE 3	Caso de Carregamento Excepcional 3 – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos	2,38		3,51		3,82		138,64	109,22
CCL	CCL – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos + Contato Aberto	1,96		>1,10		2,63		3,76	127,52

(\*) Observações:

- Seção S5 do Vertedouro – estrutura reforçada conforme projeto executivo de reforma da PCH RDA.
- Análise bidimensional (2D)
- Valores negativos de  $\sigma_2$  indicam abertura de contato.

Tabela 11 – Resultados Estabilidade Barragem Margem Esquerda – Seção Única (Análise 2D)

Fatores de Segurança - Ombreira Esquerda – Seção Única (Reforçada)								Tensão Fundação	
Caso de Carregamento		Tombamento		Flutuação		Deslizamento		$\sigma_1$	$\sigma_2$
Sigla	Descrição	FST Obtido	FST Limite	FSF Obtido	FSF Limite	FSD Obtido	FSD Limite	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
CCN	Caso de Carregamento Normal	8,22	>1,50	14,19	>1,30	10,63		269,12	258,44
CCE 1	Caso de Carregamento Excepcional 1 – N.A. Máx. Normal + Efeitos Sísmicos	3,84	>1,20	9,95	>1,10	8,03	>1,0	359,23	151,30
CCE 2	Caso de Carregamento Excepcional 2 – N.A. Máx. Maximorum TR=1.000 anos	1,76		6,31		2,89		570,13	-92,57
CCE 3	Caso de Carregamento Excepcional 3 – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos	1,34		5,62		2,25		706,92	-240,38
CCL	CCL – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos + Contato Aberto	1,23		>1,10		4,21		2,23	695,67

(\*) Observações:

- Seção Única da Ombreira Esquerda – estrutura reforçada conforme projeto executivo de reforma da PCH RDA.
- Análise bidimensional (2D)
- Valores negativos de  $\sigma_2$  indicam abertura de contato
- Destacados em vermelho não atende coeficiente segurança e tração base.

Tabela 12 – Resultados Estabilidade Descarga de Fundo – Seção Única (Análise 3D)

Fatores de Segurança - Descarga de Fundo – Seção Única (Análise 3D)								Tensão Fundação	
Caso de Carregamento		Tombamento		Flutuação		Deslizamento		$\sigma_1$	$\sigma_2$
Sigla	Descrição	FST Obtido	FST Limite	FSF Obtido	FSF Limite	FSD Obtido	FSD Limite	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
CCN	Caso de Carregamento Normal	2,77	>1,50	3,65	>1,30	1,77		320,33	44,37
CCE 1	Caso de Carregamento Excepcional 1 – N.A. Máx. Normal + Efeitos Sísmicos	2,33	>1,20	3,30	>1,10	2,17	>1,0	262,30	87,90
CCE 2	Caso de Carregamento Excepcional 2 – N.A. Máx. Maximorum TR=1.000 anos	1,63		2,20		1,57		165,73	134,23
CCE 3	Caso de Carregamento Excepcional 3 – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos	1,49		2,06		1,43		204,43	85,75
CCL	CCL – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos + Contato Aberto	1,31	>1,10	1,69		1,33		189,57	39,47

**(\*) Observações:**

- Seção Reforçada da Ombreira Direita – estrutura reforçada conforme projeto executivo de reforma da PCH RDA.
- Análise bidimensional (3D)
- Valores negativos de  $\sigma_2$  indicam abertura de contato
- Destacados em vermelho não atende coeficiente segurança e tração base

Tabela 13 – Resultados Estabilidade Barragem Margem Direita – Seção Reforçada (Análise 2D)

Fatores de Segurança - Ombreira Direita – Seção Reforçada								Tensão Fundação	
Caso de Carregamento		Tombamento		Flutuação		Deslizamento		$\sigma_1$	$\sigma_2$
Sigla	Descrição	FST Obtido	FST Limite	FSF Obtido	FSF Limite	FSD Obtido	FSD Limite	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
CCN	Caso de Carregamento Normal	15,86	>1,50	21,49	>1,30	42,13		209,66	159,22
CCE 1	Caso de Carregamento Excepcional 1 – N.A. Máx. Normal + Efeitos Sísmicos	5,79	>1,20	13,07	>1,10	15,17	>1,0	203,70	153,57
CCE 2	Caso de Carregamento Excepcional 2 – N.A. Máx. Maximorum TR=1.000 anos	2,36		5,69		4,07		282,12	36,76
CCE 3	Caso de Carregamento Excepcional 3 – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos	1,74		4,90		2,95		353,14	-45,26
CCL	CCL – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos + Contato Aberto	1,55	>1,10	3,67		2,95		344,23	-62,75

**(\*) Observações:**

- Seção Reforçada da Ombreira Direita – estrutura reforçada conforme projeto executivo de reforma da PCH RDA.
- Análise bidimensional (2D)
- Valores negativos de  $\sigma_2$  indicam abertura de contato
- Destacados em vermelho não atende coeficiente segurança e tração base

Tabela 14 – Resultados Estabilidade Barragem Margem Direita – Seção Nova (Análise 2D)

Fatores de Segurança - Ombreira Direita – Seção Nova								Tensão Fundação	
Caso de Carregamento		Tombamento		Flutuação		Deslizamento		$\sigma_1$	$\sigma_2$
Sigla	Descrição	FST Obtido	FST Limite	FSF Obtido	FSF Limite	FSD Obtido	FSD Limite	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
CCN	Caso de Carregamento Normal	30,45	>1,50	24,87	>1,30	117,74		453,56	-151,80
CCE 1	Caso de Carregamento Excepcional 1 – N.A. Máx. Normal + Efeitos Sísmicos	9,46	>1,20	14,24	>1,10	19,47	>1,0	406,11	-113,79
CCE 2	Caso de Carregamento Excepcional 2 – N.A. Máx. Maximorum TR=1.000 anos	2,81		4,15		4,38		264,56	-25,92
CCE 3	Caso de Carregamento Excepcional 3 – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos	2,11		3,51		3,02		186,32	38,40
CCL	CCL – N.A. Máx. Maximorum TR=10.000 anos + Contato Aberto	1,80		>1,10		2,63		3,00	153,04

(\*) Observações:

- Seção Nova da Ombreira Direita – estrutura reforçada conforme projeto executivo de reforma da PCH RDA.
- Análise bidimensional (2D)
- Valores negativos de  $\sigma_2$  indicam abertura de contato
- Destacados em vermelho não atende coeficiente segurança e tração base.

**LOGO, TODAS AS ESTRUTURAS DO BARRAMENTO APÓS REFORÇO ESTRUTURAL ESTÃO EM CONDIÇÕES DE ESTABILIDADE ADEQUADAS E DE ACORDO COM CRITÉRIOS DE PROJETO E NORMAS.**

### 6.15.3 Vertedouro

O vertedouro da usina situa-se transversalmente no alinhamento da calha natural do rio e é formado por uma soleira vertente não controlada com 132,00 m de largura livre, crista na El. 250,00 m e altura máxima de cerca de 19,00 m.

Esta estrutura foi dimensionada para a cheia 10.000 anos definida no estudo de reforço em 2025, cujo pico era de 4.328,10 m<sup>3</sup>/s, com uma sobrelevação de 6,09 m no reservatório com 1,01 m de borda livre, o que resultava num nível de água máximo maximorum na El. 256,09 m. O paramento de montante do vertedouro é vertical enquanto o paramento de jusante possui declividade de 0,75 H: 1,0 V com descida da água livre, sendo a crista executada em concreto convencional com perfil Creager ao longo de todo o vertedouro.

A Figura 14 apresenta seção do vertedouro. A Figura 9 apresenta a curva de descarga do vertedouro.

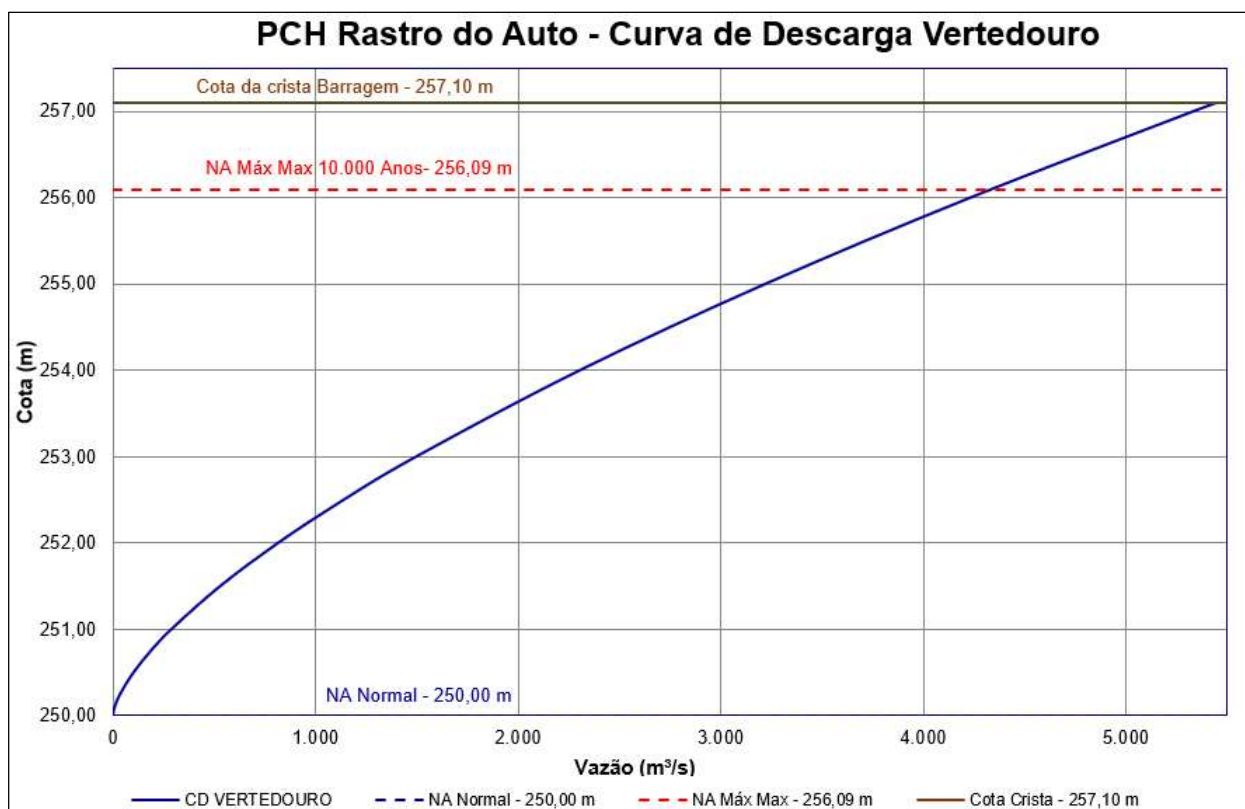


Figura 9 – Curva de Descarga – Vertedouro



Figura 10 – Vertedouro da PCH Rastro de Auto



Figura 11 – Barragem da PCH Rastro de Auto (Vista Geral)

Os documentos do projeto executivo do Vertedouro estão no Anexo I – 2. Barragem e Vertedouro.

#### 6.15.4 Circuito Hidráulico de Adução

O circuito hidráulico é composto pelas estruturas descritas nos itens a seguir. Todos os documentos do circuito de adução estão Anexo I – 3. Circuito Hidráulico.

#### 6.15.4.1 Tomada de Água

A estrutura da tomada de água estará localizada na margem direita do rio, a montante da barragem. A tomada de água possui soleira na El. 242,00 e coroamento na El. 255,00 m.

Junto a sua entrada, está implantada grade impedindo a entrada de materiais de maiores dimensões que possam danificar os equipamentos e limpa-grades para retirada contínua dos materiais acumulados. As dimensões da grade são 4,00 m de largura por 14,00 m de altura.

O fechamento desta abertura, no caso da necessidade de manutenção do conduto será feito por meio de uma comporta vagão, com dimensões de (4,00 x 4,00) m. A movimentação desta comporta é realizada por pistão hidráulico.

O circuito de geração está apresentado no desenho RDA-PEX-TEC-ABT-DE – 003 (Figura 15) e a tomada de água está apresentada no desenho RDA-PEX-TEC-ABT-DE – 013 (Figura 16).

#### 6.15.4.2 Túnel de Adução

Após a tomada de água segue o túnel de adução com seção arco retangular de 4,0 metros de largura por 4,0 metros de altura e comprimento de 981,40 m com declividade de 0,306%.

O perfil e seção típica do túnel de adução está apresentado no desenho RDA-PEX-TEC-ABT-DE - 003 (Figura 15).

#### 6.15.4.3 Chaminé de Equilíbrio

Antes do conduto forçado está localizada a chaminé de equilíbrio em concreto armado que possui seção circular de 9,0 m de diâmetro desde a cota 239,00 até a elevação 262,22 m. A chaminé foi dimensionada para absorver a rejeição total de carga com o nível de montante associada a passagem da cheia de dimensionamento do vertedouro.

O circuito de geração está apresentado no desenho RDA-PEX-TEC-ABT-DE – 003 (Figura 15) e a chaminé de equilíbrio está apresentada no desenho RDA-PEX-TEC-ABT-DE – 016 (Figura 17).

#### 6.15.4.4 Conduto Forçado

Logo após chaminé de equilíbrio inicia-se o trecho de conduto forçado com 165,00 m de extensão (trecho reto e inclinado) e diâmetro de 2,70 m, após a bifurcação diâmetro é reduzido para 1,90 m segundo então para as duas unidades geradoras da casa de força.

O circuito de geração está apresentado no desenho RDA-PEX-TEC-ABT-DE – 003 (Figura 15).

#### 6.15.5 Casa de Força e Canal de Fuga

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

A fundação da Casa de Força está na El. 202,80 m e o piso dos sala de máquinas está na El. 206,30 m. O nível de água normal no canal de fuga está na El. 206,80 m e o nível de água máximo de projeto encontra-se na El. 217,34 m (protegida para cheia TR 10.000 anos).

Na sucção estão instaladas as duas comportas (uma para cada lado do fluxo) por turbina somando assim 4 vãos na sucção. As comportas são do tipo ensecadeira e possuem dimensões de 1,60 m x 3,60 m cada comporta.

O canal de fuga, com função de restituir a água utilizada ao leito natural do rio é construído em concreto armado. Este canal possui 15,00 m de comprimento e foi dimensionado para a vazão turbinada de 20,0 m<sup>3</sup>/s.

A casa de força e o canal de fuga Figura 18 e Figura 19 podem ser vistos nos desenhos contidos no Anexo I.

#### 6.15.6 Níveis Operacionais e Ficha Técnica

Os níveis da PCH Rastro de Auto são:

- NA Normal Montante = 250,00 m;
- NA Máximo Maximorum Montante = 256,09 m (TR=10.000 anos);
- Cota Proteção Barramento = crista El. 257,10 m;
- NA Normal Jusante = 206,80 m;
- NA Máximo Maximorum Jusante = 217,34 m
- Cota de Proteção Casa de Força = 218,50 m.

A Área Resguardada (Anexo I – 1.Geral) apresenta as áreas de proteção do reservatório e casa de força bem como o arranjo geral da usina com destaque as principais estruturas.

As figuras a seguir apresentam arranjo geral e estruturas civis da Usina. Os desenhos principais do Barramento e arranjo estão apresentados no Anexo I.

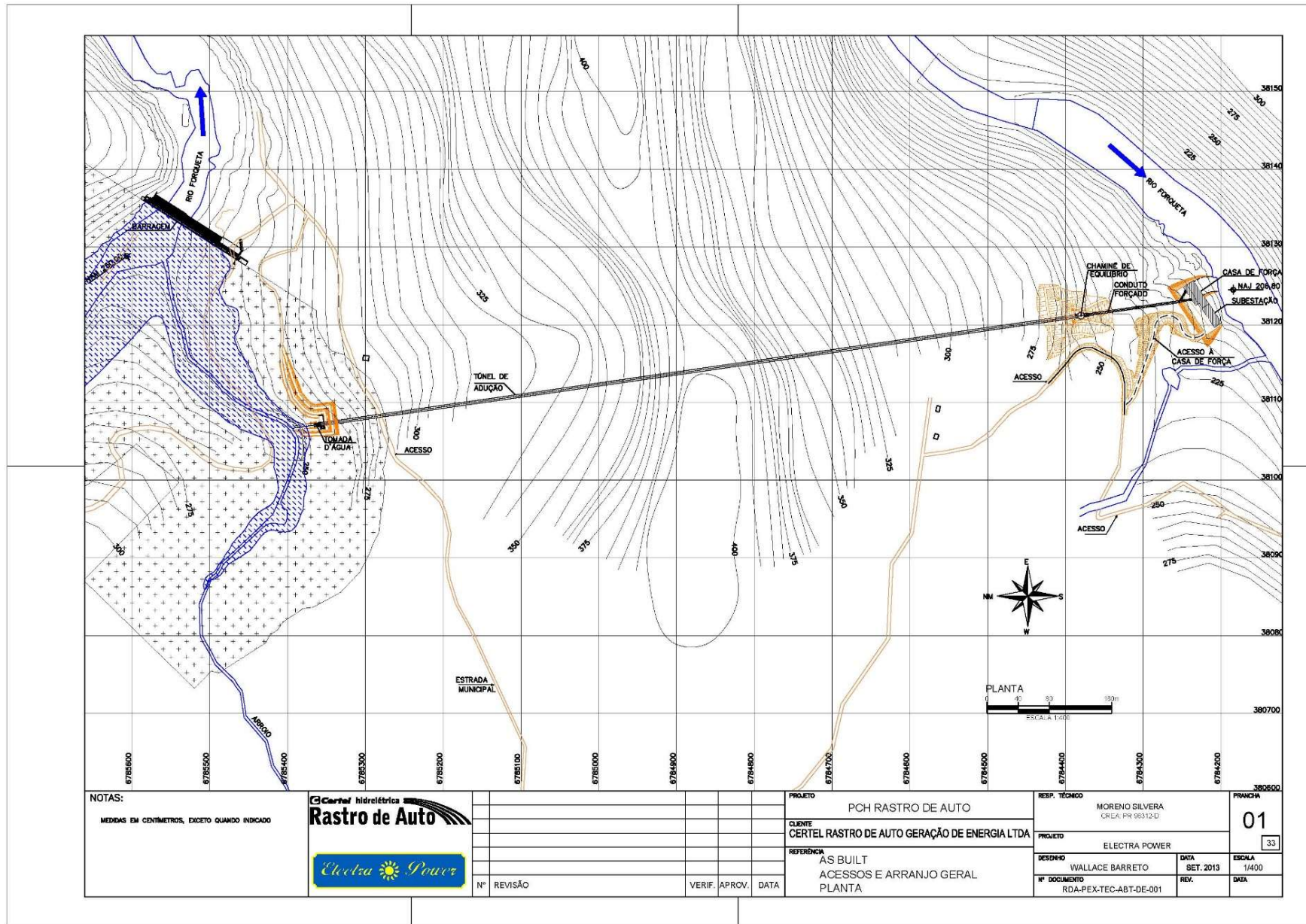


Figura 12 – Arranjo geral da PCH Rastro de Auto



Figura 13 – Barramento - Planta e Corte Longitudinal

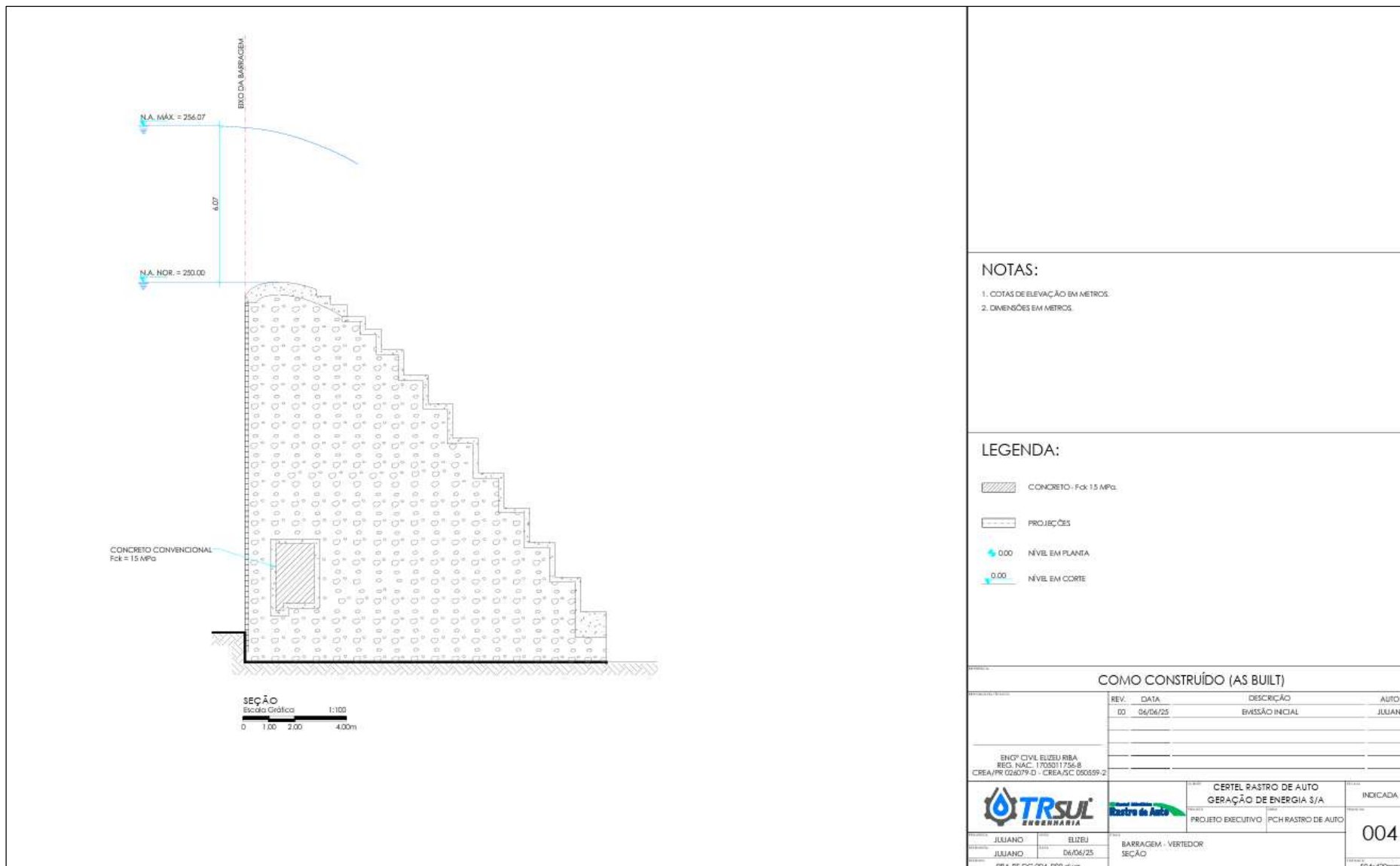


Figura 14 – Vertedouro - Seção

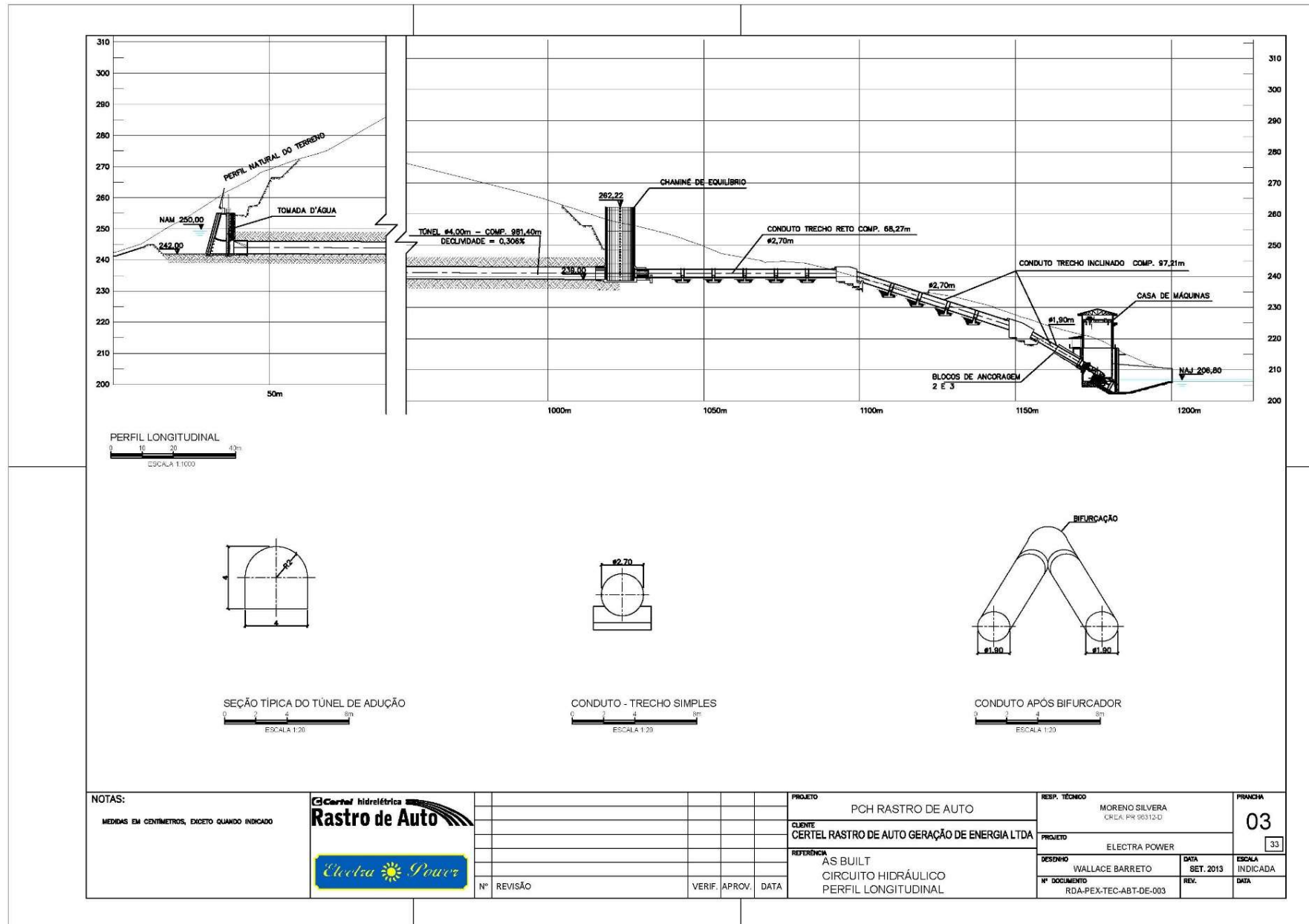


Figura 15 – Circuito de Geração – Perfil Longitudinal

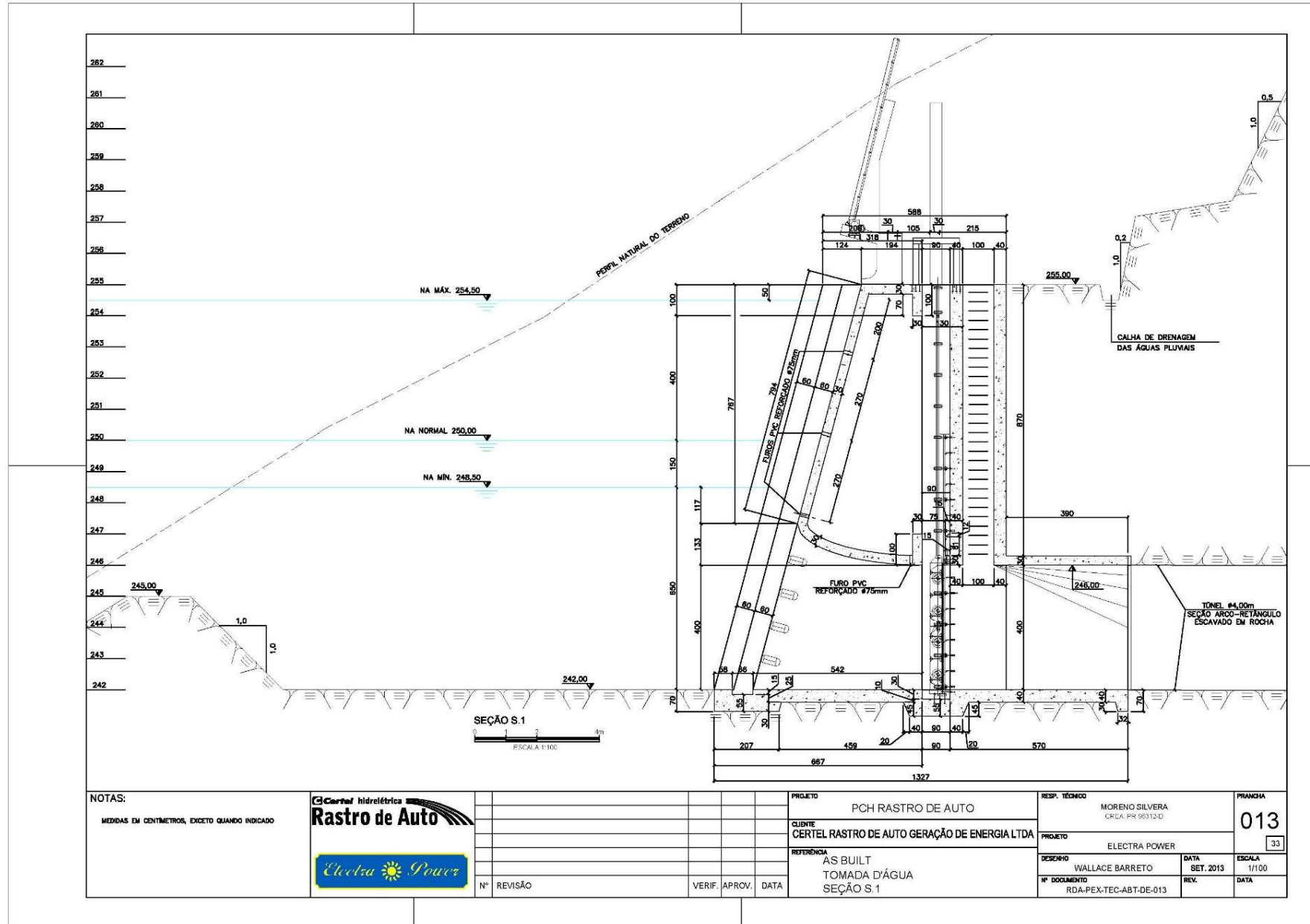
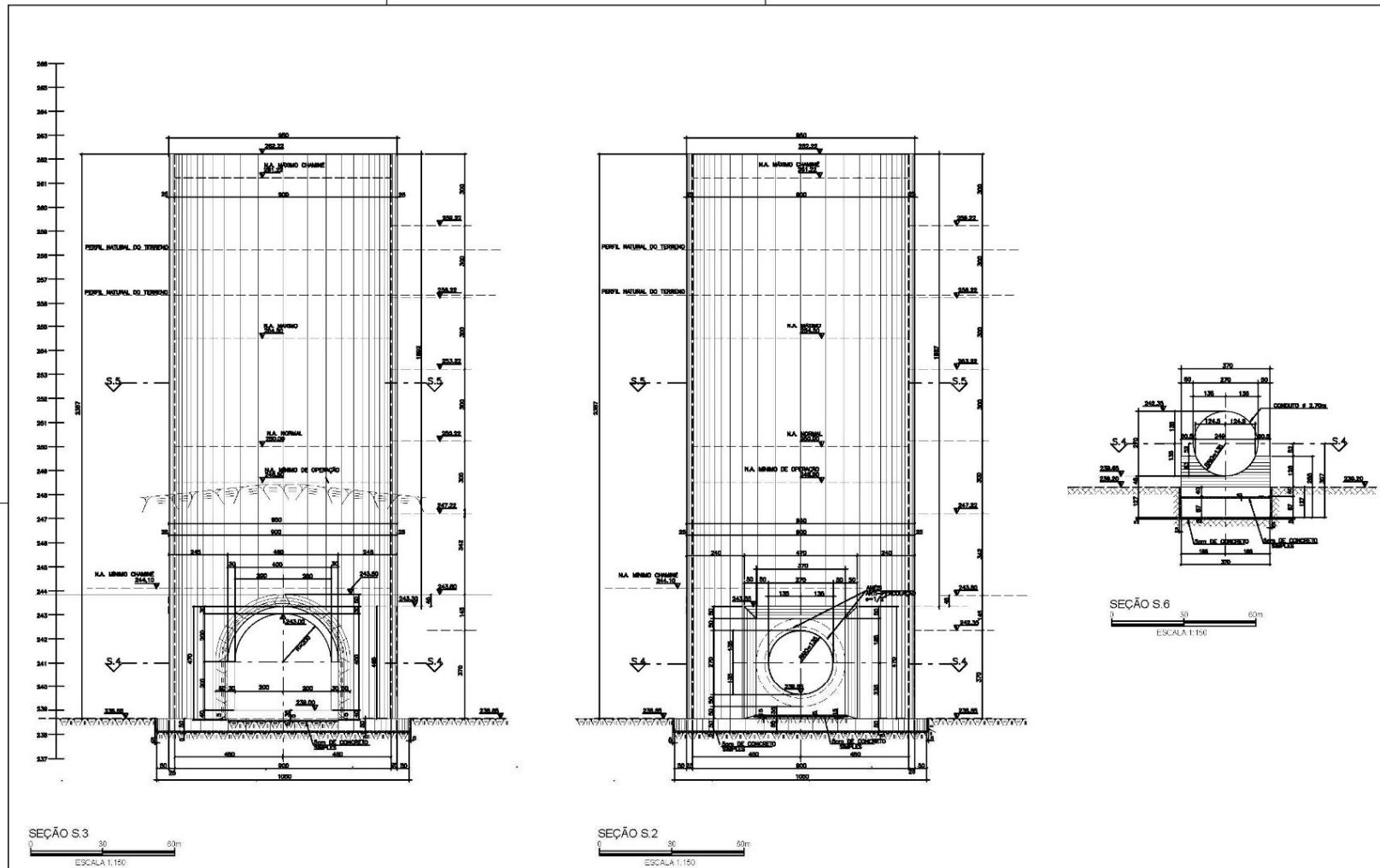
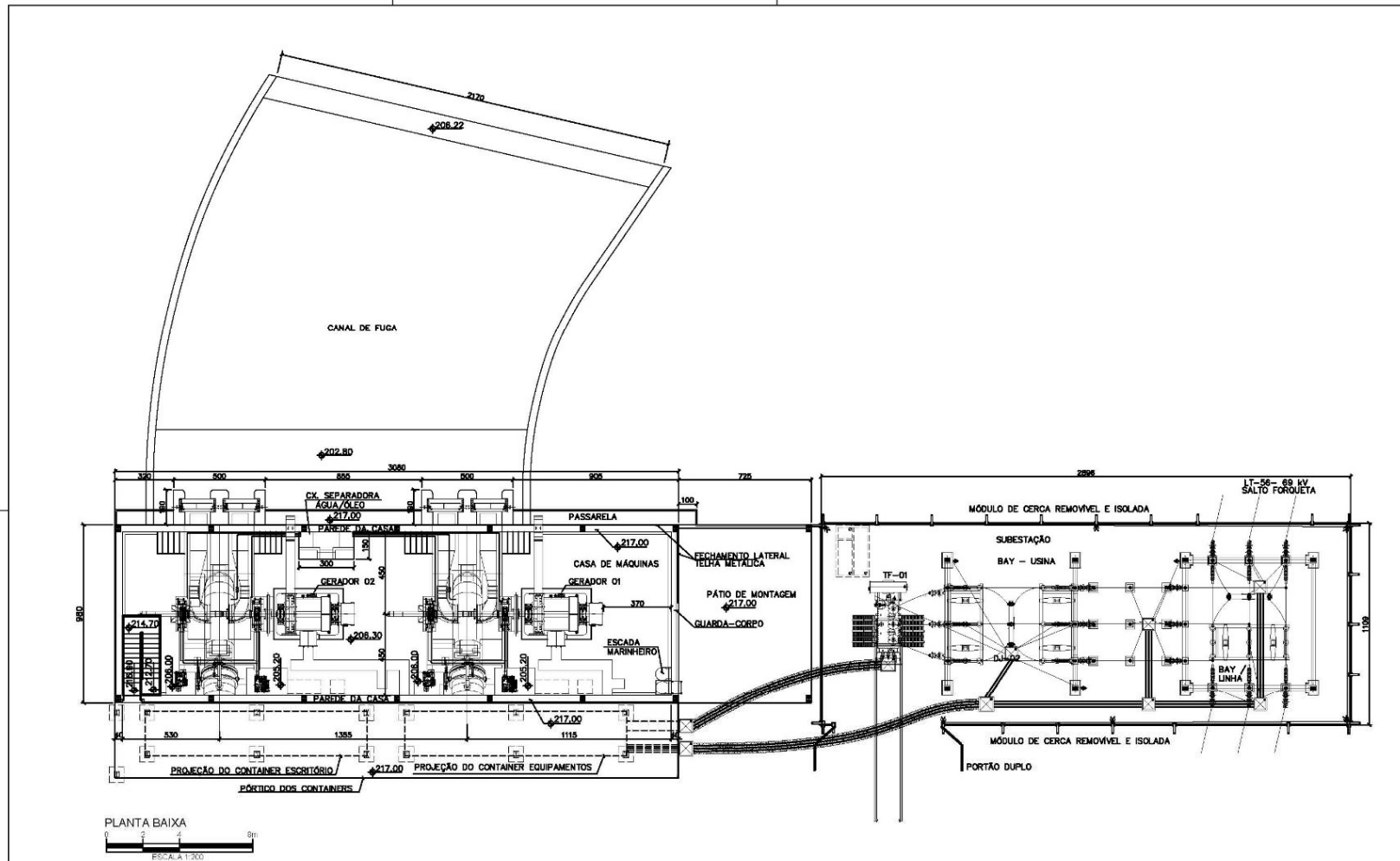


Figura 16 – Tomada de água - Seção



<b>NOTAS:</b>  MEDIDAS EM CENTIMETROS, EXCETO QUANDO INDICADO	  	PROJETO	PCH RASTRO DE AUTO		RESP. TÉCNICO	MORENO SILVERA CREA. PR 96312-D		PRINCHA	016	
		CLIENTE	CERTEL RASTRO DE AUTO GERAÇÃO DE ENERGIA LTDA		PROJETO	ELECTRA POWER		33		
		REFERÊNCIA	AS BUILT CHAMINÉ DE EQUILIBRIO 2 - 2		DESENHO	WALLACE BARRETO	DATA	SET. 2013	ESCALA	1/50
		Nº REVISÃO	VERIF.	APROV.	DATA	Nº DOCUMENTO	RDA-PEX-TEC-ABT-DE-000	REV.	DATA	

Figura 17 – Chaminé de equilíbrio – Seção Jusante e Montante



NOTAS: MEDIDAS EM CENTÍMETROS, EXCETO QUANDO INDICADO	  	Nº	REVISÃO	VERIF.	APROV.	DATA	PROJETO PCH RASTRO DE AUTO	RESP. TÉCNICO MORENO SILVEIRA CREA: PR 98312-D	PRONCHA <b>026</b>
							CLIENTE CERTEL RASTRO DE AUTO GERAÇÃO DE ENERGIA LTDA	PROJETO ELECTRA POWER	ESCALA 1/200
							REFERÊNCIA AS BUILT CASA DE FORÇA E SUBESTAÇÃO PLANTA BAIXA	DESENHO WALLACE BARRETO	DATA SET. 2013
							Nº DOCUMENTO RDA-PEX-TEC-ABT-DE-026	REV.	DATA

Figura 18 – Casa de Força – Planta

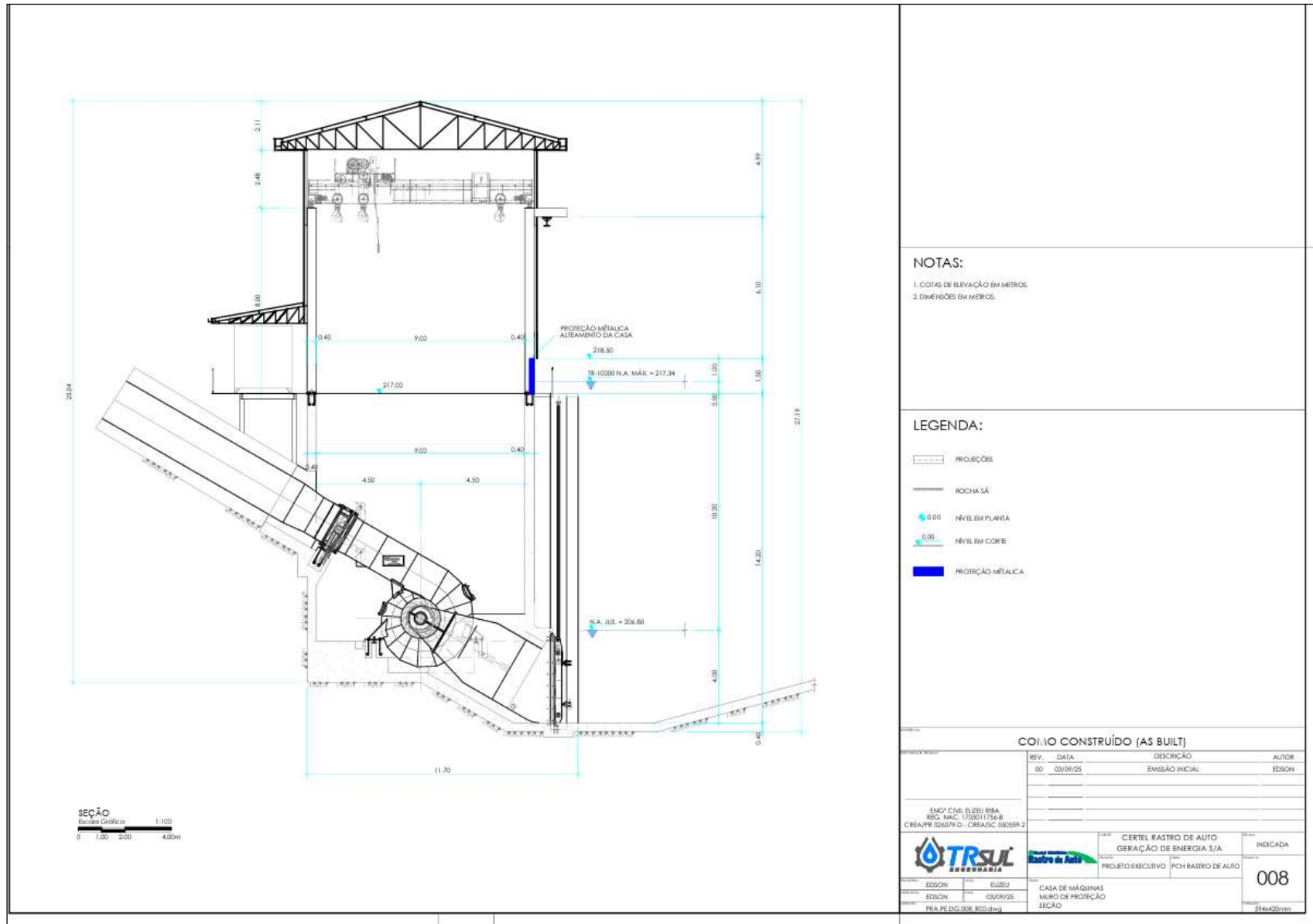


Figura 19 – Casa de Força – Seção Transversal

## 6.16 CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS, GEOLÓGICAS E SÍSMICAS

### 6.16.1 Características da Bacia Hidrográfica

#### 6.16.1.1 Aspectos Gerais

O rio Forqueta se encontra na bacia hidrográfica Atlântico Trecho Sudeste (8), Sub Bacia rio Taquari-Antas (86) sendo afluente pela margem direita do rio Taquari. A bacia hidrográfica do rio Forqueta possui uma área de aproximadamente 2.846 km<sup>2</sup> junto a sua foz no rio Taquari. No barramento da PCH Rastro de Auto a área da bacia hidrográfica é de 564 km<sup>2</sup>. Esta bacia se situa, em sua totalidade, na região centro norte do estado do Rio Grande do Sul. O rio Forqueta nasce na Coxilha Cerca Velha entre os municípios de Soledade e Itapuca com altitude das nascentes ao redor de 780 m e da foz ao redor de 20 m. O rio possui escoamento predominante no sentido sudeste com uma extensão aproximada de 166 km e um desnível de 760 m até a foz.



Figura 20 – Bacia Hidrográfica do rio Forqueta com localização aproximada da PCH Rastro de Auto

#### 6.16.1.2 Características Climáticas da Bacia

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região da bacia do rio Forqueta no local da PCH Rastro de Auto pode ser enquadrado como do tipo Cfa como indicado na Figura 21, ou seja, clima Subtropical Úmido, com pouca variação de chuvas ao longo dos meses. Mesmo o

mês mais seco ainda possui grande pluviosidade. A temperatura média anual varia em torno de 20°C, sendo a média do mês mais frio ao redor de 10°C e a do mês mais quente superior a 29°C.

## Tipos climáticos do Rio Grande do Sul



### Tipos climáticos de Köppen

 Cfa – Subtropical úmido

 Cfb – Oceânico

Fonte: Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711-728. Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., de Moraes, G., Leonardo, J., & Sparovek, G. (2013)

Figura 21 – Tipos Climáticos do Rio Grande do Sul

A região não possui estação seca e estação chuvosa bem definida combinada com a forma geral do relevo regional, facilita a penetração de massas de ar vindas do Sul o continente. Apresenta estações do ano bem definidas, sendo o inverno muito frio, com temperaturas inferiores a 0°C, e temperaturas médias anuais que variam entre 16°C e 18°C, com amplitude térmica elevada (em torno de 10°C).

#### 6.16.1.3 Normais Climatológicos

Os estudos climáticos realizados para a bacia do rio Forqueta no local da barragem da PCH Rastro de Auto foram baseados nos dados obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET para os municípios de Putinga, Fontoura Xavier e São José do Herval. Os dados obtidos foram transformados em média para a região da PCH e compilados para os principais normais climatológicos indicados a seguir.

## - Temperatura

Os dados obtidos para as médias mensais de temperatura indicam que na região da bacia do rio Forqueta ocorre temperatura média anual ao redor dos 17°C com altas temperaturas no verão com médias máximas diárias próximas aos 27°C e invernos frios com média diária da ordem de 8°C e mínimas muitas vezes abaixo de 0°C. Na Tabela 15 abaixo estão indicados os valores ao longo do período de dados disponíveis, também indicados no Gráfico 2.

Tabela 15 – Temperaturas região da PCH

### Temperatura Média (°C) - Região Rastro de Auto

Estudo	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
<b>RPS</b>	22,00	21,70	20,50	18,10	14,40	13,10	12,20	14,00	15,30	17,60	19,10	21,10	<b>17,43</b>

### Temperatura Máxima Média Diária (°C) - Região Rastro de Auto

Estudo	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Máximo
<b>RPS</b>	26,60	26,30	25,00	22,60	18,60	17,50	17,10	19,40	20,50	22,50	24,10	26,00	<b>26,60</b>

### Temperatura Mínima Média Diária (°C) - Região Rastro de Auto

Estudo	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Mínimo
<b>RPS</b>	18,10	18,10	16,90	14,40	11,00	9,60	8,40	9,80	11,20	13,50	14,70	16,80	<b>8,40</b>

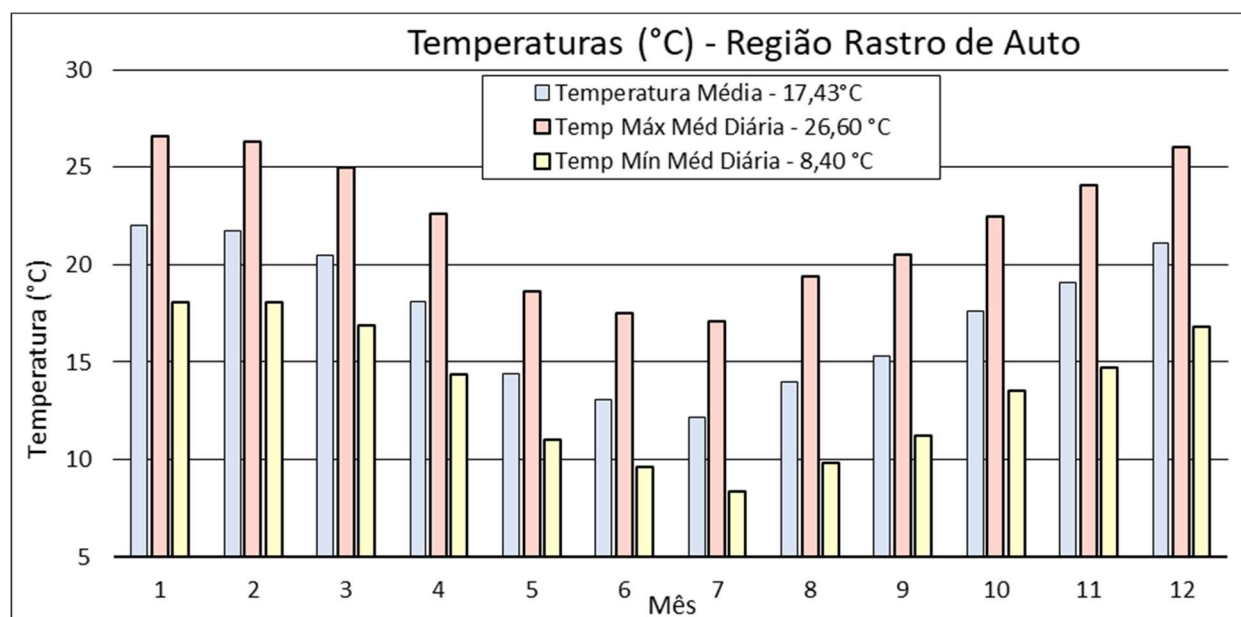


Gráfico 2 – Temperaturas médias mensais na região PCH

## - Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa do ar possui uma grande variação conforme o período de chuvas na região. Nos períodos de estiagem há pontos abaixo de 50% como indica a Tabela 16 e o Gráfico 3 abaixo.

Tabela 16 – Umidade Relativa do Ar em Bom Progresso

### Umidade Relativa do Ar (%) - Região Rastro de Auto

Estudo	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
<b>RPS</b>	79	81	81	80	81	82	81	78	78	79	75	76	<b>79,25</b>

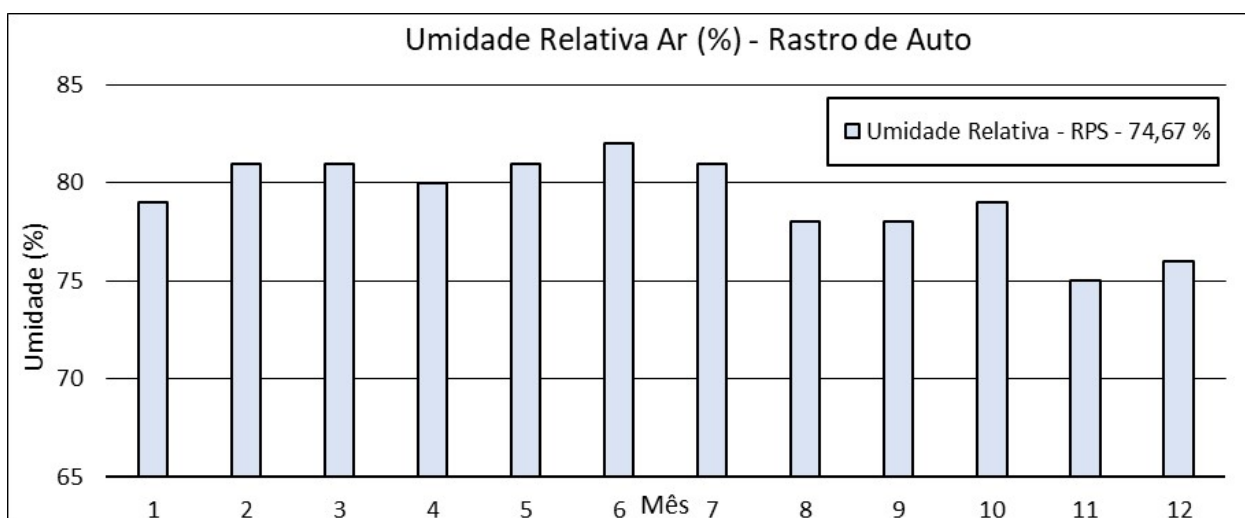


Gráfico 3 – Umidade Relativa do Ar (%)

### - Precipitação Média Mensal

Na região da usina a média anual de chuvas é de 2.023 mm/ano com outubro o mês mais chuvoso e agosto o mês mais seco. Os dados indicados na Tabela 17 e apresentados no Gráfico 4 indicam essa tendência de maiores chuvas no verão com os meses secos no inverno.

Tabela 17 – Precipitação Média Mensal – RPS

Precipitação Média Mensal (mm) - Região Rastro de Auto													
Estudo	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média Anual
RPS	198	183	154	152	140	139	162	134	175	235	164	187	2.023

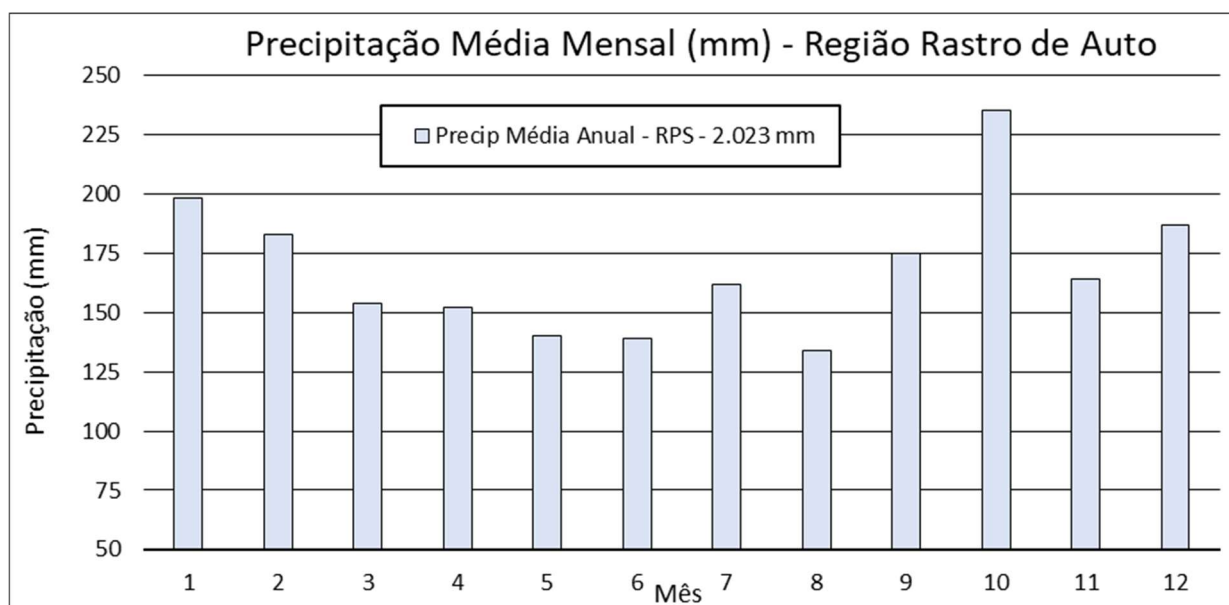


Gráfico 4 – Precipitação Média Mensal (mm) região da PCH Rastro de Auto

### 6.16.2 Análise das Estruturas Extravasoras

Na análise dos projetos como construído da PCH Rastro de Auto após reforma/reforço estrutural o vertedouro é composto de uma estrutura em concreto com soleira livre possuindo 132 m de comprimento com soleira na elevação 250,00 m. Os estudos hidrológicos atualizados indicam a

necessidade de escoamento de uma vazão de 4.328,10 m<sup>3</sup>/s que corresponde a cheia com recorrência decamilenar instantânea. Para essa cheia o nível do reservatório da PCH Rastro de Auto chega à elevação 256,09 m. Com esse nível a borda livre atual do projeto passa a ser de 101 cm estando conforme os critérios de projetos e, portanto, estando em condições ideais de segurança hidrológica.

No Gráfico 5 está indicada a curva de descarga do vertedouro onde no eixo X se encontra a vazão e no eixo Y a cota do reservatório. Também estão as linhas de cota da crista atual, cota da crista proposta e nível de cheia 10.000 anos instantânea.

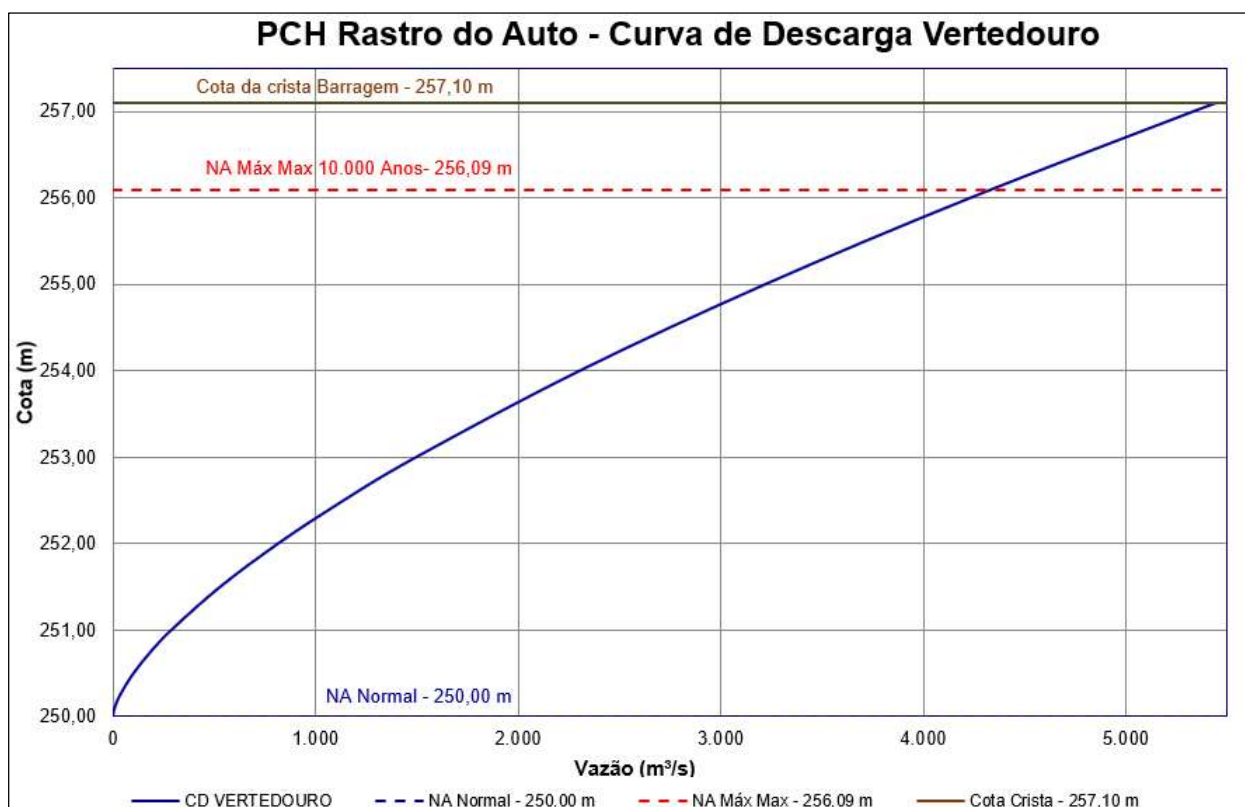


Gráfico 5 – Curva de Descarga Vertedouro – PCH Rastro de Auto

### 6.16.3 Estudos Geológicos e Geotécnicos

A bacia do Rio Forqueta situa-se integralmente em terrenos vulcânicos da Bacia do Paraná. As unidades geológicas que ocorrem na área estão representadas por rochas vulcânicas básicas, intermediárias e ácidas da Formação Serra Geral, relacionadas aos eventos finais da evolução da bacia do Paraná no Mesozóico e, por sedimentos recentes como depósitos aluvionares e depósitos de colúvio/tálus. A rocha local predominante é o basalto e suas variações.

Para a definição da qualidade dos maciços rochosos foram realizadas diversas campanhas de sondagens com recuperação de testemunhos e de sondagem geofísica, tanto na região do barramento quanto no caminhamento do túnel de adução e na casa de força, na Figura 22 abaixo se encontra a localização dos furos de sondagens realizados. Durante essa fase o eixo do

barramento foi deslocado para montante de modo a resultar em um perfil de rocha mais competente, principalmente na ombreira esquerda.

Na sequência na Figura 23 se encontra o desenho com o perfil geológico no barramento da PCH Rastro de Auto.

Com base nos resultados das sondagens e na experiência de campo com o início das obras foram definidos os perfis de escavação das estruturas do barramento bem como os tratamentos necessários na tomada de água e na região da chaminé de equilíbrio, respectivamente emboque e desemboque do túnel de adução.

Para o tratamento da fundação foram implantadas chavetas na rocha com altura média de 4 m de modo a posicionar a fundação do barramento em uma rocha de melhor competência bem como resultar em uma melhor condição de estabilidade para as estruturas. O desenho de escavação está indicado na Figura 24 abaixo.

Finalizando os tratamentos foram realizados furos de injeção ao longo do barramento como indicado na Figura 24 abaixo, consolidando o maciço e impermeabilizando a fundação da barragem.

O barramento da PCH Rastro de Auto sofreu durante as cheias de abril/maio de 2024 um carregamento acima do excepcional previsto em projeto, com nível de água no reservatório ultrapassando o nível de vazão para a TR de 10.000 anos considerada nos estudos e na implantação da usina.

Mesmo essa condição de grande carregamento e por um período relativamente longo não resultou em maiores problemas nas estruturas, como se observa no ISR 2025. Não foram identificados deslocamentos ou recalques na região do maciço de concreto em nenhuma das estruturas que compõem o barramento. Pode-se assim considerar que os tratamentos de fundação e de injeção foram realizados de maneira adequada e suficiente para os carregamentos propostos onde mesmo uma carga acima da prevista não resultou em patologias nas estruturas.

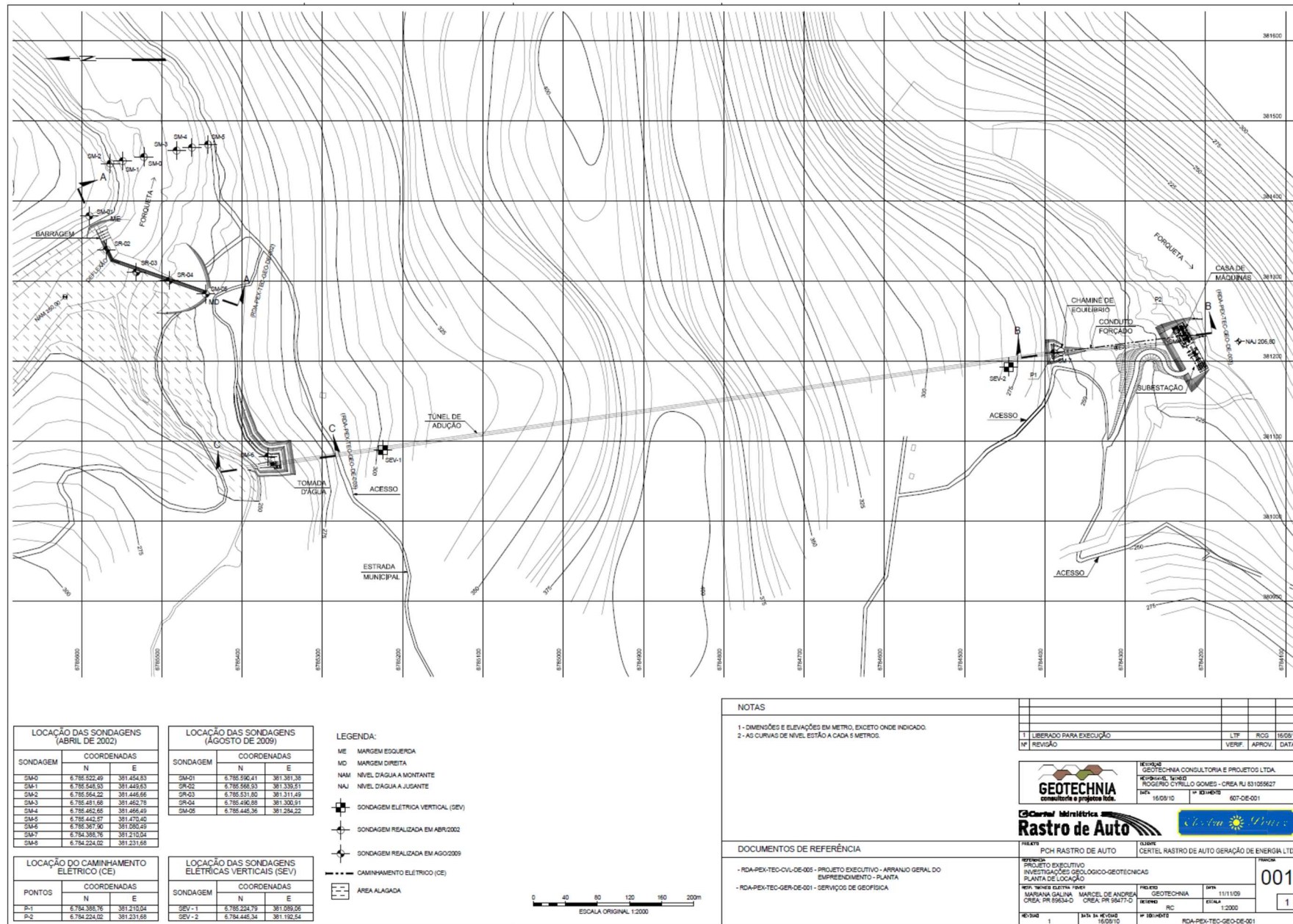


Figura 22 – Localização das sondagens realizadas

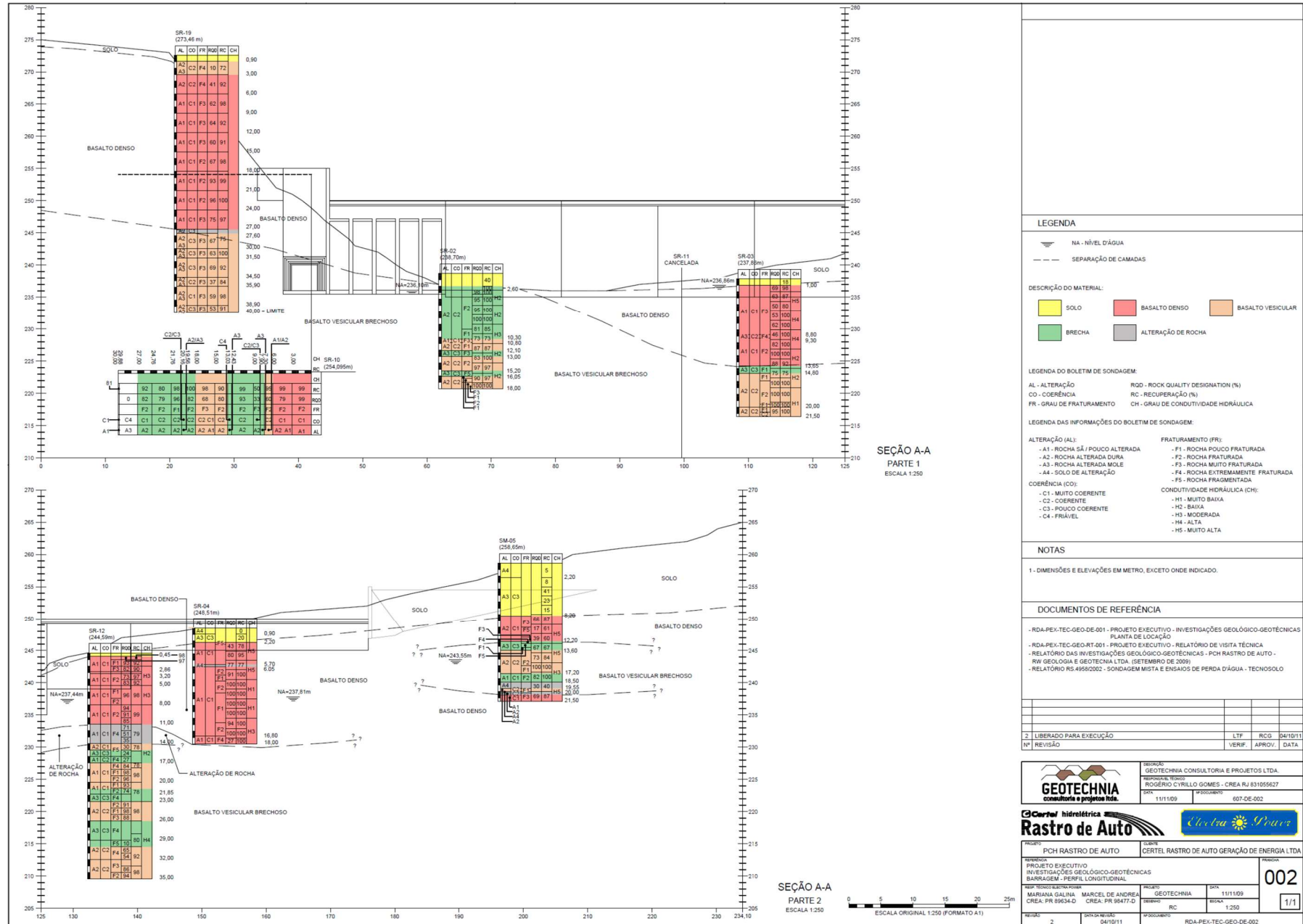


Figura 23 – Perfil Geológico no barramento da PCH Rastro de Auto



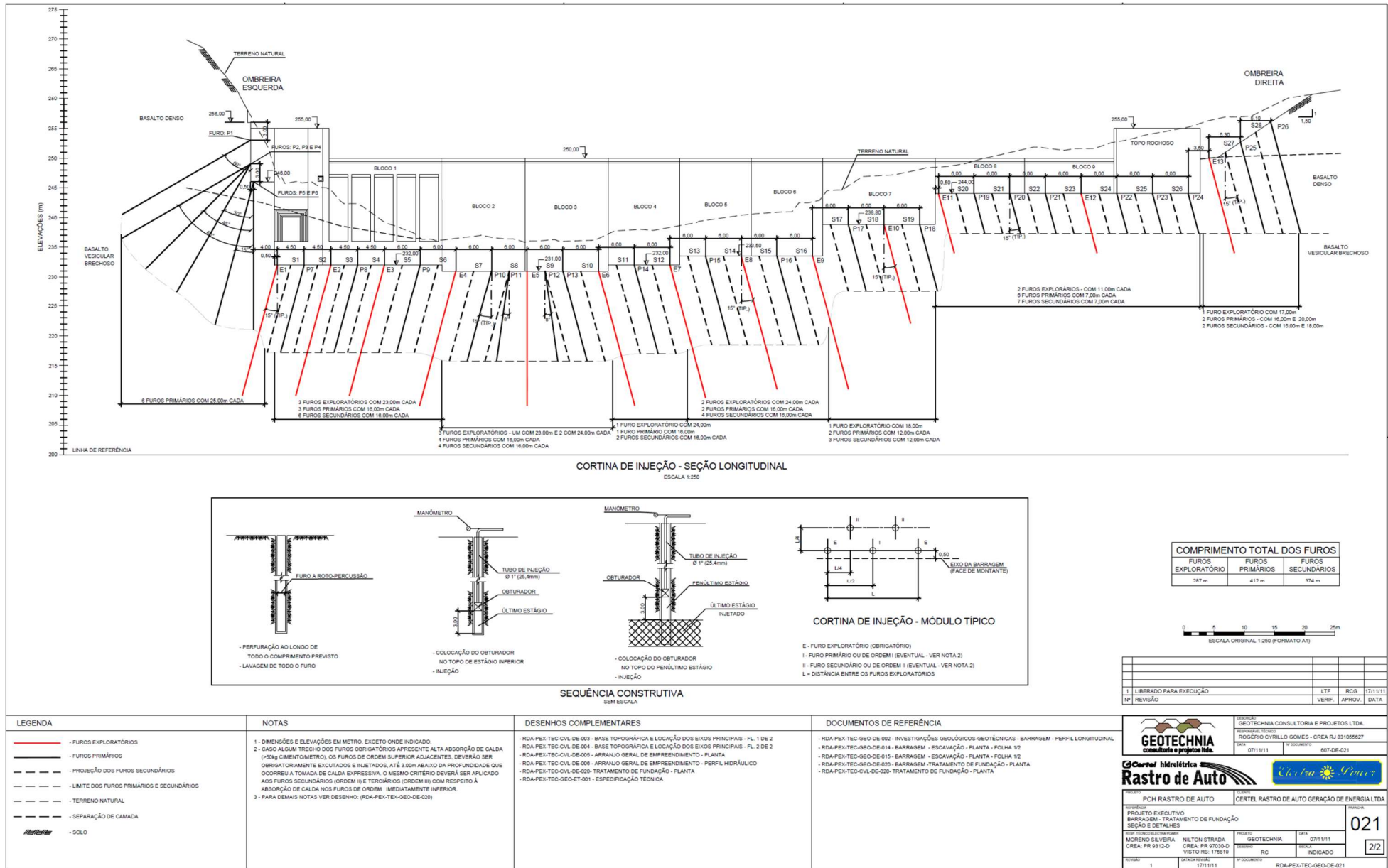


Figura 25 – Tratamento de fundação no barramento

#### 6.16.4 Critérios Sismológicos

A região do sítio da PCH Rastro de Auto está compreendida em uma zona historicamente assísmica, conforme pode ser verificado pelos dados IAG-Boletim Sísmico Brasileiro.

Portanto, tendo em vista a baixa sismicidade foram adotadas as premissas de cálculo preconizadas pela Eletrobrás 2003, Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas, sendo adotada análise pseudo-estática na avaliação de estabilidade das estruturas de barramento em concreto, empregando acelerações de 0,05 g na direção horizontal e 0,03 g na direção vertical. Considerações sobre ocorrência de evento sísmico induzido pela formação do reservatório da usina devem ser desconsideradas, face as dimensões do reservatório e as condições geológicas que compreendem o sítio da usina.

### 6.17 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA BARRAGEM

#### 6.17.1 Plano de Descomissionamento da Barragem

De acordo com a Lei nº 12.334, art. 18, somente será necessário descomissionar a Barragem a partir do momento que não atender aos requisitos de segurança, necessitando de um projeto específico de recuperação ou desativação. Esta necessidade será definida pelo órgão fiscalizador, no caso a ANEEL. Este assunto ainda não está regulamentado pela ANEEL.

#### 6.17.2 Manual de Operação e Manutenção da Barragem

Foram elaborados manuais de procedimentos dos roteiros de inspeção, lista de verificação das estruturas e frequência de realização das inspeções civis.

Foram desenvolvidos os manuais de operação, manutenção e inspeção (OMI) para a Barragem e estruturas associadas. Estes manuais contêm informações coerentes e suficientes para permitir que os colaboradores operem e mantenham as barragens em condições seguras, e monitorem seu estado, de forma a acionar uma situação de alerta em caso de sinais que indiquem riscos acima de limites toleráveis.

Este manual estará detalhado no item 10. Estes procedimentos devem servir de base para avaliar a vida útil do ativo e permitir a realização das análises de condição.

## 7 LEI DA POLÍTICA NACIONAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS

A resolução normativa ANEEL nº 1064, de 2 de maio de 2023, está de acordo com a Lei federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens.

Segue o Art. 1º da REN nº 1.064/2023, que estabelece critérios e ações de segurança de barragens associadas a usinas hidrelétricas fiscalizadas pela ANEEL, e que apresentem qualquer uma das destas características:

*I - altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento da barragem, maior ou igual a 15m (quinze metros);=> PCH Rastro de*

**Auto altura do maciço sendo o ponto mais alto igual a 21,60 m (soleira da descarga de fundo até cota de proteção das ombreiras).**

**II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m<sup>3</sup> (três milhões de metros cúbicos);=> PCH Rastro de Auto capacidade total do reservatório no nível normal é igual a 1.410.000 m<sup>3</sup>.**

**III - categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no art. 7º. Da Lei nº 12.334/2010 => PCH Rastro de Auto apresenta dano potencial associado médio.**

**IV - categoria de risco alto, nos desta Resolução, conforme definido no art. 7º da Lei nº 12.334/2010 => PCH Rastro de Auto apresenta dano potencial associado baixo.**

## 8 CLASSIFICAÇÃO DA BARRAGEM / ANO DE REFERÊNCIA 2025

As barragens fiscalizadas pela ANEEL serão divididas em classes, segundo a categoria de risco, dano potencial associado e volume do correspondente reservatório, em acordo com a matriz de classificação disposta no Anexo I.

Os critérios para classificação das barragens estão definidos no Anexo II da Resolução Normativa ANEEL Nº 1.064, de 2 de maio de 2023, onde são obtidos a Categoria de Risco e o Dano Potencial Associado, onde é obtido o Resultado final da Avaliação.

A área de abrangência para avaliação do Dano Potencial Associado (Anexo II.2) deverá compreender a região de amortecimento da cheia decorrente da ruptura, ou o reservatório da usina imediatamente a jusante.

Categoria de risco é a classificação da barragem de acordo com os aspectos que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente ou desastre e dano potencial associado à barragem é o dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração ou mau funcionamento de uma barragem, independentemente da sua probabilidade de ocorrência, a ser graduado de acordo com as perdas de vidas humanas e os impactos sociais, econômicos e ambientais.

Da matriz elaborada para a PCH Rastro de Auto, conforme o Anexo I e II da REN nº 1.064/2023, obtivemos a **Categoria de Risco = Baixo**, e **Dano Potencial Associado = Médio e Classe C**.

CATEGORIA DE RISCO	DANO POTENCIAL ASSOCIADO		
	ALTO	MÉDIO	BAIXO
Alto	A	B	B
Médio	B	C	C
Baixo	B	C	C

Figura 26 - Matriz de Classificação de Barragem (Anexo I – REN nº 1.064/2023)

As matrizes a seguir compõe o Anexo II da REN nº 1.064/2023:

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

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

<b>NOME DA BARRAGEM</b>	<i>PCH Rastro de Auto</i>
<b>NOME DO EMPREENDEDOR</b>	<i>CERTEL Rastro de Auto Geração de Energia S.A.</i>
<b>DATA:</b>	<i>10/03/2025</i>

<b>II.1 - CATEGORIA DE RISCO</b>		<b>Pontos</b>
1	Características Técnicas (CT)	14
2	Estado de Conservação (EC)	4
3	Plano de Segurança de Barragens (PS)	0
<b>PONTUAÇÃO TOTAL (CRI) = CT + EC + PS</b>		<b>18</b>

<b>FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	<b>CRI</b>
	ALTO	$\geq 62$ ou $EC^*=8$ (*)
	MÉDIO	35 a 62
	BAIXO	$\leq 35$

(\*) Pontuação (8) em qualquer coluna de Estado de Conservação (EC) implica automaticamente CATEGORIA DE RISCO ALTA e necessidade de providencias imediatas pelo responsável da barragem.

<b>II.2 - DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>		<b>Pontos</b>
	DANO POTENCIAL ASSOCIADO (DPA)	<b>12</b>

<b>FAIXAS DE CLASSIFICAÇÃO</b>	<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	<b>DPA</b>
	ALTO	$\geq 16$
	MÉDIO	$10 < DP < 16$
	BAIXO	$\leq 10$

**RESULTADO FINAL DA AVALIAÇÃO:**

<b>CATEGORIA DE RISCO</b>	Baixo
<b>DANO POTENCIAL ASSOCIADO</b>	Médio

Figura 27 – Matriz para Classificação de barragem / Categoria de Risco e Dano Potencial Associado

II.1 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)						
1 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS - CT						
Altura (a)	Comprimento (b)	Tipo de Barragem quanto ao material de construção (c)	Tipo de fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)	Casa de Força (g)
Altura ≤ 15m (0)	comprimento ≤ 200m (2)	Concreto Convencional (1)	Rocha sã (1)	entre 30 e 50 anos (1)	CMP (Cheia Máxima Provável) ou Decamilenar (3)	Barragem/Dique sem Casa de Força associada (0)
15m < Altura < 30m (1)	Comprimento > 200m (3)	Avenaria de Pedra / Concreto Ciclóptico / Concreto Rolado - CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	entre 10 e 30 anos (2)	Milenar - TR = 1.000 anos (5)	Casa de Força associada à barragem por meio de conduto forçado, túnel, etc (2)
30m ≤ Altura ≤ 60m (2)	-	Terra Homogenea /Enrocamento / Terra Enrocamento (3)	Rocha alterada -sem tratamento / Rocha alterada fraturada com tratamento (3)	entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)	Casa de Força ao pé da Barragem (5)
Altura > 60m (3)	-	-	Rocha alterada mole / Saprolito / Solo compacto (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou Desconhecida / Estudo não confiável (10)	-
-	-	-	Solo residual / aluvião (5)	-	-	-
CT = ∑ (a até f):		14				

Observação: Para cada coluna da matriz, hachurar/destacar a respectiva classificação do empreendimento.

Figura 28 – Matriz Classificação Categoria de Risco / Características Técnicas

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

Observação: Para cada coluna da matriz, hachurar/destacar a respectiva classificação do empreendimento.

Figura 29 – Matriz Classificação Categoria de Risco / Estado de Conservação

II.1 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO À CATEGORIA DE RISCO (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)				
3 - PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM - PS				
Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)
Anteprojeto ou Projeto conceitual (6)	-	Não possui e não aplica procedimentos para monitoramento e inspeções (6)	-	-
inexiste documentação de projeto (8)	-	-	-	-
<b>PS = <math>\sum</math> (n até r):</b>	<b>0</b>			

Observação: Para cada coluna da matriz, hachurar/destacar a respectiva classificação do empreendimento.

Figura 30 – Matriz Classificação Categoria de Risco / Plano de Segurança da Barragem - PS

**II.2 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO DANO POTENCIAL ASSOCIADO - DPA (ACUMULAÇÃO DE ÁGUA)**

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

<b>DPA = <math>\sum</math> (s até v):</b>	<b>12</b>
---	-----------

**Observação: Para cada coluna da matriz, hachurar/destacar a respectiva classificação do empreendimento.**

Figura 31 – Matriz Classificação Dano Potencial Associado - DPA

O presente plano de segurança e estudos tem como objetivo garantir as condições adequadas de segurança das estruturas e pessoas. A área de abrangência dos estudos e para avaliação do Dano Potencial Associado (Anexo II.2) se estendeu até a região de amortecimento da cheia associada ou decorrente da ruptura, e também ao reservatório existente da PCH Salto Forqueta que fica logo a jusante do empreendimento.

## 9 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL E QUALIFICAÇÃO TÉCNICA

### 9.1 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

Para segurança da Barragem, medidas preventivas e corretivas deverão ser tomadas, para isso existe uma estrutura organizacional da equipe de segurança da Barragem. Esta estrutura compreenderá desde o operador da Usina até um consultor externo em caso de emergência.

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.

Será de responsabilidade da Operadora:

- Correção de qualquer deficiência constatada.
- Operação segura e continuada, manutenção e inspeção das estruturas da Usina e do reservatório.

A equipe de segurança da Barragem será composta pelo Responsável Técnico da Barragem, o Técnico de Segurança da Barragem (Operador da Usina) e o Consultor externo, conforme descrito abaixo:

- Responsável Técnico da Barragem: é o responsável pela sua operação e manutenção. Todas as informações serão concentradas neste gerente, sendo que o técnico de segurança da Barragem e o consultor externo se reportarão a ele. Este é responsável pela contratação do consultor externo para realização das inspeções regulares e especiais.
- Operador da Usina: é o responsável pela realização das inspeções rotineiras (mensais) na Barragem e das leituras de instrumentação. Ele deverá comunicar ao Responsável Técnico da Barragem as informações rotineiras e eventual anormalidade detectada nas inspeções mensais e nas leituras da instrumentação.
- Consultor Externo: contratado pela gerência da usina para realização das inspeções civis regulares ou especiais. O consultor também avaliará os dados da instrumentação realizados até o momento da inspeção. Ele se portará ao Responsável Técnico da Barragem, a qual tomará as medidas corretivas e de manutenção da Barragem.

A seguir é apresentada a estrutura organizacional da equipe de segurança da Barragem para PCH Rastro de Auto.

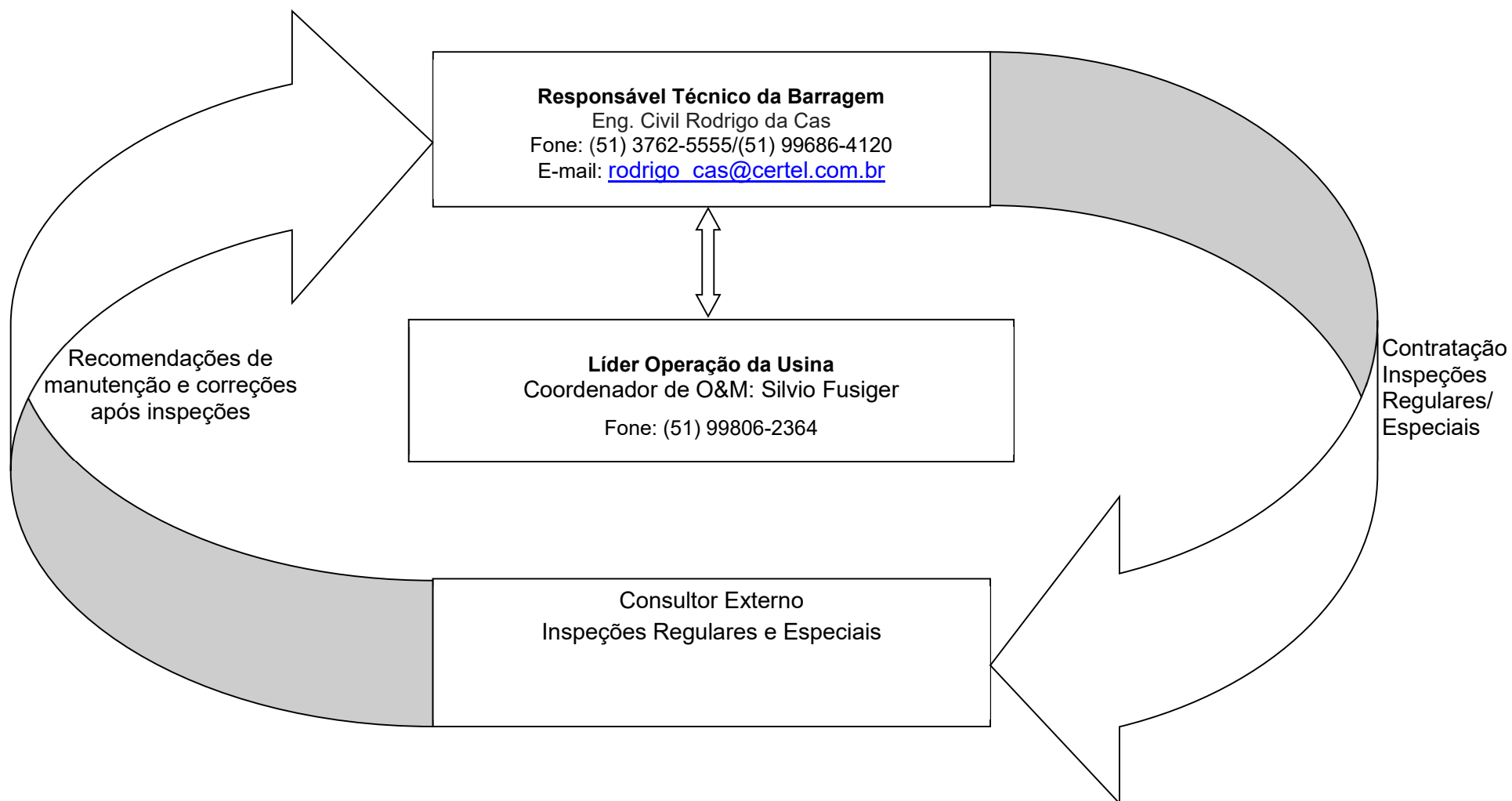


Figura 32 - Fluxograma 1 - Estrutura organizacional equipe de segurança da Barragem – PCH Rastro de Auto

## **RESPONSÁVEL TÉCNICO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM**

Rodrigo da Cas – Certel - Engenheiro Civil

- Atribuições: Gestão do Plano de Segurança de Barragem;
- Atividades: Preenchimento do Formulário de Segurança de Barragem; Contratação do Consultor externo para Inspeção de Segurança Regular - ISR; Contratação e acompanhamento da Manutenção Civil das Instalações; Contratação e acompanhamento dos Treinamentos da equipe local; Acompanhamento da análise de documentação do PSB (inspeções de rotina, planilhas de auscultação); Coordenação em conjunto com consultor externo e da equipe local de segurança de barragem.

## **CONSULTOR EXTERNO**

Engenheiro Civil – Contratado conforme ISR e necessidades

- Atribuições: Consultoria e apoio nos assuntos relacionados a Segurança de Barragem.
- Atividades: Execução da Inspeção de Segurança Regular – ISR, Análise de Auscultação da barragem; Orientação em procedimentos específicos e especializados de manutenção civil, elaboração do PSB e PAE, e Treinamentos da equipe de segurança local.

## **COORDENAÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM E PAE**

Coordenador de O&M: Silvio Fusiger

- Atribuições: Coordenador do PAE e Gestor Local de Segurança de Barragem;
- Atividades: Condução das atividades relacionadas à Segurança de Barragem reportando toda e qualquer anomalia encontrada ao Responsável Técnico de Segurança de Barragem; coordenar localmente as ações do Plano de Ações Emergenciais – PAE.

## **EQUIPE OPERACIONAL**

Técnicos

- Atribuições: Execução das atividades relacionadas à segurança de barragens.
- Atividades: Inspeccionar semanalmente as estruturas com emissão mensal da Checklist das possíveis anomalias encontradas e Leitura da instrumentação.

## **9.2 QUALIFICAÇÃO TÉCNICA**

A qualificação técnica da equipe de segurança da barragem deverá ser realizada após a conclusão do Plano de Segurança da Barragem e realizado reciclagens a cada ano de forma a manter equipe atualizada e comprometida com segurança da Barragem.

Esta qualificação será realizada para os operadores da Usina, bem como para o responsável pela segurança da Barragem, e deverá conter os seguintes itens:

- O porquê da Lei de Segurança de Barragens;
- Histórico de Rompimentos de Barragens;
- Lei nº 12.334/2010 alterada pela 14.066/2020 – Política Nacional de Segurança de Barragens;
- Monitoramento e Manutenção Civil – Inspeções Civis, Listas de Verificações, Instruções de Trabalho;
- Estrutura Organizacional Equipe de Segurança da Barragem;
- Fluxograma de Informações;
- Definição dos Itens a serem verificados nas Inspeções regulares (Mensais/Semestrais e Anuais);
  - Estruturas de terra/enrocamento (Barragem, Dique e Taludes);
  - Estruturas de Concreto (Barragem Concreto, Vertedouro, Tomada d'Água e Casa de Força).

A apresentação para o treinamento e qualificação técnica está apresentada no Anexo IV deste relatório.

### 9.3 IDENTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÕES PROFISSIONAIS DA EQUIPE TÉCNICA

Segue abaixo toda equipe interna de operação e manutenção da PCH Rastro de Auto.

Tabela 18 - Lista de profissionais e qualificação técnica destes vinculados a equipe de segurança e operação da PCH Rastro de Auto

Nome	Qualificação técnica	Função/Responsabilidade
Júlio Cesar Salecker	Engenheiro Agrícola/Técnico em Eletrotécnico	Diretor do Departamento de Geração
Felipe Drebes	Engenheiro Eletricista e de Controle Automação	Coordenador de Engenharia e Planejamento/ Responsável técnico Operação e Manutenção
Rodrigo Da Cas	Engenheiro Civil/MBA, em Projeto e Execução de Estruturas e Fundações / Pós-graduação em Segurança de Barragens	Responsável Técnico Operação, Manutenção, Inspeção e Segurança da Barragem
Samuel Vanderlei Delfeit	Engenheiro Eletricista Mestre em Engenharia	Coordenador de Engenharia e Planejamento
Tatiana da Costa Weber	Engenheira Ambiental Especialista em Avaliação de Impactos e Recuperação Ambiental	Analista Ambiental – Setor de Meio Ambiente
Ricardo Jasper	Engenheiro Agrônomo	Coordenador do setor Ambiental

Atualmente a totalidade da equipe com qualquer atividade relacionada a PCH Rastro de Auto tem acesso aos contatos de interesse e/ou pertinentes a operação, manutenção, inspeção e

tomadas de decisão do empreendimento. A lista de contatos importantes atualizada encontra-se apresentada na Tabela 19.

Tabela 19 - Contatos da PCH e do Empreendedor

LOCAL/SETOR/INDEFINIÇÃO	CONTATO
Empreendedor: Denominação da Empresa Outorgada: CERTEL Rastro de Auto Geração de Energia SA.	Fones: (51) 3762.5516 (horário comercial) (51) 3762.5542 (24 horas)
1. Operação na PCH Rastro de Auto	Fones: (51) 99993.5186 (horário comercial) ou (51) 3762.5542 (COG - 24 horas)
2. Operação no COG – Centro de Operação	Fones: (51) 3762.5542 (24 horas) ou (51) 99840.5299 (COG - 24 horas)
3. Operação e Manutenção da PCHSF	Fones: (51) 3762.5516 (horário comercial) (51) 3762.5542 (24 horas)
4. SESMT	Fones: (51) 3762.5500 (horário comercial)
5. Ambiental	Fones: (51) 3762.5500 (horário comercial)
6. Manutenção de obras civis	Fones: (51) 3762.5516 (horário comercial) (51) 3762.5542 (24 horas)
7. Setor Administrativo/Jurídico	Fones: (51) 3762.5516 (horário comercial)

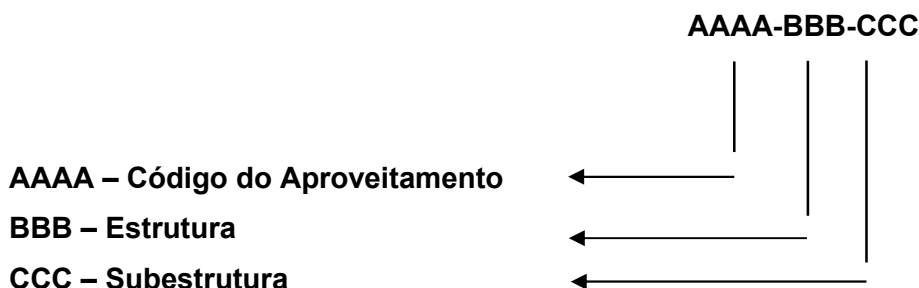
## 10 MANUAIS DE PROCEDIMENTOS DOS ROTEIROS DE INSPEÇÕES DE SEGURANÇA E MONITORAMENTO E RELATÓRIO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

### 10.1 CADASTRO DAS ESTRUTURAS

Cada estrutura civil da usina foi cadastrada em unidades, subunidades e equipamentos. Para cada equipamento foi definido uma lista de verificação para inspeção e manutenção, de acordo com as características e necessidades de cada um.

Apresenta-se, a seguir, o cadastro das subunidades e equipamentos pertencentes à unidade PCHRDA – Estruturas e Edificações, da Pequena Central Hidrelétrica Rastro de Auto, bem como os respectivos atributos e sua descrição.

As estruturas civis do aproveitamento foram cadastradas em estruturas e subestruturas, conforme o seguinte padrão de identificação:



A seguir são apresentados os cadastros das estruturas e suas subestruturas com as respectivas características.

#### 10.1.1 PCHRDA-BAD → BARRAGEM DIREITA

A barragem é de concreto ciclópico/convencional, situada na margem direita com altura máxima sobre a fundação de 14,50 m.

##### **PCHRDA-BAD-PM - PARAMENTO DE MONTANTE**

Inclinação média do talude controle: vertical

Material: concreto ciclópico

Tipo da proteção: concreto convencional

##### **PCHRDA-BAD-CR - CRISTA**

Largura: 5 m

Pavimento: concreto

##### **PCHRDA-BAD-PF – PARAMENTO DE JUSANTE**

Inclinação média do talude controle: 1 (V) – 0,75 (H)

Material: concreto ciclópico

Tipo de proteção: concreto convencional

##### **PCHRDA-BAD-OM – OMBREIRA**

Material: natural, rocha alterada

### 10.1.2 PCHRDA-BAE → BARRAGEM ESQUERDA

A barragem ombreira esquerda é concreto ciclópico com altura máxima sobre a fundação de 21,60 m.

#### **PCHRDA-BAE-PM – PARAMENTO DE MONTANTE**

Inclinação média do talude controle: vertical

Material: concreto ciclópico

Tipo da proteção: concreto convencional

#### **PCHRDA-BAE-CR - CRISTA**

Largura: 5 m

Pavimento: concreto

#### **PCHRDA-BAE-PJ – PARAMENTO DE JUSANTE**

Inclinação média do talude controle: 1 (V) – 0,75 (H)

Material: concreto ciclópico

Tipo da proteção: concreto convencional

#### **PCHRDA-BAE-OM – OMBREIRA**

Material: natural, rocha alterada

### 10.1.3 PCHRDA-VT → VERTEDOURO

Vertedouro de Ciclópico e convencional de soleira livre.

#### **PCHRDA-VT-FJ → FACE DE JUSANTE**

Tipo: laje em degraus

Quantidade: vários níveis

Material: concreto ciclópico e convencional

Obs.: Ressalta-se que esta parte da estrutura da Barragem/ Vertedouro será inspecionada quando não estiver ocorrendo vertimento.

#### **PCHRDA-VT-CR → CRISTA**

Cota de projeto: 250,00 m

Comprimento: 132,00 m

Obs.: Ressalta-se que esta parte da estrutura do Vertedouro será inspecionada quando houver rebaixamento do nível do reservatório.

#### **PCHRDA-VT-RE → RESTITUIÇÃO**

Material: Calha natural do rio

### 10.1.4 PCHRDA-TA → TOMADA D'ÁGUA

A Estrutura da Tomada d'água é de concreto convencional.

#### **PCHRDA-TA-CR → CRISTA**

Largura: 13,27 m

Pavimento: concreto

#### **PCHRDA-TA-EC → ESTRUTURA DE CONCRETO**

Estrutura: concreto armado

Número de vãos de comportas: 1

Dimensões dos vãos das comportas: 4,00 × 4,00 m

#### 10.1.5 PCHRDA-TU → TÚNEL DE ADUÇÃO

Escavado em rocha.

Obs.: A inspeção nesta estrutura só será realizada quando ocorrer o seu esgotamento.

#### **PCHRDA-TU-TU → TÚNEL**

Tipo: escavado em rocha

#### 10.1.6 PCHRDA-CH → CHAMINÉ DE EQUILIBRIO

Escavado em rocha e paredes em concreto

Obs.: A inspeção nesta estrutura só será realizada quando ocorrer o esgotamento do túnel e acesso a chaminé.

#### **PCHRDA-CH-AE → ÁREA EXTERNA**

Tipo: escavado em rocha e paredes em concreto

#### **PCHRDA-CH-AE → ÁREA INTERNA**

Tipo: concreto

#### 10.1.7 PCHRDA-CO → CONDUTO FORÇADO

Conduto forçado em aço apoiado sobre blocos de concreto.

#### **PCHRDA-CO-BE → BERÇOS E BLOCO**

Tipo: concreto convencional

#### **PCHRDA-CO-TU → TUBULAÇÃO**

Tipo: aço

#### 10.1.8 PCHRDA-CF → CASA DE FORÇA

#### **PCHRDA-CF-AE → ÁREA EXTERNA**

El. 217,00 m

Estrutura: fechamento alvenaria/ estrutura metálica e taludes em rocha adjacentes.

#### **PCHRDA-CF-AI → ÁREA INTERNA**

Estrutura: piso em concreto, fechamento metálico e alvenaria

#### **PCHRDA-CF-CF → CANAL DE FUGA**

Tipo: escavado em rocha

#### 10.1.9 PCHRDA-GE → GERAL

#### **PCHRDA-GE-AC → ACESSOS E LIMITES PROPRIEDADES**

Tipo: estradas vicinais com tratamento primário

#### **PCHRDA-GE-SB → SUBESTAÇÃO**

Tipo: pátio com brita e bases de concreto

#### **PCHRDA-GE-TU → TALUDES DA USINA**

Tipo: taludes em rocha com alguns trechos protegidos por concreto projetado

#### **PCHRDA-GE-RE → RESERVATÓRIO**

Tipo: boias sinalizadoras e taludes naturais

## 10.2 PLANEJAMENTO DAS INSPEÇÕES

### 10.2.1 Tipos e Frequência das Inspeções

A tabela abaixo apresenta resumo das inspeções anuais.

Tabela 20 - Tipo e frequência das inspeções de segurança

Tipo	Frequência	Total Anual	Executor
Inspeção Rotineira	1 x mês	12	Operação – Equipe Interna da Segurança da Barragem
Inspeção Regular	1 x ano	01	Consultor – Eng. Civil especialista em Segurança de Barragens
Inspeção Especial	Esporádico, de acordo com necessidade. Avaliado pelo responsável da segurança da Barragem		

A seguir são descritas e detalhadas as inspeções necessárias para acompanhamento das estruturas civis da usina.

#### 10.2.1.1 Inspeções Rotineiras (Mensais)

As “Inspeções Rotineiras” são aquelas realizadas pelos técnicos responsáveis pela operação da Usina, durante sua circulação pela crista da barragem, ombreiras, vertedouros, e tomada d’água, a frequência dessas inspeções deverá ser mensal, definida de acordo com o recomendado no item a ser inspecionado, e podendo ser mais reduzida em função de restrições sazonais, após ocorrências de enchentes. Não gera relatórios específicos, mas apenas comunicações de eventuais anomalias detectadas.

Deverão ser preenchidas as Fichas Inspeção mensais de acompanhamento para as seguintes estruturas civis que estão apresentadas no Anexo II.

Destaca-se que esses técnicos deverão ser devidamente treinados e qualificados para tal, sendo alertados antecipadamente sobre os vários tipos de anomalias a observar nas estruturas em solo e rocha, assim como nas estruturas de concreto. Toda anomalia deverá ser registrada através de fotos, sendo que as mais importantes, tais como:

- Surgência de água a jusante e ombreiras;
- Surgência de água no paramento de jusante;
- Trincas e deslocamentos no concreto;
- Fissuras na crista ou talude de jusante; etc.

Estas inspeções devem ser realizadas por técnicos ou auxiliares técnicos devidamente treinados para tal, que tenha conhecimento do empreendimento.

#### 10.2.1.2 Inspeção de Segurança Regular (Anual)

São as inspeções realizadas por uma equipe do proprietário da barragem ou por consultor externo. Esta equipe deverá ser composta de especialistas das áreas de Hidráulica, Geotecnia,

Geologia, Estruturas e Tecnologia de Concreto. A frequência destas inspeções deverá ser anual. Os aspectos a serem vistoriados, analisados e relatados neste tipo de inspeção estão detalhados nas fichas de inspeções anuais. Também deverão ser analisados os dados das inspeções rotineiras e preenchidas as fichas de inspeções do Anexo II.

A seguir apresenta-se a relação dos Técnicos e Engenheiros que devem participar dessa inspeção:

- Engenheiro estrutural ou da área de concreto;
- Engenheiro geotécnico;
- Engenheiro hidráulico;
- Técnico sênior.

#### 10.2.1.3 Inspeções Segurança Especial

As “Inspeções Especiais” são aquelas a serem realizadas após a ocorrência de eventos especiais, tais como uma cheia excepcional, rebaixamento rápido do reservatório, sismo sensível na região, etc., ou após a detecção de uma anomalia ou ocorrência de um evento adverso, que possa colocar em risco a segurança da barragem. Tendo por base as consequências do evento excepcional ou a anomalia observada, pode haver a necessidade de participação de um ou mais especialistas, para assessorar nessa inspeção.

Esta convocação normalmente será fruto de uma avaliação, por parte da equipe de engenharia de inspeção e manutenção, após uma grande enchente onde se detecte algum problema que mereça atenção especial ou mediante alterações importantes dos níveis de leitura dos instrumentos de monitoramento da barragem/vertedouro.

Depois de cheias e chuvas torrenciais, observações não usuais tais como fissuras, recalques, surgências de água e indícios de instabilidade de taludes devem ser verificadas.

A seguir apresenta-se a relação dos Técnicos e Engenheiros que devem participar dessa inspeção. Dependendo da causa que motivou essa “Inspeção Especial” não haverá necessidade de participação de toda a equipe a seguir relacionada.

- Engenheiro especialista;
- Engenheiro estrutural ou da área de concreto;
- Engenheiro geotécnico;
- Engenheiro hidráulico;
- Engenheiro mecânico.

#### 10.2.2 Classificação dos Inspetores

No que concerne às “Inspeções Rotineiras” os técnicos devem estar devidamente treinados para a sua realização e registro, aproveitando o fato de estarem circulando periodicamente pelas estruturas da barragem. Os mesmos devem ser orientados no sentido de proceder à observação

dos locais por onde estão circulando, registrando toda nova anomalia e comunicando de imediato aos superiores.

Deve-se ressaltar que esses técnicos devem participar de cursos preparatórios para saber o que observar, como efetuar o registro das anomalias mais relevantes e aquelas que deverão ser comunicadas de imediato aos superiores, a quem efetuar essas comunicações, etc.

No que diz respeito às “Inspeções Segurança Regular” as mesmas devem ser realizadas por uma equipe local de Engenheiros e Geólogos, cabendo ao responsável técnico o recolhimento de Anotação de Responsabilidade junto ao órgão competente (CREA). Em se tratando de Usinas Hidrelétricas ou barragens dotadas de comportas e equipamentos auxiliares, um Engenheiro Mecânico e/ou Elétrico poderão participar.

Na realização das “Inspeções Segurança Regular” a equipe deve ter conhecimento prévio sobre os equipamentos eletromecânicos do empreendimento, particularmente das comportas e stop-logs do Vertedouro, Tomada de Água e Casa de Força, incluindo o dispositivo da vazão sanitária. No que concerne às “Inspeções Segurança Especiais”, as mesmas poderão ser realizadas, eventualmente, pela equipe das “Inspeções Segurança Regular”, mas exigindo geralmente a contratação de mais algum especialista. Após a passagem de uma grande cheia caberia, por exemplo, a contratação de um especialista em Hidráulica-Hidrologia, após um grande sismo, de um bom Geólogo de Engenharia, ou de um Engenheiro Mecânico especialista em turbinas, após um eventual problema com uma das unidades geradoras, envolvendo, por exemplo, a quebra das pás.

### 10.2.3 Itinerário e Materiais para Inspeções

A inspeção no campo tem por objetivo identificar anomalias ou condições que possam afetar a segurança da barragem. Assim é importante observar todas as regiões da barragem, designadamente o paramento de montante, paramento de jusante, crista, ombreiras, reservatório, etc. Deve também incluir as estruturas extravasoras, especialmente o vertedouro, a tomada de água e a descarga de fundo.

A técnica usual é caminhar ao longo da crista da barragem, pé de jusante e ombreiras, incluindo algum caminhamento sobre os taludes para a observação de alguma eventual particularidade.

A experiência vem mostrar que pequenos detalhes podem usualmente ser vistos a partir de uma distância de 3 a 10 metros, em qualquer direção. Não importa o tipo de trajetória, o importante é que, tanto quanto possível, toda a superfície da barragem seja coberta visualmente.

Durante as inspeções visuais devem ser fotografadas todas as regiões inspecionadas, particularmente as anomalias encontradas. Deve-se sempre procurar proceder a uma comparação das anomalias já observadas em inspeções anteriores, tais como fissuras, infiltrações e surgências nas ombreiras, para verificar se houve alguma evolução.

No caso das inspeções especiais o roteiro da inspeção depende da situação a ser investigada e da metodologia de trabalho da equipe de especialistas, podendo ser localizada ou envolver toda a barragem e áreas adjacentes, no caso de um sismo.

Destacam-se como equipamentos a serem levados nas inspeções de campo, sejam elas “Regulares” ou “Especiais”, os seguintes:

- Caderno de anotações e caneta;
- Câmera fotográfica;
- Trena (2,0 a 5,0 m);
- Martelo de geólogo (eventual);
- Fissurômetro.

#### 10.2.4 Observações e Listas de Verificações

Relacionam-se a seguir os dados que deverão integrar os “Relatórios de Inspeção Regular” ou “Especial”, com uma relação dos principais tópicos a serem observados e registrados.

Pode-se consultar manual da ANA - Volume II – Guia Orientação Formulários Para Inspeções Segurança Barragem disponível em:

<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cadastros/Barragens/ManualEmpreendedor.aspx>.

##### 10.2.4.1 Geral

#### CONDIÇÕES OPERACIONAIS

- Falta de manutenção sobre estruturas civis;
- Boas condições de acesso;
- Falta de cercas de proteção;
- Falta ou deficiência de placas sinalização;
- Mapas de risco e rotas de fuga;
- Condições de geração: NA Montante, NA Jusante, Vazão Vertida, Unidades em Operação;
- Residências nas ombreiras da barragem.

#### RESERVATÓRIO

- Sinalizadores para proteção Vertedouros;
- Materiais flutuantes junto as grades;
- Muita vegetação nas margens;
- Água com turbidez;
- Índícios de assoreamento;
- Ocorrência de fortes ondas.

#### 10.2.4.2 Estruturas de Terra

##### TALUDE DE MONTANTE

- Erosão do material;
- Recalque, depressão, escorregamento (sinkholes);
- Vegetação excessiva (arbustos, árvores).

##### CRISTA

- Recalque, depressão, sinkhole;
- Desalinhamento da crista;
- Fissuras transversais ou longitudinais;
- Vegetação excessiva (arbustos, árvores);
- Erosão superficial.

##### TALUDE DE JUSANTE

- Erosão;
- Cobertura de proteção inadequada;
- Fissuras longitudinais ou transversais;
- Recalque, depressão, escorregamento (sinkholes)
- Obstrução dos canaletas de drenagem
- Áreas úmidas ou com infiltração
- Tocas de animais (cupinzeiros, formigueiros)
- Vegetação excessiva (arbustos, árvores).

Na Figura 33 apresenta-se um esquema ilustrando as anomalias mais usuais observadas em barragens de terra ou enrocamento.

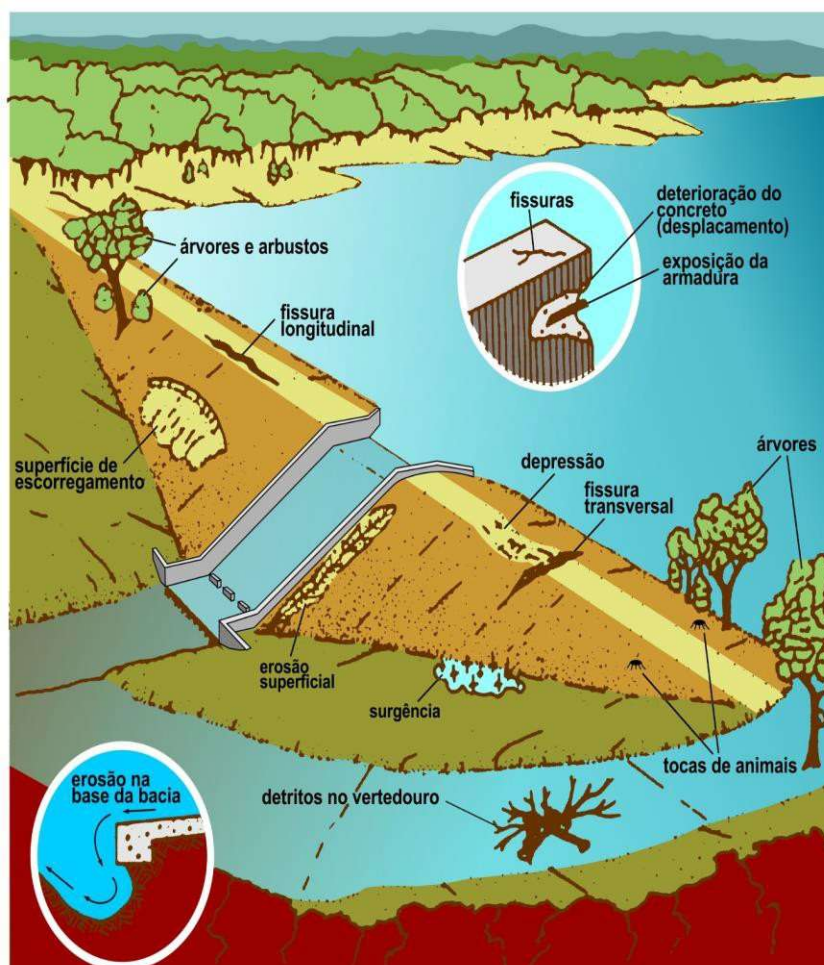


Figura 33 – Representação esquemática das anomalias

Fonte: modificado de Roque e Comissão, 2001

### TALUDES USINA

- Bom aspecto geral dos taludes;
- Deslocamentos de concreto projeto;
- Escorregamento e/ou erosões de taludes;
- Falta de proteção contra intempéries (proteção vegetal, proteção com telas e etc).
- Existência de dispositivos de drenagem e limpeza.

#### 10.2.4.3 Estruturas de Concreto

### PARAMENTO DE MONTANTE

- Deslocamento pronunciado entre blocos;
- Junta de vedação danificada entre blocos e/ou lajes;
- Desgaste superficial do concreto
- Fissuras superficiais ( $e > 0,5 \text{ mm}$ );
- Exposição do agregado;

- Exposição da armadura.

### CRISTA

- Fissuras superficiais ( $e > 0,5$  mm);
- Fissuras tipo “mapa”;
- Juntas de contração bem abertas;
- Recalque diferencial pronunciado entre blocos;
- Desalinhamento do guarda-corpo;
- Deslocamento do concreto;
- Boa drenagem do trilho da talha.

### PARAMENTO DE JUSANTE

- Deslocamento pronunciado entre Bloco;
- Juntas de contração com infiltração;
- Infiltração concreto;
- Carbonatação no concreto;
- Fissuras superficiais ( $e > 0,5$  mm);
- Deslocamento do concreto;
- Exposição da armadura;
- Vegetação excessiva no pé da barragem.

### TOMADA DE ÁGUA

- Deslocamento superficial do concreto;
- Fissuração no concreto ( $e > 0,5$  mm);
- Exposição do agregado;
- Exposição da armadura;
- Deslocamento pronunciada entre blocos;
- Dispositivo de vedação da junta danificado;
- Infiltração através das juntas/fissuras;
- Trilho do pórtico em bom estado;
- Formação de vórtices a montante;
- Materiais flutuantes a montante;

- Equipamentos mecânicos em bom estado.

#### VERTEDOURO

- Fissuras superficiais ( $e > 0,5$  mm);
- Fissuras tipo “mapa”;
- Infiltração pelas juntas entre blocos;
- Erosão por abrasão;
- Erosão por cavitação;
- Arrancamento de reparos superficiais;
- Exposição da armadura;
- Carbonatação concreto;
- Boas condições hidráulicas.

#### CASA DE FORÇA INTERNA

- Fissuras no concreto;
- Infiltrações no concreto;
- Carbonatação no concreto;
- Água acumulada sobre o piso;
- Deslocamento do concreto;
- Cobertura em bom estado;
- Equipamentos/estrutura em bom estado;
- Boas condições de ventilação;
- Boas condições de iluminação.

#### CASA DE FORÇA EXTERNA

- Calçada lateral em bom estado;
- Canaletas de drenagem limpos;
- Água acumulada na lateral;
- Fissuras nas paredes
- Janelas em bom estado;
- Boas condições de acesso;
- Taludes laterais em bom estado;

- Boas condições de limpeza no entorno.

### SUBESTAÇÃO

- Boas condições de drenagem;
- Piso em boas condições;
- Equipamentos em boas condições;
- Condições de acesso adequadas;
- Canaletas de drenagem limpos;
- Indícios de instabilidade de talude lateral;
- Infiltrações de água nas proximidades;
- Erosão superficial do terreno;
- Vegetação interna excessiva;
- Vegetação externa excessiva.

## 10.3 RESUMO DAS FICHAS DE INSPEÇÕES

### 10.3.1 Inspeções Regulares e Especiais

Apresenta-se, no quadro abaixo, um resumo das fichas de inspeção para realização das inspeções regulares e especiais e demais características associadas.

Netas inspeções as fichas de inspeções irão avaliar com seguintes itens:

1- SITUAÇÃO	
NA	Este item Não é Aplicável
NE	Anomalia não existe
PV	Anomalia constatada pela Primeira Vez
DS	Anomalia desapareceu ou sofreu manutenção
DI	Anomalia Diminuiu
AU	Anomalia Aumentou
NI	Este item não foi inspecionado

2- MAGNITUDE	
I	Insignificante
P	Pequena
M	Média
G	Grande

3- NÍVEL DE PERIGO DA ANOMALIA (Risco Barragem)	
1	<b>Normal</b> - Não ocorre anomalia ou as que existem não compromete a segurança da barragem, mas devem ser monitoradas;
2	<b>Atenção</b> - Anomalia não compromete estrutura, mas exige monitoramento/controle ou reparo;
3	<b>Alerta</b> - Anomalia representa risco à segurança da barragem, exige providências para manutenção das condições de segurança;
4	<b>Emergência</b> - Anomalia representa risco de ruptura iminente, exigindo providências para prevenção e mitigação de danos humanos e materiais.

Tabela 21 – Resumo das Fichas Inspeção

	Listas de Verificações	Estrutura	Frequência	Instruções de Trabalho
1	PCHRDA-BAD	Barragem – Margem Direita	Anual	IT11, IT4, IT5 e IT6
2	PCHRDA-BAE	Barragem – Margem Esquerda	Anual	IT11, IT4, IT5 e IT6
3	PCHRDA-VT	Vertedouro	Anual	IT11, IT4, IT5 e IT6
4	PCHRDA-TA	Tomada d'Água	Anual	IT11, IT4, IT5 e IT6
5	PCHRDA-TU	Túnel Adutor	Conforme disponibilidade	IT6, IT7 e IT9
6	PCHRDA-CH	Chaminé de Equilíbrio	Anual	IT1, IT3, IT7 e IT9
7	PCHRDA-CF	Casa de Força	Anual	IT1, IT2, IT3, IT4, IT5, IT6, IT7 e IT9
8	PCHRDA-SC	Sítio Circunvizinho	Anual	IT1, IT3, IT7, IT8 e IT9

### 10.3.2 Inspeções Rotineiras

Para as inspeções rotineiras (mensais), a serem executadas pelos operadores da Usina é realizada com Ficha de Inspeção em Excel.

A ficha de inspeção mensal está apresentada Anexo II – Fichas Rotineiras - Mensal.

## 10.4 MANUTENÇÕES PERIÓDICAS USINA

Para realização as manutenções periódicas na usina, Barragens e estruturas associadas, foram elaboradas instruções de trabalho são utilizadas para orientar/auxiliar na realização das manutenções e execução das leituras de instrumentação.

A equipe de inspeção e manutenção deverá consultar este item do Plano, previamente à realização do serviço, para tomar conhecimento das orientações a serem seguidas.

O objetivo das instruções é orientar como determinado serviço deverá ser executado.

Outras instruções técnicas específicas poderão ser criadas em uma eventual necessidade após as inspeções regulares/segurança/especiais.

As instruções técnicas mais simplificadas poderão ser realizadas pela equipe da operação da Usina, e os serviços mais especializados deverão ser elaborados internamente por técnicos ou engenheiros e/ou contratados quando identificada a necessidade nas inspeções regulares e/ou especiais.

Apresentam-se, no Anexo III, as Instruções de Trabalho (IT).

Tabela 22 – Resumo das Instruções de Trabalho e utilização - Manutenções

Instruções de Trabalho	Descrição da Instrução	Estrutura	Utilização - Inspeção	Equipe p/ realização da IT
IT1	Serviços Gerais – Limpeza, Manutenção e Conservação	Usina	Regular - Mensal	Operação
IT2	Recomposição Reboco	Casa de Força	Regular - Mensal	Operação
IT3	Demolição de blocos de rocha	Chaminé, Casa de Força e Sítio circunvizinho	Periódica - Anual	Especializada
IT4	Monitoramento de trincas e fissuras	Usina	Periódica - Anual	Especializada
IT5	Reparos nas juntas de dilatação	Usina	Periódica - Anual	Especializada
IT6	Reparos no concreto e tratamento de armaduras	Vertedouro, Tomada d'Água, Conduto Forçado e Casa de Força	Periódica - Anual	Especializada
IT7	Bate choco	Sítio circunvizinho, Casa de Força e Chaminé	Periódica - Anual	Especializada
IT8	Recomposição vegetal	Sítio circunvizinho	Periódica - Anual	Especializada
IT9	Concreto projetado	Sítio circunvizinho, Casa de Força e Chaminé	Periódica - Anual	Especializada

## 10.5 FLUXO DE INFORMAÇÃO E EQUIPE DE INSPEÇÃO

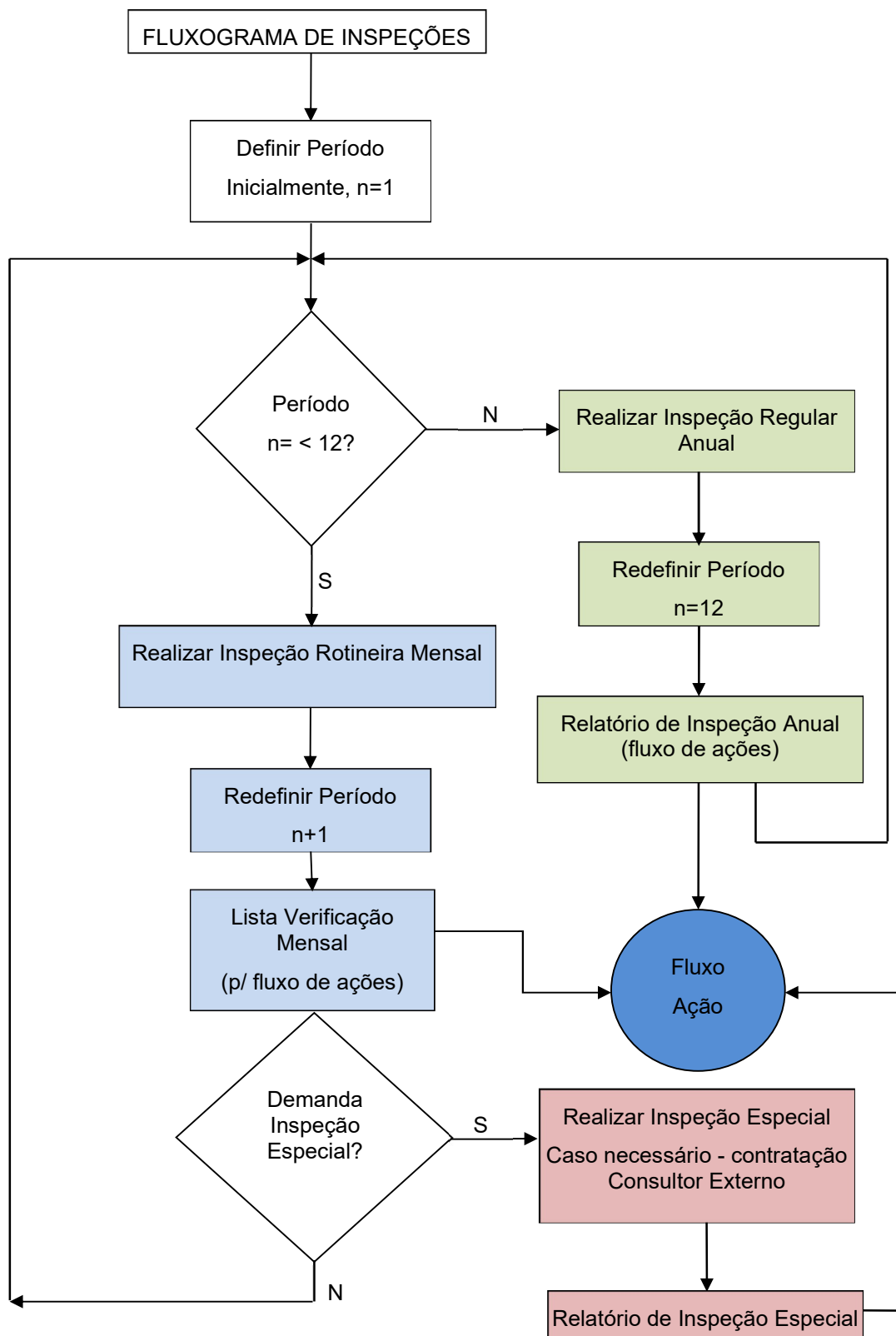
O fluxograma apresenta as atividades da equipe de inspeção e manutenção das estruturas civis e a interface com a Gerência da Usina sendo de inspeções e de ações.

O fluxograma de inspeções (Figura 34 - Fluxograma 2) indica a sequência dos procedimentos para as inspeções nas estruturas de acordo com a periodicidade necessária.

O fluxograma de segurança da barragem (Figura 35 - Fluxograma 3) indica a sequência na tomada de decisões com base nos dados obtidos na instrumentação, inspeções e no relatório das inspeções.

O fluxograma de ações (Plano de Ação de Emergências) indica a sequência na tomada de decisões com base nos níveis de emergência.

Caso o fluxograma de ações entrar em **EMERGÊNCIA 1** deverá seguir procedimento do Plano de Ação de Emergência.



n= mês

Figura 34 - Fluxograma 2 – Fluxograma de Ações - manutenção das estruturas

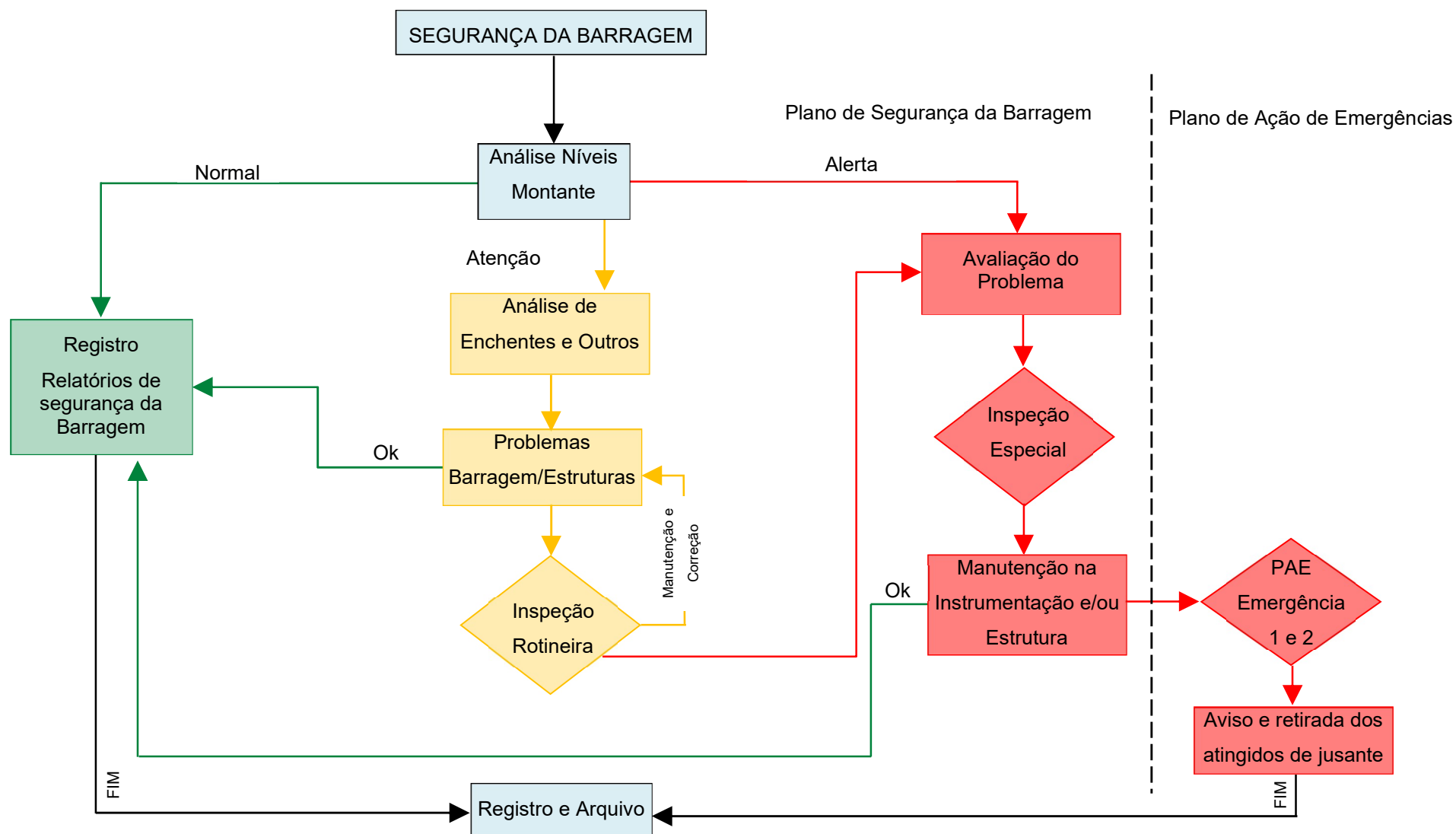


Figura 35 - Fluxograma 3 – Fluxograma de Segurança da Barragem - manutenção da instrumentação e/ou estruturas

## 11 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DAS ESTRUTURAS VISTORIADAS

A fim de estabelecer um plano de ação para mitigação das anomalias observadas, as recomendações devem ser separadas por Nível de Criticidade. Sendo utilizada metodologia baseada na matriz GUT, que prioriza as ações mais críticas para serem realizadas primeiro.

Essa metodologia permite a priorização da solução de ocorrências e suporta a tomada de decisões, considerando os seguintes parâmetros: Gravidade, Urgência e Tendência (G-U-T). Conforme detalhado na Figura 36 cada ocorrência recebe uma classificação. A Gravidade é o impacto da ocorrência, a Urgência é o tempo necessário para que a ocorrência possa trazer algum impacto relevante e a Tendência é o potencial de agravamento da ocorrência. A cada ocorrência é atribuída uma pontuação de 1 a 5 para cada um dos três parâmetros.

GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
1=SEM GRAVIDADE	1=NÃO TEM PRESSA	1=NÃO VAI PIORAR
2=POUCO GRAVE	2=PODE ESPERAR UM POUCO	2=VAI PIORAR EM LONGO PRAZO
3=GRAVE	3=O MAIS CEDO POSSÍVEL	3=VAI PIORAR EM MÉDIO PRAZO
4=MUITO GRAVE	4=COM ALGUMA URGÊNCIA	4=VAI PIORAR EM POUCO TEMPO
5=EXTREMAMENTE GRAVE	5=AÇÃO IMEDIATA	5=VAI PIORAR RAPIDAMENTE

Figura 36 – Descrição dos níveis dos parâmetros GUT

As pontuações de cada vertente são multiplicadas entre si ( $G \times U \times T$ ) para definir a priorização, e o horizonte de prazo máximo para intervenção. Os produtos resultantes da matriz GUT são relacionados a Graus de Hierarquização (GH) ou a Nível de criticidade para a execução de cada ação recomendada.

De forma a complementar a metodologia GUT utilizada para a classificação das anomalias conforme nível de criticidade, foi adicionado um novo nível de criticidade (4) de forma a contemplar, também, as recomendações relacionadas a manutenção periódica/rotineira ou monitoramento da estrutura, porém não será classificada conforme Matriz GUT por ser atividade de rotina.

A Figura 37 indica o nível de Criticidade conforme Graus de Hierarquização e deverão seguir o grau de prioridade de execução:

**Imediato NC 0** – Recomendações relacionadas a aspectos que comprometem em curto prazo a estabilidade das estruturas → Manutenção/Reparo imediato em até 6 meses;

**Curto Prazo NC 1** – Recomendações relacionadas a aspectos que não comprometem em curto prazo a estabilidade das estruturas, entretanto a evolução pode vir a comprometer → Manutenção/Reparo em até 1 ano;

**Médio Prazo NC 2** – Recomendações relacionadas a aspectos que comprometem a médio prazo a estabilidade das estruturas → Manutenção/Reparo até 2 anos;

**Logo Prazo NC 3** – Recomendações relacionadas a aspectos que comprometem a médio prazo a estabilidade das estruturas → Manutenção/Reparo até 5 anos;

**Rotineiro NC 4** – Recomendações relacionadas a manutenções e acompanhamentos periódicos e rotineiros importantes para o monitoramento das estruturas → Periódico/Rotineiro.

GRAU DE HIERARQUIZAÇÃO (GH)	PRAZO	NÍVEL DE CRITICIDADE
Imediato: $GH \geq 75$	6 meses	0
Curto Prazo: $36 \leq GH < 75$	1 ano	1
Médio Prazo: $25 < GH < 36$	Até 2 anos	2
Longo Prazo: $GH \leq 25$	Até 5 anos	3
Rotineiro / Periódico *	-	4

Figura 37 - Níveis do Grau de Hierarquização e Prazos máximos correspondentes

## Plano de ação de melhorias e cronograma de implantação das ações

As recomendações destacadas deverão seguir o grau de prioridade de execução:

**Imediato NC 0** – Recomendações relacionadas a aspectos que comprometem em curto prazo a estabilidade das estruturas → Manutenção/Reparo imediato, até 6 meses;

**Curto Prazo NC 1** – Recomendações relacionadas a aspectos que não comprometem em curto prazo a estabilidade das estruturas, entretanto a evolução pode vir a comprometer → Manutenção/Reparo em até 1 ano;

**Médio Prazo NC 2** – Recomendações relacionadas a aspectos que comprometem a médio prazo a estabilidade das estruturas → Manutenção/Reparo até 2 anos;

**Logo Prazo NC 3** – Recomendações relacionadas a aspectos que comprometem a médio prazo a estabilidade das estruturas → Manutenção/Reparo até 5 anos;

**Rotineiro NC 4** – Recomendações relacionadas a manutenções e acompanhamentos periódicos e rotineiros importantes para o monitoramento das estruturas → Periódico/Rotineiro.

## 12 REGRA OPERACIONAL DO DISPOSITIVO DE DESCARGA

Na barragem da PCH Rastro de Auto está implantado um vertedouro de soleira livre, onde não há controle da vazão vertida, sendo maior conforme o fluxo de vazão e o nível no reservatório.

O Vertedouro, do tipo soleira livre, sem comportas, disposto no eixo do rio Forqueta, com a crista na EI. 250,00 m, comprimento total de 132,00 m e capacidade de vazão de 4.328,10 m<sup>3</sup>/s (TR=10.000 anos), atingirá NA Máx Max de 256,09 m. Como o alteamento da crista das ombreiras da Barragem garantindo cota de proteção na EI. 257,10 m.



Figura 38 – Vertedouro

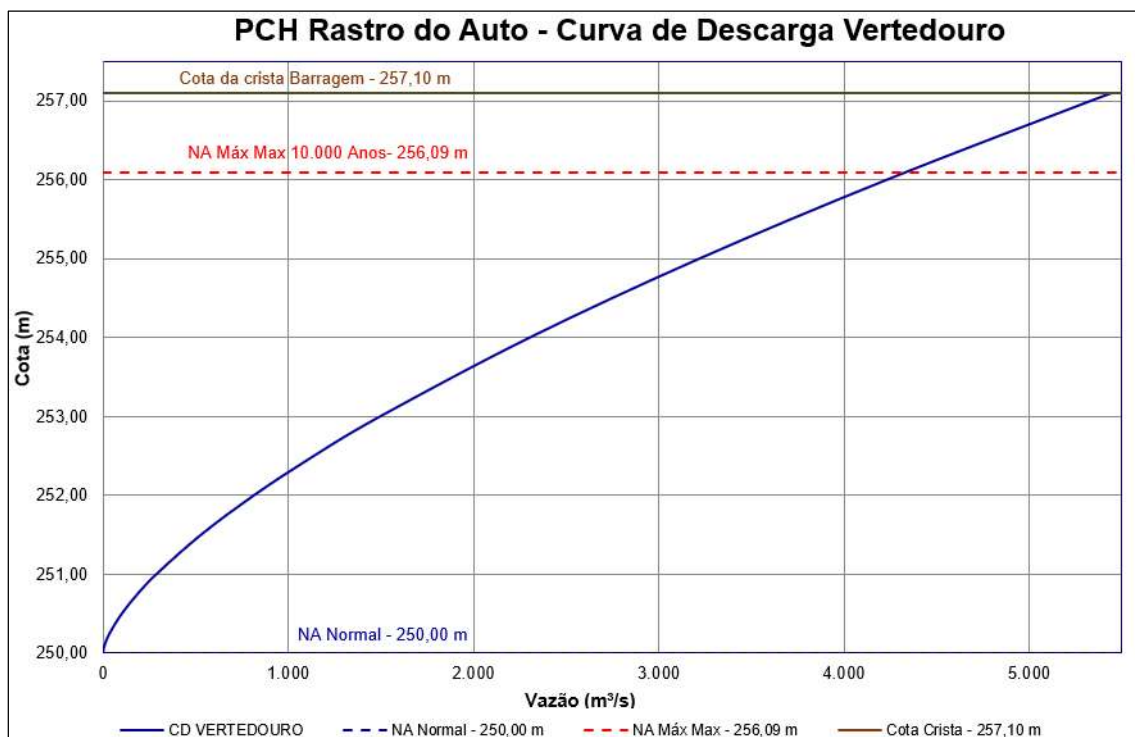


Figura 39 – Curva de Descarga do Vertedouro

### 13 ÁREA A SER RESGUARDADA

De acordo com a localização da usina não existem áreas em seu entorno e acessos a serem resguardados, exceto aqueles indispensáveis para manutenção e operação da barragem (Figuras abaixo). A PCH Rastro de Auto tem bem definida sua área resguardada com cercas, portões nos acessos e placas informativas em todo acesso a Usina. No Anexo I – 1.Geral, está apresentado o desenho de localização da usina e área resguardada.



Figura 40 – Portão de acesso a casa de força em bom estado



Figura 41 – Acesso para a barragem com cerca e portão

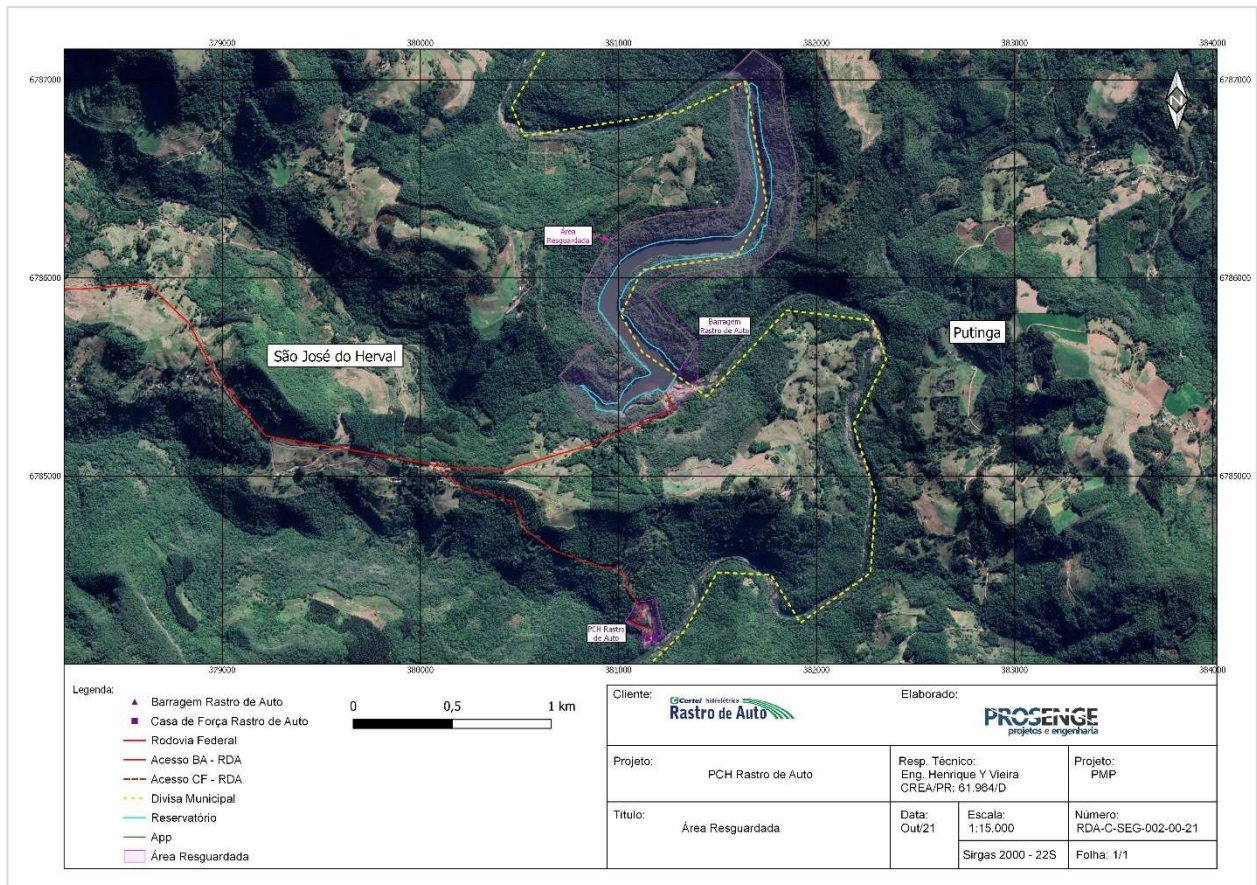


Figura 42 – Mapa da área resguardada

## 14 PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

De acordo com a classificação da Barragem, o risco da barragem é baixo e de dano potencial associado é médio, classificando a Barragem em categoria **Classe C**, não é necessário elaborar Plano de Ação de Emergências, porém foi elaborado pelo empreendedor.

Para uma barragem **Classe C** é necessário:

- Inspeção de segurança regular – Frequência anual;
- Revisão periódica de segurança – 10 anos, sendo que em 2025 foi a primeira RPS, próxima deverá ser realizada em 2035.

O Plano de Ação de Emergências (PAE) revisado em junho/2026 está apresentado no documento RDA-PAE-REV03- PCH RDA.

O PAE é parte integrante do Plano de Segurança de Barragem - PSB e estabelece as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem, em caso de situação de emergência, bem como, identifica as entidades a serem notificadas dessa ocorrência.

O Plano de Ação Emergencial é a padronização de ações em condição de emergência, que prioriza a segurança e proteção dos bens e pessoas envolvidas, alertando a população em caso de eventual acidente com risco de ruptura ou desastre devido a inundações.

O PAE envolve toda a organização da empresa, a fim de garantir a sua execução, sendo que esta assume a responsabilidade de acionamento de órgãos como a defesa civil, corpo de bombeiros, prefeituras afetadas, FEPAM, ANEEL e ANA, a fim de atender aos requisitos legais, preservar a vida e minimizar possíveis desastres.

Informamos ainda que o PAE – Plano de Ação de Emergência e, demais documentos, foram desenvolvidos seguindo todas as recomendações da Lei nº 12.334, de setembro de 2010, alterada pela Lei nº 14.066/2020 e, da Resolução Normativa nº 1064 de 02 de maio de 2023.

Sendo assim foi realizado o estudo de rompimento hipotético “dam-break” da barragem da PCH Rastro de Auto, considerando todos os cenários possíveis e respectivas manchas de inundação no rio Forqueta, no trecho de influência considerando as estruturas e benfeitorias implantadas e seus respectivos efeitos.

O Resultado desta simulação é que a barragem da PCH Salto Forqueta absorve o volume e as condições desta simulação, atendendo assim o §3º do Art. 3º da RNA nº 1.064, que cita que “A área de abrangência para avaliação do Dano Potencial Associado (Anexo II.2) que deverá compreender a região de amortecimento da cheia decorrente da ruptura, ou o reservatório da usina imediatamente a jusante, observado o disposto no Art. 6º”.

Vale acrescentar, que o PAE revisto e atualizado será disponibilizado no local do empreendimento e nas prefeituras envolvidas e/ou potencialmente afetadas, do entorno da PCH, bem como ser encaminhado às autoridades competentes e aos organismos de defesa civil.

## 15 RELATÓRIOS DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA

Deverão ser emitidos relatórios de inspeção civil utilizando os procedimentos descritos no item 10.2, ou seja, deverão seguir a frequência conforme determinada a seguir:

### 15.1 RELATÓRIO MENSAL

Deverão ser preenchidas as fichas de inspeções mensais e anotadas todas as anomalias encontradas e sua recuperação. Estas listas deverão ser arquivadas na rede interna da empresa, devendo ser informado via e-mail ao responsável técnico de barragens qualquer risco eventual verificado nas estruturas. Também durante o mês deverá ser realizado leituras da instrumentação e tabuladas nas planilhas específicas.

### 15.2 RELATÓRIO ANUAL

Durante a realização da Inspeção de Segurança (Anual) deverão ser preenchidas as fichas de inspeções (Anexo II) e deverá ser emitido relatório de inspeção recomendando reparos/manutenções necessários utilizando as Instruções de Trabalho do Anexo III.

Este relatório de inspeção de segurança regular deverá conter no mínimo as seguintes informações (Resolução 1064/2023 - ANEEL):

- I - Identificação do representante do empreendedor;
- II - Identificação do responsável técnico pela barragem;
- III - Identificação dos profissionais envolvidos e responsáveis técnicos pela realização da ISR;
- IV - Data da inspeção com a indicação das condições do tempo e do nível do reservatório;
- V - Avaliação da instrumentação disponível na barragem, com avaliação das condições de acesso, operacionalidade, frequência de leitura, armazenamento de dados, calibração e aferição dos instrumentos, indicando necessidade de manutenção, calibração, alteração de frequência de leitura, reparo ou ampliação da instrumentação, inclusive com avaliação sobre a necessidade de instrumentação caso a barragem não possua instrumentos;
- VI - Avaliação e interpretação do histórico das leituras dos instrumentos com conclusão sobre os resultados em relação aos valores de referência da instrumentação e critérios estabelecidos em projeto ou nos manuais de instrumentação para as condições atuais da estrutura, comportamento ao longo do tempo, bem como recomendações necessárias;
- VII - avaliação das inspeções rotineiras da barragem;
- VIII – avaliação dos dispositivos de controle do sistema extravasor, contemplando minimamente a análise dos testes de acionamento e a redundância no suprimento de

energia, de acordo com os procedimentos estabelecidos pelos documentos técnicos que regem as regras de operação e manutenção do empreendimento;

- IX - Identificação e avaliação de anomalias que acarretem mau funcionamento, em indícios de deterioração ou em defeitos construtivos da barragem e estruturas associadas, indicando o nível de gravidade advindo, a prioridade das intervenções e o cronograma de adequação e monitoramento para cada anomalia encontrada;
- X - Comparativo com inspeção de segurança regular anterior com relação às anomalias identificadas naquela inspeção, contendo avaliação das intervenções realizadas considerando os aspectos de eliminação das anomalias, com a indicação da respectiva data, e o cronograma proposto para aquelas ainda não solucionadas;
- XI – Avaliação, devidamente fundamentada, da necessidade de atualização do estudo da condição de estabilidade
- XII - Diagnóstico do nível de segurança da barragem, de acordo com estas categorias:

**Normal** - quando não houver anomalias ou contingências, ou as que existirem não comprometem a segurança da barragem, mas que devem ser controladas e monitoradas ou reparadas ao longo do tempo;

**Atenção** - quando as anomalias ou contingências não comprometem a segurança da barragem no curto prazo, mas exigem intensificação de monitoramento, controle ou reparo no médio ou longo prazos;

**Alerta** - quando as anomalias ou contingências representam risco à segurança da barragem, exigindo providências em curto prazo para manutenção das condições de segurança e

**Emergência** - quando as anomalias ou contingências representam risco de ruptura iminente, exigindo providências para prevenção e mitigação de danos humanos e materiais.

- XIII - indicação de quais anomalias ou contingências identificadas conduzem ao diagnóstico de segurança da barragem
- XIV - indicação de recomendações e medidas de monitoramento e reparação necessárias à garantia da segurança da barragem e manutenção do nível de segurança na condição normal.
- XV - Avaliação quanto à categoria de risco da barragem, de acordo com a classificação da RN 1064/2023.
- XVI - indicação quanto ao Dano Potencial Associado da usina.

### 15.3 RELATÓRIO ESPECIAL

Durante a realização da inspeção especial deverão ser preenchidas as fichas de inspeções anuais referente à estrutura com emergência e deverá ser emitido relatório especial da intervenção necessária. Este relatório deverá seguir mesma diretriz do relatório Anual.

## 16 REVISÕES PERIÓDICAS DE SEGURANÇA

Para garantir as necessárias condições de segurança das barragens ao longo da sua vida útil, devem ser adotadas medidas de prevenção e controle dessas condições. Essas medidas, se devidamente implementadas, asseguram uma probabilidade de ocorrência de acidente reduzida ou praticamente nula. Para isso as condições de segurança das barragens devem ser periodicamente revisadas, levando em consideração eventuais alterações resultantes do envelhecimento e deterioração das estruturas ou de outros fatores, como o aumento da ocupação nos vales a jusante, foco do serviço a ser contratado.

Desta forma neste trabalho deve ser seguido as diretrizes do art. 10 da Lei nº 12.334 de 20 de setembro de 2010, a Normativa nº 1064 de 02 de maio de 2023 da ANEEL e o Manual do empreendedor da Ana relativo à 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> ).

A revisão periódica de segurança, tem o objetivo de diagnosticar o estado geral de segurança da barragem, levando-se em conta o avanço tecnológico, a atualização de informações hidrológicas na respectiva bacia hidrográfica, de critérios de projeto e de condições de uso e ocupação do solo a montante e a jusante do empreendimento. Além disso, devem ser recomendadas medidas que se julguem necessárias para assegurar condições adequadas de operação e segurança da barragem e seus demais componentes associados.

Foi atualizado as condições de segurança da barragem, a equipe de segurança da Barragem, bem como dos procedimentos de inspeção: periodicidade, acompanhamento das estruturas e instruções de trabalho (gerais e específicas).

A revisão periódica de segurança da Barragem deverá ser de acordo com as ações adotadas pelo empreendedor para a manutenção da segurança da Barragem, compreendendo:

- Exame de toda documentação da Barragem, em particular dos relatórios de inspeção Anual;
- Exame dos procedimentos de manutenção e operação adotados pelo empreendedor;
- Análise comparativa do desempenho da Barragem em relação às revisões efetuadas anteriormente.
- Reclassificação da Barragem de acordo com Resolução Normativa nº 1064, de 02 de maio de 2023 (ANEEL).

Está prevista que a revisão e adaptação deste plano se farão necessárias quando houver alteração na estrutura do operador, na incorporação ou na equipe responsável pelas inspeções regulares e especiais (atualização dos nomes dos responsáveis pela Usina e das equipes de operação, manutenção, monitoramento e de inspeção), e por força de legislação.

Sugere-se, também, atualização nos Manuais de procedimento de inspeções de segurança e monitoramento, caso seja necessário após alguma intervenção da estrutura, como:

monitoramento de um ponto com intervenção, adição de novas listas de verificações e recomendações técnicas.

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. 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 10 em 10 anos devido ao fato de a Barragem ter sido classificada como “**Classe C**” e sempre por equipe multidisciplinar especializada em segurança de barragens.

Atualizações dos responsáveis e das equipes de operação deverão ser realizadas sempre que ocorrer a troca dos colaboradores e contatos sempre mantendo atualizados os meios de comunicação entre os profissionais atuantes na usina.

## 17 IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RISCOS, COM DEFINIÇÃO DAS HIPÓTESES E DOS CENÁRIOS POSSÍVEIS DE ACIDENTE OU DESASTRE

Como a barragem da PCH Salto Forqueta absorve a onda de cheia em qualquer simulação hipotética de rompimento da barragem da PCH Rastro de Auto utilizando-se os diversos tempos de recorrência, o efeito cascata passa a ser a condição principal e a ser monitorada pelos agentes dos dois empreendimentos.

No trecho entre a barragem da PCH Salto Forqueta e da barragem da PCH Rastro de Auto não há moradores nas áreas de inundações simuladas.

Foram simuladas no rio Forqueta na condição natural, isto é, 05 (cinco) vazões: Vazão Turbinada (Dia de Sol), TR 10, TR-100, TR 1.000, e TR 10.000 anos, para depois simular o rompimento da barragem (dam break) das PCHs nas mesmas condições de vazão com o objetivo de comparação de resultados nos diversos cenários.

As simulações foram realizadas no software HEC-RAS 6.5, considerando as manchas de inundação de jusante formadas a partir da passagem de ondas de cheia com QTurb, TR 100, TR 1.000 e TR 10.000 anos.

Algumas simulações especiais foram realizadas com o objetivo de determinar a cota de segurança (cota de proteção) das estruturas e benfeitorias localizadas a jusante do barramento (área de influência):

- Simulação 1 – Rompimento Hipotético (Dam Break) da barragem da PCH Rastro de Auto na condição de TR-10.000 anos (Usina localizada a montante da barragem da PCH Salto Forqueta);
- Simulação 2 – Rompimento Hipotético (Dam Break) da barragem da PCH Salto Forqueta na condição de TR-10.000 anos;
- **Simulação 3 – Pior Cenário Possível** - Rompimento Hipotético (Dam Break) da barragem da PCH Rastro de Auto e PCH Salto Forqueta na condição de TR-10.000 anos – **Efeito Cascata**;
- Simulação 4 – Rompimento Hipotético (Dam Break) da barragem da PCH Salto Forqueta na condição de vazão turbinada (Dia de Sol);

Na Tabela 23 e Tabela 24 estão apresentados os picos de vazão dos hidrogramas de cheias na barragem das PCHs.

Tabela 23 – Hidrogramas para PCH Salto Forqueta

TR (anos)	Pico Máximo do Hidrograma de Cheias (m <sup>3</sup> /s)
Vazão Turbinada (Dia de Sol)	22,60
10	1.200,44
100	2.327,18
1.000	3.453,92
10.000	4.580,66

Tabela 24 – Hidrogramas para PCH Rastro de Auto

TR (anos)	Pico Máximo do Hidrograma de Cheias (m <sup>3</sup> /s)
QTurb	20,06
1.000	3.263,48
10.000	4.328,10

### 17.1 CENÁRIOS DE ROMPIMENTO – SIMULAÇÃO 1

A **Simulação 1** – é caracterizada pelo Rompimento Hipotético (Dam Break) da barragem da PCH Rastro de Auto na condição de TR-10.000 anos (Usina localizada a montante da barragem da PCH Salto Forqueta);

O Resultado desta simulação é que a barragem da PCH Salto Forqueta absorve o volume e as condições desta simulação, atendendo assim o §3º do Art. 3º da RNA nº 1.064, que cita que “A área de abrangência para avaliação do Dano Potencial Associado (Anexo II.2) deverá compreender a região de amortecimento da cheia decorrente da ruptura, ou o reservatório da usina imediatamente a jusante, observado o disposto no Art. 6º”.

A Tabela 25 apresenta os resultados dos níveis de água obtidos na Barragem, Casa de Força e Ponte de jusante na jusante da PCH Salto Forqueta somente com a consideração de enchente, sem rompimento da Barragem de Rastro de Auto nos diferentes tempos de recorrência considerados.

Não ocorre inundação das Barragens e Casas de Força das PCHs Rastro de Auto e Salto Forqueta em condições enchentes. Já ocorre inundação da ponte a jusante da PCH Salto Forqueta a partir da TR 10 anos.

Tabela 25 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Rastro de Auto sem rompimento da Barragem

Estrutura	Distância em relação Barragem Rastro de Auto (km)	Cota de Proteção (m)	Qturb	1.000 ANOS	10.000 ANOS
			NA Máximo Enchente (m)		
Barragem Rastro de Auto	0,00	257,10	250,17	254,94	256,09
Casa de Força Rastro de Auto	4,26	218,50	207,14	214,88	217,34
Barragem Salto Forqueta	7,90	213,30	206,97	211,52	212,48
Casa de Força Salto Forqueta	10,84	187,50	172,48	183,62	185,14
Ponte Jusante	12,31	168,98	165,47	174,58	176,32

(\*) Destacados em vermelho ocorre inundação

A Tabela 26 apresenta os resultados dos níveis de água obtidos nas Barragens, Casa de Força e Ponte de jusante com a consideração do rompimento da Barragem de Rastro de Auto. Ocorreram inundações somente na ponte jusante.

Tabela 26 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Rastro de Auto com rompimento da Barragem

Estrutura	Distância em relação Barragem Rastro de Auto (km)	Cota de Proteção (m)	Qturb	1.000 ANOS	10.000 ANOS
			NA Máximo Rompimento (m)		
Barragem Rastro de Auto	0,00	257,10	250,17	254,93	256,09
Casa de Força Rastro de Auto	4,26	218,50	210,64	215,47	216,65
Barragem Salto Forqueta	7,90	213,30	208,08	211,83	212,76
Casa de Força Salto Forqueta	10,84	187,50	176,04	183,98	185,54
Ponte Jusante	12,31	168,98	168,55	175,01	176,71

(\*) Destacados em vermelho ocorre inundação

A Tabela 30 apresenta os resultados dos níveis de água obtidos na Barragem da PCH RDA, Casa de Máquinas da PCH RDA e Barragem da PCH SFQ na condição de enchente mais crítica que é a TR-10.000 anos, apresentando também os resultados sem considerar o rompimento (condição natural) e considerando o rompimento hipotético (dam break).

## 17.2 CENÁRIO DE ROMPIMENTO – SIMULAÇÃO 2

A **Simulação 2** – é caracterizada pelo Rompimento Hipotético (Dam Break) da barragem da PCH Salto Forqueta na condição de TR-10.000 anos;

A Tabela 31 apresenta os resultados dos níveis de água obtidos em todas as estruturas e benfeitorias identificadas a jusante (área de influência), e na condição de enchente mais crítica que é a TR-10.000 anos, apresentando os resultados sem considerar o rompimento (condição natural) e considerando o rompimento hipotético (dam break).

A Tabela 27 apresenta os resultados dos níveis de água obtidos na Barragem, Casa de Máquinas e Ponte de jusante na jusante da PCH Salto Forqueta somente com a consideração de enchente, sem rompimento da Barragem nos diferentes tempos de recorrência considerados.

Não ocorre inundação da Casa de Máquinas das PCH Salto Forqueta em condições enches. A inundação da ponte a jusante da PCH Salto Forqueta é atingida com tempo de recorrência baixos e a mesma foi projetada para ficar submersa na ocorrência de cheias, que tão logo dissipadas a mesma tem o seu trânsito reestabelecido.

Tabela 27 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Salto Forqueta sem rompimento da Barragem

Estrutura	Distância em relação Barragem Salto Forqueta (m)	Cota de Proteção (m)	NA Máximo Enchente (m)				
			Vazão Turbinada (Dia de Sol)	10 ANOS	100 ANOS	1000 ANOS	10000 ANOS
BARRAGEM PCH *SFQ	0	213,30	207,10	209,91	211,14	211,12	211,80
CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	2900	190,55	176,19	181,71	184,71	186,10	187,10
PONTE RIO FORQUETA	4403	168,98	170,41	172,12	173,21	175,65	181,23

\*PCH SFQ = PCH Salto Forqueta

A Tabela 28 apresenta os resultados dos níveis de água obtidos na Barragem, Casa de Máquinas e Ponte de jusante com a consideração do rompimento da Barragem.

Tabela 28 – Dados dos níveis nas estruturas da PCH Salto Forqueta com rompimento da Barragem

Estrutura	Distância em relação Barragem Salto Forqueta (m)	Cota de Proteção (m)	NA Máximo Rompimento (m)				
			Vazão Turbinada (Dia de Sol)	10 ANOS	100 ANOS	1000 ANOS	10000 ANOS
BARRAGEM PCH *SFQ	0	213,30	207,21	209,97	211,30	211,95	212,31
CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	2900	190,55	177,21	183,32	186,22	187,35	187,50
PONTE RIO FORQUETA	4403	168,98	171,81	175,01	178,48	180,18	181,39

\*PCH SFQ = PCH Salto Forqueta

A Tabela 29 é um resumo do resultado dos estudos considerando a Casa de Máquinas da PCH SFQ e a Ponte Municipal localizada a jusante do barramento.

Tabela 29 – Níveis Estruturas – Natural e com rompimento Barragem Salto Forqueta

ESTRUTURA	CONDIÇÃO	Cota de Proteção (m)	NA Máximo Rompimento (m)				
			Vazão Turbinada (dia de sol)	10 ANOS	100 ANOS	1000 ANOS	10000 ANOS
CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	Cheia sem rompimento	190,55	176,19	181,71	184,71	186,10	187,10
	Com rompimento barragem		177,21	183,32	186,22	187,35	187,50
PONTE RIO FORQUETA	Cheia sem rompimento	168,98	170,41	172,12	173,21	175,65	181,23
	Com rompimento barragem		171,81	175,01	178,48	180,18	181,39

(\*) Destacados em vermelho ocorre inundação

### 17.3 CENÁRIO DE ROMPIMENTO EM CASCATA – SIMULAÇÃO 3 – PIOR CENÁRIO POSSÍVEL

A **Simulação 3 – Pior Cenário Possível** – é caracterizada pelo Rompimento Hipotético (Dam Break) da barragem da PCH Rastro de Auto e da barragem da PCH Salto Forqueta na condição de TR-10.000 anos – **Efeito Cascata**;

A Tabela 32 e Tabela 33 apresentam os resultados dos níveis de água obtidos em todas as estruturas e benfeitorias identificadas a jusante (área de influência), e na condição de enchente mais crítica que é a TR-10.000 anos, apresentando os resultados sem considerar o rompimento (condição natural) e considerando o rompimento hipotético (dam break).

#### **17.4 CENÁRIO DE ROMPIMENTO – SIMULAÇÃO 4**

A **Simulação 4** – Rompimento Hipotético (Dam Break) da barragem da PCH Salto Forqueta na condição de vazão turbinada (Dia de Sol);

A Tabela 34 até a Tabela 39 apresentam os resultados dos níveis de água obtidos em todas as estruturas e benfeitorias identificadas a jusante (área de influência), na condição natural e operacional da usina, apresentando também os resultados sem considerar o rompimento (condição natural) e considerando o rompimento hipotético (dam break).

O estudo foi realizado nas diversas ocorrências e variação do tempo de recorrência considerando somente a partir da barragem da PCH Salto Forqueta, pois a comunidade de terceiros que poderá ser afetada está localizada a jusante desta.

### **18 MAPA DE INUNDAÇÃO, CONSIDERANDO PIOR CENÁRIO IDENTIFICADO**

O mapa de inundação para pior cenário – Simulação 3, rompimento com enchente de TR 10.000 anos está apresentado no Anexo I – Mapa de Inundação – TR 10.000 Anos – Dam Break, e também no Anexo V do Plano de Ação de Emergência (RDA-PAE-REV03-2026 PCH RDA).

Tabela 30 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break – Simulação 1 – Rompimento Hipotético da Barragem da PCH Rastro de Auto

ÁREA DE INFLUÊNCIA À JUSANTE DA BARRAGEM PCH RASTRO DE AUTO - SEM ROMPIMENTO					SIMULAÇÃO 1 - ROMPIMENTO HIPOTÉTICO DA BARRAGEM DA PCH RASTRO DE AUTO					
Local	Descrição	Distância em relação Barragem PCH Rastro de Auto (m)	N.A. Máximo TR10.000 (m)	Cota de Proteção (m)	NA Máximo Rompimento (m)	Altura Máx. da Onda acima da Proteção existente (m)	Tempo de Início da Onda (hh:mm)	Tempo de Pico Onda (hh:mm)	Duração (hh:mm)	Velocidade Máx (m/s)
					Dam Break					
0	BARRAGEM *PCH RDA	0	256,09	257,10	256,09	-1,01	00:00	00:08	02:05	6,8
1	CASA DE MÁQUINAS *PCH RDA	4215	217,34	218,50	217,34	-1,16	00:05	00:13	02:10	6,34
2	BARRAGEM *PCH SFQ	7886	211,80	213,30	212,26	-1,04	00:08	00:13	02:15	5,23

\*PCH SFQ - PCH SALTO FORQUETA

\*PCH RDA – PCH RASTRO DE AUTO

Tabela 31 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break – Simulação 2 – Rompimento Hipotético da Barragem da PCH Salto Forqueta

ÁREA DE INFLUÊNCIA À JUSANTE DA BARRAGEM PCH SALTO FORQUETA - SEM ROMPIMENTO					SIMULAÇÃO 2 - ROMPIMENTO HIPOTÉTICO DA BARRAGEM DA PCH SALTO FORQUETA					
Local	Descrição	Distância em relação Barragem PCH Salto Forqueta (m)	N.A. Máximo TR10.000 (m)	Cota de Proteção (m)	NA Máximo Rompimento (m)	Altura Máx. da Onda acima da Proteção existente (m)	Tempo de Início da Onda (hh:mm)	Tempo de Pico Onda (hh:mm)	Duração (hh:mm)	Velocidade Máx (m/s)
					Dam Break					
0	BARRAGEM PCH *SFQ	0	211,80	213,30	212,31	-0,99	00:00	00:13	02:15	7,6
1	CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	2900	187,10	190,55	187,50	-3,05	00:00	00:13	02:15	6,94
2	PROPRIEDADE 01	3174	186,94	192,00	187,49	-4,51	00:00	00:14	02:15	6,18
3	PROPRIEDADE 02	3215	186,77	188,60	187,41	-1,19	00:00	00:14	02:15	6,13
4	PROPRIEDADE 03	3234	186,68	190,71	187,38	-3,33	00:00	00:14	02:15	5,95
5	PROPRIEDADE 04	3280	186,51	187,41	187,35	-0,06	00:00	00:14	02:15	5,69
6	PROPRIEDADE 05	3306	186,47	190,21	187,32	-2,89	00:00	00:14	02:15	5,45
7	PROPRIEDADE 06 (Não existe mais)	4350	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PONTE RIO FORQUETA	4403	181,23	168,98	182,01	13,03	00:00	00:17	02:30	4,65

9	LIMITE ZAS	10055	149,22	-	150,39	-	00:06	00:26	02:55	4,1
10	PROPRIEDADE 07 (Não existe mais)	17944	-	-	-	-	-	-	-	-
11	PROPRIEDADE 08	20215	109,13	110,62	110,14	-0,48	00:11	00:50	03:00	3,29
12	PROPRIEDADE 09 (Não existe mais)	21700	-	-	-	-	-	-	-	-
13	PROPRIEDADE 10	22786	98,21	98,73	99,17	0,44	00:15	01:18	03:00	2,97
14	PROPRIEDADE 11	23065	97,16	97,85	97,77	-0,08	00:15	01:18	03:00	2,84
15	PROPRIEDADE 12	23179	96,51	98,16	97,45	-0,71	00:15	01:18	03:00	2,55
16	PROPRIEDADE 13	23257	96,02	100,15	97,06	-3,09	00:15	01:18	03:00	2,47
17	PROPRIEDADE 14 (Não existe mais)	23287	-	-	-	-	-	-	-	-
18	PROPRIEDADE 15	23545	95,50	-	96,62	-	00:15	01:18	03:00	2,18
19	PROPRIEDADE 16	23820	95,04	98,41	96,02	-2,39	00:15	01:18	03:00	2,09
20	LIMITE ZSS	23977	90,84	-	91,35	-	00:15	01:18	03:00	2,01

\*PCH SFQ - PCH SALTO FORQUETA

\*PCH RDA – PCH RASTRO DE AUTO

Tabela 32 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - **Simulação 3 – Pior Cenário Possível** - Rompimento Hipotético da Barragem da PCH Rastro de Auto e PCH Salto Forqueta

ÁREA DE INFLUÊNCIA À JUSANTE DA BARRAGEM PCH RASTRO DE AUTO - SEM ROMPIMENTO					SIMULAÇÃO 3 - ROMPIMENTO HIPOTÉTICO DA BARRAGEM DA *PCH RDA E *PCH SFQ					
Local	Descrição	Distância em relação Barragem PCH Rastro de Auto (m)	N.A. Máximo TR10.000 (m)	Cota de Proteção (m)	NA Máximo Rompimento (m)	Altura Máx. da Onda acima da Proteção existente (m)	Tempo de Início da Onda (hh:mm)	Tempo de Pico Onda (hh:mm)	Duração (hh:mm)	Velocidade Máx (m/s)
					Dam Break					
0	BARRAGEM *PCH RDA	0	256,09	257,10	255,85	-3,25	00:00	00:08	02:05	6,8
1	CASA DE MÁQUINAS *PCH RDA	4215	216,96	218,34	217,34	-1,00	00:05	00:13	02:10	6,34
2	BARRAGEM *PCH SFQ	7886	211,80	213,30	212,31	-0,99	00:08	00:13	02:15	6,31

\*PCH SFQ - PCH SALTO FORQUETA

\*PCH RDA – PCH RASTRO DE AUTO

Tabela 33 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Simulação 3 – Rompimento Hipotético da Barragem da PCH Rastro de Auto e PCH Salto Forqueta

ÁREA DE INFLUÊNCIA À JUSANTE DA BARRAGEM PCH SALTO FORQUETA - SEM ROMPIMENTO					SIMULAÇÃO 3 - ROMPIMENTO HIPOTÉTICO DA BARRAGEM DA *PCH RDA E *PCH SFQ					
Local	Descrição	Distância em relação Barragem PCH Salto Forqueta (m)	N.A. Máximo TR10.000 (m)	Cota de Proteção (m)	NA Máximo Rompimento (m)	Altura Máx. da Onda acima do N.A. MÁX existente (m)	Tempo de Início da Onda (hh:mm)	Tempo de Pico Onda (hh:mm)	Duração (hh:mm)	Velocidade Máx (m/s)
					Dam Break					
0	BARRAGEM PCH *SFQ	0	211,80	213,30	212,31	-0,99	00:08	00:13	02:15	6,31
1	CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	2900	187,10	190,55	187,55	-3,00	00:10	00:13	02:15	6,25
2	PROPRIEDADE 01	3174	186,94	192,00	189,36	-2,64	00:10	00:14	02:15	6,2
3	PROPRIEDADE 02	3215	186,77	188,60	189,38	0,78	00:10	00:14	02:15	6,13
4	PROPRIEDADE 03	3234	186,68	190,71	189,34	-1,37	00:10	00:14	02:15	6,15
5	PROPRIEDADE 04	3280	186,51	187,41	189,09	1,68	00:11	00:14	02:15	6,11
6	PROPRIEDADE 05	3306	186,47	190,21	189,03	-1,18	00:11	00:14	02:15	6,05
7	PROPRIEDADE 06 (Não Existe mais)	4350	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PONTE RIO FORQUETA	4403	181,23	168,98	182,16	13,18	00:13	00:17	02:30	5,36
9	LIMITE ZAS	10055	149,22	-	150,54	-	00:16	00:26	02:55	4,97
10	PROPRIEDADE 07 (Não existe mais)	17944	-	-	-	-	-	-	-	-
11	PROPRIEDADE 08	20215	109,13	110,62	110,29	-0,33	00:20	00:50	03:00	4,51
12	PROPRIEDADE 09 (Não existe mais)	21700	-	-	-	-	-	-	-	-
13	PROPRIEDADE 10	22786	98,21	98,73	99,32	0,59	00:23	01:18	03:00	3,74
14	PROPRIEDADE 11	23065	97,16	97,85	97,92	0,07	00:24	01:18	03:00	3,28
15	PROPRIEDADE 12	23179	96,51	98,16	97,60	-0,56	00:24	01:18	03:00	3,12
16	PROPRIEDADE 13	23257	96,02	100,15	97,21	-2,94	00:25	01:18	03:00	3,06
17	PROPRIEDADE 14 (Não existe mais)	23287	-	-	-	-	-	-	-	-
18	PROPRIEDADE 15	23545	95,50	-	96,77	-	00:25	01:18	03:00	2,94
19	PROPRIEDADE 16	23820	95,04	98,41	96,17	-2,24	00:25	01:18	03:00	2,86
20	LIMITE ZSS	23977	90,84	-	91,50	-	00:26	01:18	03:00	2,67

\*PCH SFQ - PCH SALTO FORQUETA / \*PCH RDA – PCH RASTRO DE AUTO

Tabela 34 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para QTurb – Dia de Sol

ÁREA DE INFLUÊNCIA À JUSANTE DA BARRAGEM PCH SALTO FORQUETA - SEM ROMPIMENTO					SIMULAÇÃO 4 - ROMPIMENTO HIPOTÉTICO DA BARRAGEM DA PCH SALTO FORQUETA - VAZÃO TURBINADA (Dia de Sol)					
Local	Descrição	Distância em relação Barragem PCH Salto Forqueta (m)	N.A. Máximo TR10.000 (m)	Cota de Proteção (m)	NA Máximo Rompimento (m)	Altura Máx. da Onda acima da Proteção existente (m)	Tempo de Início da Onda (hh:mm)	Tempo de Pico Onda (hh:mm)	Duração (hh:mm)	Velocidade Máx (m/s)
					Dam Break					
0	BARRAGEM PCH *SFQ	0	211,80	213,30	206,80	-6,50	00:00	00:13	02:15	1,55
1	CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	2900	187,10	190,55	177,21	-13,34	00:00	00:13	02:15	1,81
2	PROPRIEDADE 01	3174	186,94	192,00	177,03	-14,97	00:00	00:14	02:15	1,87
3	PROPRIEDADE 02	3215	186,77	188,60	177,02	-11,58	00:00	00:14	02:15	1,55
4	PROPRIEDADE 03	3234	186,68	190,71	176,99	-13,72	00:00	00:14	02:15	1,52
5	PROPRIEDADE 04	3280	186,51	187,41	176,97	-10,44	00:00	00:14	02:15	1,47
6	PROPRIEDADE 05	3306	186,47	190,21	176,96	-13,25	00:00	00:14	02:15	1,35
7	PROPRIEDADE 06 (Não existe mais)	4350	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PONTE RIO FORQUETA	4403	181,23	168,98	171,81	2,83	00:00	00:17	02:30	3,28
9	LIMITE ZAS	10055	149,22	-	141,51	-	00:06	00:26	02:55	3,47
10	PROPRIEDADE 07 (Não existe mais)	17944	-	-	-	-	-	-	-	-
11	PROPRIEDADE 08	20215	109,13	110,62	99,87	-10,75	00:11	00:50	03:00	3,79
12	PROPRIEDADE 09 (Não existe mais)	21700	-	-	-	-	-	-	-	-
13	PROPRIEDADE 10	22786	98,21	98,73	87,92	-10,81	00:15	01:18	03:00	2,1
14	PROPRIEDADE 11	23065	97,16	97,85	86,68	-11,17	00:15	01:18	03:00	1,94
15	PROPRIEDADE 12	23179	96,51	98,16	86,56	-11,60	00:15	01:18	03:00	1,97
16	PROPRIEDADE 13	23257	96,02	100,15	86,43	-13,72	00:15	01:18	03:00	1,81
17	PROPRIEDADE 14 (Não existe mais)	23287	-	-	-	-	-	-	-	-
18	PROPRIEDADE 15	23545	95,50	-	86,13	-	00:15	01:18	03:00	1,21
19	PROPRIEDADE 16	23820	95,04	98,41	85,65	-12,76	00:15	01:18	03:00	1,31
20	LIMITE ZSS	23977	90,84	-	84,58	-	00:15	01:18	03:00	0,95

Tabela 35 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para QTurb – Dia de Sol

Local	Descrição	Distância da Barragem PCH Salto Forqueta (m)	Qturbinada (dia de sol)							
			Nível de água (m)		Altura Máxima Onda (m)	Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx (m³/s)
			QTurb	Dam Break		início Onda	Pico Onda	Duração		
1	CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	2900	176,19	177,21	1,02	0:00	0:13	2:50	1,81	48,72
2	PROPRIEDADE 01	3174	176,08	177,03	0,95	0:00	0:13	2:40	1,87	48,25
3	PROPRIEDADE 02	3215	176,07	177,02	0,95	0:00	0:14	2:40	1,55	48,15
4	PROPRIEDADE 03	3234	176,06	176,99	0,93	0:00	0:14	2:40	1,52	48,13
5	PROPRIEDADE 04	3280	176,05	176,97	0,92	0:00	0:14	2:40	1,47	48,09
6	PROPRIEDADE 05	3306	176,04	176,96	0,92	0:00	0:14	2:40	1,35	48,01
7	PROPRIEDADE 06 (não existe mais)	4350	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PONTE RIO FORQUETA	4403	170,41	171,81	1,40	0:00	0:17	2:35	3,28	42,56
9	LIMITE ZAS	10055	140,21	141,51	1,30	0:06	0:26	2:55	3,47	40,21
10	PROPRIEDADE 07 (não existe mais)	17944	-	-	-	-	-	-	-	-
11	PROPRIEDADE 08	20215	98,17	99,87	1,70	0:11	0:50	3:10	3,79	32,89
12	PROPRIEDADE 09 (não existe mais)	21700	-	-	-	-	-	-	-	-
13	PROPRIEDADE 10	22786	86,78	87,92	1,14	0:15	1:20	3:00	2,10	29,18
14	PROPRIEDADE 11	23065	86,14	86,68	0,54	0:15	1:20	3:00	1,94	29,04
15	PROPRIEDADE 12	23179	86,07	86,56	0,49	0:15	1:20	3:10	1,97	28,84
16	PROPRIEDADE 13	23257	85,99	86,43	0,44	0:15	1:20	3:10	1,81	28,38
17	PROPRIEDADE 14 (não existe mais)	23287	-	-	-	-	-	-	-	-
18	PROPRIEDADE 15	23545	85,72	86,13	0,41	0:15	1:25	3:10	1,21	27,92
19	PROPRIEDADE 16	23820	85,37	85,65	0,28	0:15	1:25	3:10	1,31	27,56
20	LIMITE ZSS	23977	84,34	84,58	0,24	0:15	1:25	3:10	0,95	26,74

\*PCH SFQ - PCH SALTO FORQUETA

Tabela 36 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 10 anos

Local	Descrição	Distância da Barragem PCH Salto Forqueta (m)	Vazão TR 10 anos							
			Nível de água (m)		Altura Máxima Onda (m)	Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx (m³/s)
			Cheia	Dam Break		início Onda	Pico Onda	Duração		
1	CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	2900	181,71	183,32	1,61	0:00	0:13	2:50	2,05	3268,32
2	PROPRIEDADE 01	3174	181,23	182,66	1,43	0:00	0:14	2:50	2,03	3222,98
3	PROPRIEDADE 02	3215	181,10	182,64	1,54	0:00	0:14	2:50	1,85	3219,50
4	PROPRIEDADE 03	2234	180,93	182,60	1,67	0:00	0:14	2:50	1,86	3218,27
5	PROPRIEDADE 04	3280	180,62	182,57	1,95	0:00	0:14	2:50	1,38	3217,44
6	PROPRIEDADE 05	3306	180,57	182,37	1,80	0:00	0:14	2:50	2,43	3216,67
7	PROPRIEDADE 06 (Não existe mais)	4350	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PONTE RIO FORQUETA	4403	172,12	175,01	2,89	0:00	0:17	2:40	5,06	3010,34
9	LIMITE ZAS	10055	141,04	144,07	3,03	0:06	0:26	3:00	5,81	2768,38
10	PROPRIEDADE 07 (Não existe mais)	17944	-	-	-	-	-	-	-	-
11	PROPRIEDADE 08	20215	100,98	102,92	1,94	0:11	0:50	3:12	5,24	2324,59
12	PROPRIEDADE 09 (Não existe mais)	21700	-	-	-	-	-	-	-	-
13	PROPRIEDADE 10	22786	91,40	92,74	1,34	0:15	1:25	3:15	3,11	2195,73
14	PROPRIEDADE 11	23065	91,37	91,90	0,53	0:15	1:25	3:15	2,25	2155,75
15	PROPRIEDADE 12	23179	90,94	91,59	0,65	0:15	1:25	3:15	2,35	2107,94
16	PROPRIEDADE 13	23257	90,78	91,16	0,38	0:15	1:25	3:15	2,60	2102,63
17	PROPRIEDADE 14 (Não existe mais)	23287	-	-	-	-	-	-	-	-
18	PROPRIEDADE 15	23545	90,23	90,61	0,38	0:15	1:25	3:15	2,85	2010,35
19	PROPRIEDADE 16	23820	89,87	90,16	0,29	0:15	1:25	3:15	1,94	1950,29
20	LIMITE ZSS	23977	86,25	86,47	0,22	00:15	01:25	03:15	1,04	1824,89

\*PCH SFQ - PCH SALTO FORQUETA

Tabela 37 – Resultados Obtidos - Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 100 anos

Local	Descrição	Distância da Barragem PCH Salto Forqueta (m)	Vazão TR 100 anos							
			Nível de água (m)		Altura Máxima Onda (m)	Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx (m³/s)
			Cheia	Dam Break		início Onda	Pico Onda	Duração		
1	CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	2900	184,71	186,22	1,51	0:00	0:13	2:20	6,21	3745,60
2	PROPRIEDADE 01	3174	183,27	185,97	2,70	0:00	0:14	2:20	2,52	3722,28
3	PROPRIEDADE 02	3215	183,38	185,66	2,28	0:00	0:14	2:20	2,17	3710,48
4	PROPRIEDADE 03	2234	183,03	185,64	2,61	0:00	0:14	2:20	2,14	3709,78
5	PROPRIEDADE 04	3280	183,09	185,63	2,54	0:00	0:14	2:20	2,84	3698,40
6	PROPRIEDADE 05	3306	183,05	185,25	2,20	0:00	0:14	2:20	3,58	3688,20
7	PROPRIEDADE 06 (Não existe mais)	4350	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PONTE RIO FORQUETA	4403	173,21	178,48	5,27	0:00	0:17	2:25	5,30	3491,69
9	LIMITE ZAS	10055	144,19	146,71	2,52	0:06	0:26	2:50	6,95	3201,88
10	PROPRIEDADE 07 (Não existe mais)	17944	-	-	-	-	-	-	-	-
11	PROPRIEDADE 08	20215	104,78	106,62	1,84	0:11	0:50	2:55	5,80	2758,31
12	PROPRIEDADE 09 (Não existe mais)	21700	-	-	-	-	-	-	-	-
13	PROPRIEDADE 10	22786	94,59	95,80	1,21	0:15	1:20	2:55	3,96	2579,85
14	PROPRIEDADE 11	23065	93,98	94,52	0,54	0:15	1:20	2:55	2,65	2531,24
15	PROPRIEDADE 12	23179	93,55	94,19	0,64	0:15	1:20	2:55	2,78	2518,47
16	PROPRIEDADE 13	23257	93,10	93,39	0,29	0:15	1:20	2:55	2,87	2497,66
17	PROPRIEDADE 14 (Não existe mais)	23287	-	-	-	-	-	-	-	-
18	PROPRIEDADE 15	23545	92,45	92,85	0,40	0:15	1:20	2:55	3,05	2462,01
19	PROPRIEDADE 16	23820	92,02	92,32	0,30	0:15	1:20	2:55	2,49	2420,37
20	LIMITE ZSS	23977	87,95	88,13	0,18	00:15	01:20	02:55	1,25	2320,53

Tabela 38 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 1.000 anos

Local	Descrição	Distância da Barragem PCH Salto Forqueta (m)	Vazão TR 1.000 anos							
			Nível de água (m)		Altura Máxima Onda (m)	Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx (m³/s)
			Cheia	Dam Break		início Onda	Pico Onda	Duração		
1	CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	2900	185,95	187,35	1,40	0:00	0:13	2:15	8,60	4081,29
2	PROPRIEDADE 01	3174	185,93	187,21	1,28	0:00	0:14	2:15	2,79	3970,28
3	PROPRIEDADE 02	3215	185,91	187,18	1,27	0:00	0:14	2:15	2,37	3953,12
4	PROPRIEDADE 03	2234	185,83	187,13	1,30	0:00	0:14	2:15	2,32	3947,67
5	PROPRIEDADE 04	3280	185,52	187,05	1,53	0:00	0:14	2:15	2,18	3927,28
6	PROPRIEDADE 05	3306	185,46	186,98	1,52	0:00	0:14	2:15	3,51	3905,21
7	PROPRIEDADE 06 (Não Existe mais)	4350	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PONTE RIO FORQUETA	4403	177,00	180,18	3,18	0:00	0:17	2:30	6,21	3866,68
9	LIMITE ZAS	10055	146,21	148,64	2,43	0:06	0:26	2:55	7,26	3521,61
10	PROPRIEDADE 07 (Não existe mais)	17944	-	-	-	-	-	-	-	-
11	PROPRIEDADE 08	20215	106,43	108,45	2,02	0:11	0:50	3:00	6,31	3029,54
12	PROPRIEDADE 09 (Não existe mais)	21700	-	-	-	-	-	-	-	-
13	PROPRIEDADE 10	22786	96,33	97,52	1,19	0:15	1:18	3:00	4,83	3001,20
14	PROPRIEDADE 11	23065	95,74	96,14	0,40	0:15	1:18	3:00	2,88	2992,35
15	PROPRIEDADE 12	23179	95,36	95,84	0,48	0:15	1:18	3:00	3,06	2984,59
16	PROPRIEDADE 13	23257	95,00	95,46	0,46	0:15	1:18	3:00	2,99	2980,31
17	PROPRIEDADE 14 (Não existe mais)	23287	-	-	-	-	-	-	-	-
18	PROPRIEDADE 15	23545	94,60	95,05	0,45	0:15	1:18	3:00	2,98	2963,57
19	PROPRIEDADE 16	23820	94,05	94,47	0,42	0:15	1:18	3:00	2,88	2941,29
20	LIMITE ZSS	23977	89,44	89,81	0,37	00:15	01:18	03:00	1,55	2827,31

\*PCH SFQ - PCH SALTO FORQUETA

Tabela 39 – Resultados Obtidos- Cheia Natural e com Dam Break - Rompimento da PCH Salto Forqueta para TR 10.000 anos

Estaca	Descrição	Distância da Barragem PCH Salto Forqueta (m)	Vazão TR 10.000 anos							
			Nível de água (m)		Altura Máxima Onda (m)	Tempo (hh:mm)			Velocidade Máx (m/s)	Vazão Máx (m³/s)
			Cheia	Dam Break		início Onda	Pico Onda	Duração		
1	CASA DE MÁQUINAS *PCH SFQ	2900	187,10	187,50	0,40	00:00	00:13	02:15	6,94	4910,59
2	PROPRIEDADE 01	3174	186,94	187,49	0,55	00:00	00:14	02:15	6,18	4799,58
3	PROPRIEDADE 02	3215	186,77	187,41	0,64	00:00	00:14	02:15	6,13	4782,42
4	PROPRIEDADE 03	3234	186,68	187,38	0,70	00:00	00:14	02:15	5,95	4776,97
5	PROPRIEDADE 04	3280	186,51	187,35	0,84	00:00	00:14	02:15	5,69	4756,58
6	PROPRIEDADE 05	3306	186,47	187,32	0,85	00:00	00:14	02:15	5,45	4734,51
7	PROPRIEDADE 06 (Não Existe mais)	4350	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PONTE RIO FORQUETA	4403	181,23	182,01	0,78	00:00	00:17	02:30	4,65	4695,98
9	LIMITE ZAS	10055	149,22	150,39	1,17	00:06	00:26	02:55	4,10	4350,91
10	PROPRIEDADE 07 (Não existe mais)	17944	-	-	-	-	-	-	-	-
11	PROPRIEDADE 08	20215	109,13	110,14	1,01	00:11	00:50	03:00	3,29	3858,84
12	PROPRIEDADE 09 (Não existe mais)	21700	-	-	-	-	-	-	-	-
13	PROPRIEDADE 10	22786	98,21	99,17	0,96	00:15	01:18	03:00	2,97	3830,50
14	PROPRIEDADE 11	23065	97,16	97,77	0,61	00:15	01:18	03:00	2,84	3821,65
15	PROPRIEDADE 12	23179	96,51	97,45	0,94	00:15	01:18	03:00	2,55	3813,89
16	PROPRIEDADE 13	23257	96,02	97,06	1,04	00:15	01:18	03:00	2,47	3809,61
17	PROPRIEDADE 14 (Não existe mais)	23287	-	-	-	-	-	-	-	-
18	PROPRIEDADE 15	23545	95,50	96,62	1,12	00:15	01:18	03:00	2,18	3792,87
19	PROPRIEDADE 16	23820	95,04	96,02	0,98	00:15	01:18	03:00	2,09	3770,59
20	LIMITE ZSS	23977	90,84	91,35	0,51	00:15	01:18	03:00	2,01	3656,61

\*PCH SFQ - PCH SALTO FORQUETA

## 19 EQUIPE TÉCNICA

Nome	Formação	Função
Elizeu Riba	Engenharia Civil	Responsável Técnico dos Estudos / Hidráulica / Estruturas – Segurança de Barragens / Estudos Hidrológicos
Gabriel Elizeu Riba	Engenharia Civil	Estruturas/Hidráulica – Segurança de Barragem

A Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) do Responsável técnico dos trabalhos está apresentada no Anexo V.

## 20 BIBLIOGRAFIA

**Relatório RDA-C-PSB-001-00-25 PSB PCH Rastro de Auto – PROSENGE – Projetos e Engenharia – 10/03/2025**

**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.

- 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° 1064, de 02 de maio de 2023 - Estabelece critérios e ações de segurança de barragens associadas a usinas hidrelétricas fiscalizadas pela ANEEL de acordo com o que determina a Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010.

Lei n° 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Alterada pela Lei Federal n° 14.066/2020.

**Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas** – Eletrobrás – Outubro/2003

Site **SNISB** – Documentos e Capacitações - <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/documentos-e-capacitacoes?tipo=documento&id=68>

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 Jauru, 2003.

ANA - 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>).

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: <http://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, Goiás, 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 Goiás.

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

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

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

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

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

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

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

## 21 ANEXOS

ANEXO I – DOCUMENTOS DE PROJETO

ANEXO II – FICHAS DE INSPEÇÕES

- Inspeções rotineiras – mensais
- Inspeções regulares –anuais e especiais

ANEXO III – INSTRUÇÕES DE TRABALHO

ANEXO IV – TREINAMENTO EQUIPE INTERNA - OPERADOR

ANEXO V – ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

ANEXO VI – DECLARAÇÃO ESTABILIDADE DA BARRAGEM

ANEXO VII – RELATÓRIOS DE INSPEÇÃO DE SEGURANÇA REGULAR (ISR) E ESPECIAL

ANEXO VIII – REVISÃO PERIÓDICA DE SEGURANÇA

