



PLANO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM PCH TOCA DO TIGRE



PROSENGE
projetos e engenharia

TTG-C-PSB-001-01-24

DEZEMBRO/2024

Diretor: Cristiano Johannpeter
CJ Hydro – Geração de
Energia S.A.

Resp. Técnico Seg. Barragem:
Eng. Civil Henrique Yabrudi Vieira
Eng. Civil – CREA/RS: PR061964

Resp. PSB: Henrique Yabrudi
Vieira – Prosenge
Eng. Civil - CREA/RS: PR061964

01	18/12/24	Revisado de acordo RN 1064/23	PBE	Prosenge Projetos Eng.
00	17/11/22	Emissão inicial	PBE	Prosenge Projetos Eng.
Revisão	Data	Objeto da revisão	Red	Empresa

1	INTRODUÇÃO	6
2	HISTÓRICO.....	6
2.1	Objetivo	6
2.2	Organização do Relatório	7
3	IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR	9
4	DADOS TÉCNICOS DO EMPREENDIMENTO E NECESSÁRIOS PARA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS BARRAGENS.....	11
4.1	Características Técnicas da Usina	11
4.1.1	Localização e acessos	14
4.1.2	Reservatório	15
4.1.3	Barragem.....	16
4.1.4	Vertedouro	18
4.2	Circuito Hidráulico de Adução e Geração	20
4.2.1	Tomada de Água	20
4.2.2	Túnel de Adução	21
4.2.3	Chaminé de Equilíbrio	21
4.2.4	Conduto Forçado	21
4.2.5	Casa de Força e Canal de Fuga	22
4.3	Equipamentos Eletromecânicos	23
4.3.1	Turbinas.....	23
4.3.2	Gerador	23
4.3.3	Conexão	24
4.4	Características hidrológicas, geológicas e sísmicas	30
4.4.1	Características Hidrológicas	30
4.4.2	Características Geológicas no Local da Barragem	38
4.4.3	Descrição e Aspectos Construtivos das Estruturas do Barramento	40
4.4.4	Critérios sismológicos.....	43
4.5	Operação e Manutenção da Barragem	44
4.5.1	Plano de Esvaziamento Reservatório.....	44
4.5.2	Plano de Descomissionamento da Barragem	44

4.5.3	Manual de Operação e Manutenção da Barragem.....	44
5	ESTRUTURA ORGANIZACIONAL E QUALIFICAÇÃO TÉCNICA.....	45
5.1	Estrutura Organizacional	45
5.1.1	Estrutura Organizacional na usina da Segurança da Barragem	47
5.2	Qualificação Técnica	48
6	MANUAIS DE PROCEDIMENTOS DOS ROTEIROS DE INSPEÇÕES DE SEGURANÇA E MONITORAMENTO E RELATÓRIO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM	49
6.1	Cadastro das Estruturas.....	49
6.1.1	PCHTTG-BAD → BARRAGEM DIREITA	49
6.1.2	PCHTTG-BAE → BARRAGEM ESQUERDA	50
6.1.3	PCHTTG-VT → VERTEDOURO	50
6.1.4	PCHTTG-TA → TOMADA D'ÁGUA.....	50
6.1.5	PCHTTG-TU → TÚNEL DE ADUÇÃO	51
6.1.6	PCHTTG- CH → CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO	51
6.1.7	PCHTTG-CO → CONDUTO FORÇADO.....	51
6.1.8	PCHTTG-CF → CASA DE FORÇA	51
6.1.9	PCHTTG-GE → GERAL.....	51
6.2	Planejamento das Inspeções	52
6.2.1	Tipos e Frequência das Inspeções.....	52
6.2.2	Classificação dos Inspetores	53
6.2.3	Itinerário e Materiais para Inspeções	54
6.2.4	Observações e Listas de Verificações.....	55
6.3	Resumo das Fichas de Inspeções	60
6.3.1	Inspeções Regulares e Especiais	60
6.3.2	Inspeções Rotineiras	61
6.4	Manutenções Periódicas Usina	61
6.5	Fluxo de informação, instrumentação de auscultação e equipe de inspeção	62
7	REGRA OPERACIONAL DE DISPOSITIVO DE DESCARGA.....	66
8	ÁREA A SER RESGUARDADA	68
9	PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA	72
10	RELATÓRIOS DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA	73

10.1	Relatório Mensal.....	73
10.2	Relatório Anual	73
10.3	Relatório Especial.....	75
11	REVISÕES PERIÓDICAS DE SEGURANÇA.....	76
12	IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RISCOS, COM DEFINIÇÃO DAS HIPÓTESES E DOS CENÁRIOS POSSÍVEIS DE ACIDENTE OU DESASTRE	78
12.1	Cenários de não rompimento – Simulação 1	78
12.2	Cenário de rompimento – Simulação 2	78
12.3	Cenário de galgamento da barragem	78
12.3.1	Cenário efeito cascata – Não simulado	78
13	MAPA DE INUNDAÇÃO, CONSIDERANDO PIOR CENÁRIO IDENTIFICADO.....	80
14	IDENTIFICAÇÃO E DADOS TÉCNICOS DAS ESTRUTURAS, DAS INSTALAÇÕES E DOS EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO DA BARRAGEM	84
15	EQUIPE TÉCNICA	85
16	BIBLIOGRAFIA.....	86
17	ANEXOS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Montante da PCH Toca do Tigre	12
Figura 2 – Jusante da PCH Toca do Tigre	13
Figura 3 – Localização da PCH Toca do Tigre	14
Figura 4 – Acesso a Usina	15
Figura 5 – Curva Cota x Área x Volume – Reservatório	16
Figura 6 – Curva de Descarga – Vertedouro	19
Figura 7 – Arranjo geral da PCH Toca do Tigre	26
Figura 8 – Barramento - Planta e Seção	27
Figura 9 – Circuito de Geração - Planta e Seção	28
Figura 10 – Casa de Força – Planta Geral	29
Figura 11 – Bacia Hidrográfica 17 com localização aproximada da PCH Toca do Tigre	30
Figura 12 – Tipos Climáticos do Rio Grande do Sul;	31
Figura 13 - Barragem da Margem Direita - Concreto Compactado a Rolo CCR e CCV Classe B (des.1001-TT-DE-412-50-003-R101 e 1001-TT-DE-412-50-004-R101)	40
Figura 14 - Vertedouro - CCR e CCV (des. 1001-TT-DE-413-50-004-R101 e 1001-TT-DE-400-00-008-R100)	41
Figura 15 - Barragem da Margem Esquerda - Concreto CCR e CCV (des. 1001-TT-DE-412-50-002-R101)	42
Figura 16 - Adufa de Desvio - Concreto CCR e CCV (des. 1001-TT-DE-411-50-001-R100 a 1001-TT-DE-411-50-003-R100)	43
Figura 17 – Representação esquemática das anomalias	57
Figura 18 – Vertedouro	66
Figura 19 – Curva de Descarga – Vertedouro	67
Figura 20 – Muro, cercas e portão de acesso a Casa de Força	68
Figura 21 – Placa Informativa – Entrada da Casa de Força	68
Figura 22 – Portão e cercas da Chaminé de Equilíbrio	69
Figura 23 –Muro e portão de acesso a tomada d'água	69
Figura 24 –Muro e portão de acesso a Barragem	70
Figura 25 –Mapa Área a ser resguardada	71
Figura 26 - Mapa rompimento Geral – TR 1.000 anos	81

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Aproveitamentos Hidrelétricos no rio Turvo em operação, próximos a PCH Toca do Tigre ...	15
Tabela 2 – Documentos da barragem (Intertechne Consultores S.A.)	16
Tabela 3 – Resultado Análise de Estabilidade – Vertedouro - Projeto Executivo Intertechne (1001-TT-MC-413-40-001)	18
Tabela 4 – Resultado Análise de Estabilidade – Barragem Margem Direita - Projeto Executivo Intertechne (1001-TT-MC-412-40-001)	18
Tabela 5 – Resultado Análise de Estabilidade – Barragem Margem Esquerda - Projeto Executivo Intertechne (1001-TT-MC-412-40-002)	18
Tabela 6 - Curva de Descarga – Vertedouro	20
Tabela 7 – Documentos da Tomada d'água (Intertechne Consultores S.A.)	21
Tabela 8 – Documentos do Conduto Forçado (Intertechne Consultores S.A)	22
Tabela 9 – Documentos da Casa de Força (Intertechne Consultores S.A)	22
Tabela 10 – Vazão Média Mensal PCH Toca do Tigre	32
Tabela 11 – Permanência de Vazão para PCH Toca do Tigre	33
Tabela 12 – Vazão Máxima Média Diária – PCH Toca do Tigre	34
Tabela 13 – Mês de Ocorrência de Máximas Cheia Anuais	36
Tabela 14 – Vazões Máximas para diversos Tempos de Recorrência e Parâmetros Cálculo	36
Tabela 15 – Vazão Máxima Instantânea para diferentes TR – PCH Toca do Tigre	36
Tabela 16 – Vazões de Cheia na PCH Toca do Tigre – RPS e Projeto Básico	37
Tabela 17 - Investigações Geológicas - PCH Toca do Tigre	39
Tabela 18 - Tipo e frequência das inspeções de segurança	52
Tabela 19 – Curva de Descarga – Vertedouro	67
Tabela 46 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção para TR 1.000 anos	82

1 INTRODUÇÃO

O presente relatório contempla o Plano de Segurança de Barragem da PCH Toca do Tigre, no rio Turvo, pertencente à **CJ HYDRO - 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 HISTÓRICO

Em junho de 2013 a empresa Estelar Engenheiros Associados, através do documento MANUAL: **5000-PTT-6C-MPBA-001-00-13**, elaborou o Plano de Segurança de Barragens.

Já em março de 2019 a Prosenge projetos e engenharia elaborou o plano de ação de emergências TTG-BA-3C-PSB-0001-00 - 19, já em novembro de 2022 foi realizado RPS da PCH Toca do Tigre onde foi elaborado o novo PSB (**TTG-C-PSB-001-00-22**) o qual vi ser substituído por este documento com adequação e mudanças da RN 1064/2023 da ANEEL.

2.1 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 Toca do Tigre se enquadra na matriz de classificação de barragem como **classe B**, isto é, categoria de risco baixo e dano potencial alto. 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 (TTG-C-PAE-001-01-24).

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 Toca do Tigre será necessário a elaboração do Plano de Ação de Emergência devido à Classe da Barragem - B;
- VIII - Relatórios das inspeções de segurança;
- IX - Revisões periódicas de segurança.

2.2 Organização do Relatório

O estudo está dividido segundo a seguinte estrutura:

- Cap.1 – Introdução
- Cap.2 – Histórico
- Cap.3 – Identificação do Empreendedor
- Cap.4 – Dados Técnicos do Empreendimento e Necessários para Operação e Manutenção das Barragens
- Cap.5 – Estrutura Organizacional e Qualificação Técnica
- Cap.6 – Manuais de Procedimentos dos Roteiros de Inspeções de Segurança e de Monitoramento e Relatórios de Segurança da Barragem
- Cap.7 – Regra Operacional de Dispositivo de Descarga
- Cap. 8 – Área a ser resguardada
- Cap. 9 – Plano de Ação de Emergência
- Cap.10 – Relatórios das Inspeções de Segurança
- Cap.11 – Revisões Periódicas de Segurança
- Cap.12 – Identificação e avaliação dos riscos, com definição das hipóteses e dos cenários possíveis de acidente ou desastre;
- Cap.13 – Mapa de inundação, considerando pior cenário identificado;
- Cap.14 – Identificação e dados técnicos das estruturas, das instalações e dos equipamentos de monitoramento da barragem.
- Cap.15 – Equipe Técnica
- Cap.16 – Bibliografia
- Cap.17 – Anexos

3 IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

Nome do Empreendedor: CJ HYDRO – Geração de Energia S.A.

PCH: Toca do Tigre

MATRIZ

CNPJ: 11.288.954/0001-68

Av. Avenida Carlos Gomes Nº1492, Conj 1808 – Bairro Auxiliadora - Porto Alegre – RS - CEP.
90470-282

Fone: (51) 2126-8210

Diretor Presidente: Cristiano Johannpeter

[REDACTED]

[REDACTED]

Diretor Geral: Cristiano Morales da Silveira

[REDACTED]

[REDACTED]

Responsável Técnico da Barragem: Henrique Yabrudi Vieira – Prosenge Projetos e Engenharia

[REDACTED]

[REDACTED]

Coordenador do PAE e Gerente de O&M: Edson Osório

[REDACTED]

[REDACTED]

OPERAÇÃO REMOTA DA USINA – COS COTESA

COS COTESA – Centro de Operação do Sistema – Sala de Controle – 24h por dia.

Contato: Operação.

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

Gerência de Operação COTESA

Contato: Grégori Menegas Signor

Coordenação de Operação COTESA

Contato: Arnaldo Lucas Vieira dos Santos

OPERAÇÃO LOCAL DA USINA – CJ HYDRO

As áreas diretamente ligadas à operação da Usina estão listadas a seguir.

PCH TOCA DO TIGRE			
NOME	FUNÇÃO	TELEFONE	E-MAIL

4 DADOS TÉCNICOS DO EMPREENDIMENTO E NECESSÁRIOS PARA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS BARRAGENS

4.1 Características Técnicas da Usina

A PCH Toca do Tigre está localizada nos municípios de Bom Progresso e Braga – RS, no rio Turvo, com potência instalada de 11,84 MW e entrou em operação comercial em fevereiro de 2013.

O arranjo geral do aproveitamento se constitui por uma soleira vertente situada no leito do rio com fechamentos em concreto nas ombreiras, com altura máxima de 17 m até a fundação, criando um reservatório com o nível normal na El. 297,00 m com área de 0,89 km².

O empreendimento é composto por um vertedouro de soleira livre de 148 m de comprimento, e barragens de fechamento em concreto em ambas as margens.

As estruturas das barragens da margem direita e esquerda foram construídas em concreto compactado a rolo, CCR, fck > 8 MPa (aos 180 dias), e concreto convencional CLASSE B, fck= 15 MPa (aos 90 dias).

Já o Vertedouro, foi executado também com a técnica do Concreto Compactado a Rolo – CCR, fck > 8 MPa (aos 180 dias) e com execução, no paramento de montante, de uma camada de concreto convencional com vibrador, CLASSE B, fck > 15 MPa (aos 90 dias), com no mínimo de 50 cm de espessura, para a vedação do maciço de CCR e na crista e paramento de jusante uma camada de concreto convencional com vibrador, CLASSE D, fck > 25 MPa (aos 28 dias).

As juntas de contração do maciço de concreto do Vertedouro foram executadas a cada 15,00 m, a partir da laje de concreto convencional da face de montante, estendendo-se para o corpo do maciço de CCR.

Foi utilizado no controle de qualidade da compactação do CCR, durante a execução do maciço do vertedouro e na barragem da margem direita e esquerda o uso de densímetro nuclear. Com este pôde-se estabelecer os parâmetros adequados às exigências das especificações técnicas da obra, correlatas à compactação do CCR, com enfoque na avaliação da influência do número de passadas dos rolos compactadores, da homogeneidade das camadas e da umidade das dosagens do CCR.

A adução é feita por tomada d'água, túnel de adução com chaminé de equilíbrio, e conduto forçado. A Casa de Força é do tipo abrigada, composta de duas unidades geradoras Francis Simples de Eixo Horizontal de 6.000 kW.

Abaixo será apresentado arranjo geral das estruturas da PCH Toca do Tigre e ficha técnica.



Figura 1 – Montante da PCH Toca do Tigre



4.1.1 Localização e acessos

O acesso ao local do barramento efetua-se pela BR-472, percorrendo a cidade de Três Passos do estado do Rio Grande do Sul, indo na direção da cidade de Bom Progresso. Na rodovia BR-468 a partir da cidade de Bom Progresso através de 7,10 km de estrada vicinal para o nordeste chega-se ao local do aproveitamento no rio Turvo.

O aproveitamento situa-se nos municípios de Bom Progresso e Braga, ambos no estado do Rio Grande do Sul sendo suas coordenadas 27° 32' 04" Sul e 53° 48' 45" Oeste.

O aproveitamento hidrelétrico encontra-se na porção intermediária do rio Turvo, com a PCH Marco Baldo a montante em operação. Não há nenhuma usina em operação a jusante da PCH Toca do Tigre.

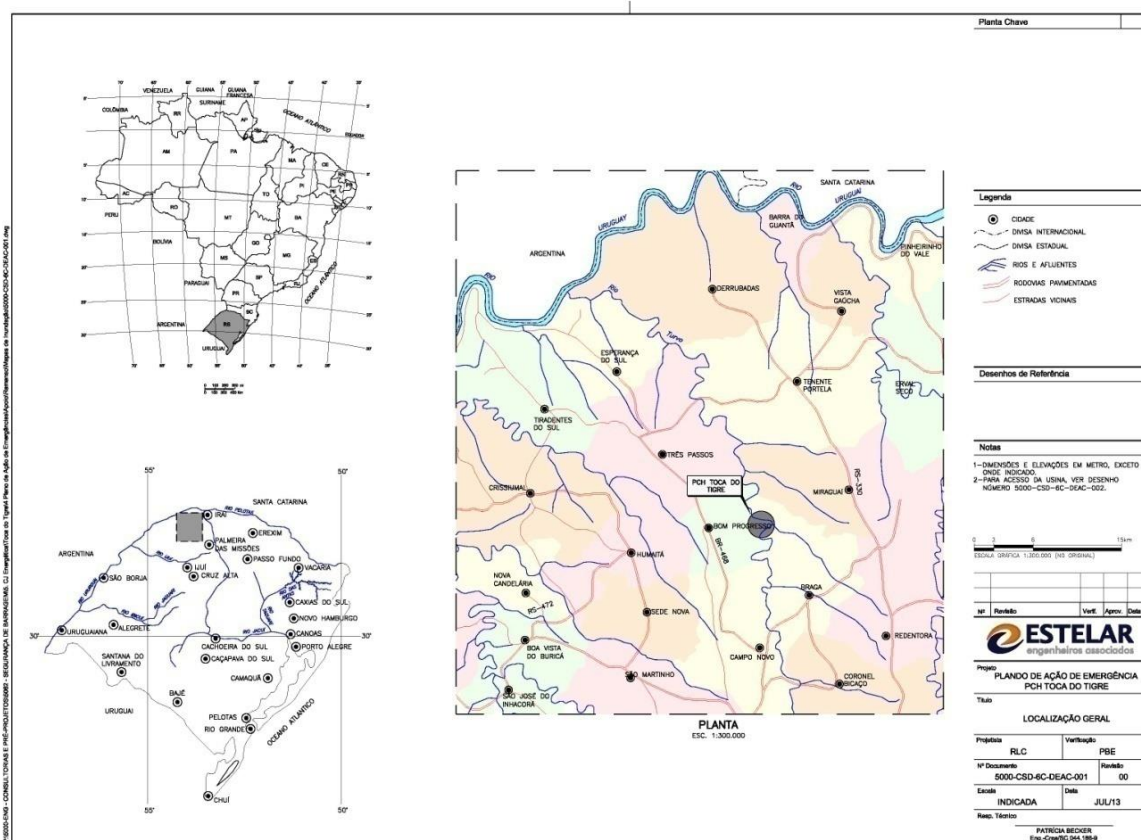


Figura 3 – Localização da PCH Toca do Tigre

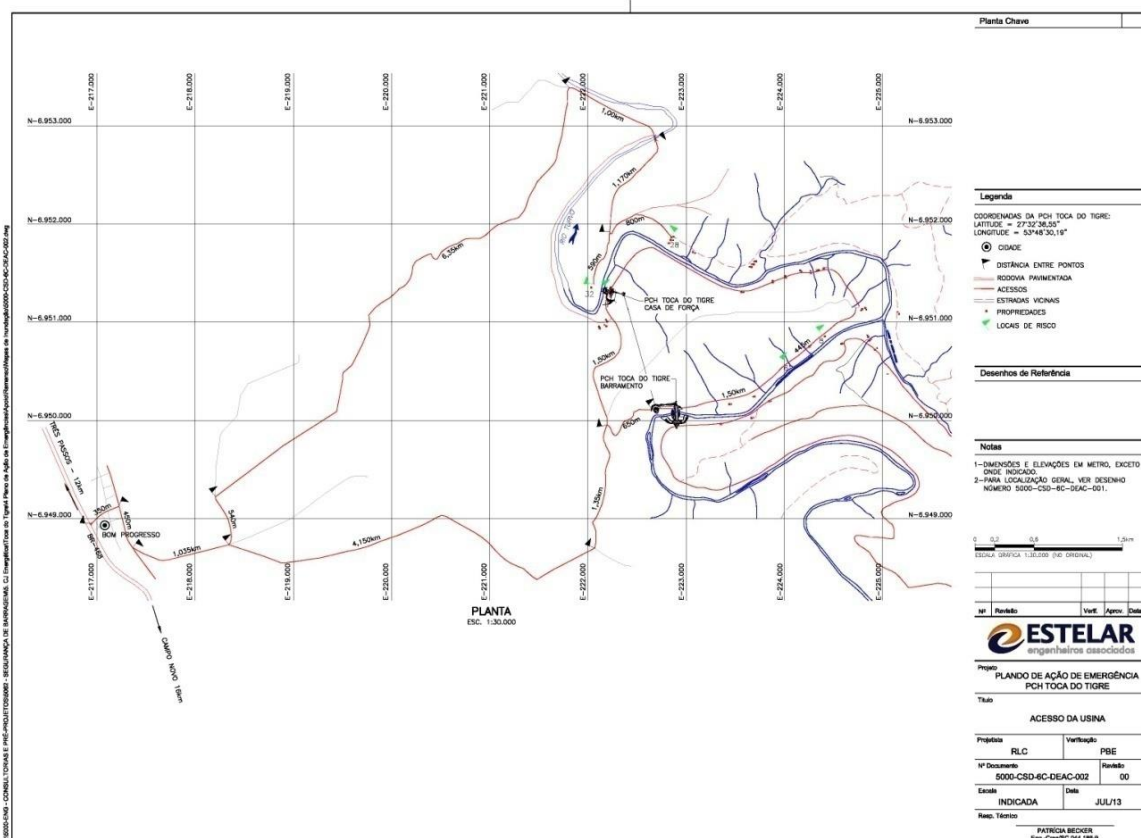


Figura 4 – Acesso a Usina

A Tabela 1 abaixo apresenta a localização relativa da PCH Toca do Tigre na divisão de quedas do rio Turvo.

Tabela 1 – Aproveitamentos Hidrelétricos no rio Turvo em operação, próximos a PCH Toca do Tigre

Posição em relação à PCH Toca do Tigre	Aproveitamento	Potência Instalada (MW)	Proprietário
Montante	Carlos Gonzatto	9,00	Campo Novo Energia S.A.
	Marco Baldo	16,75	Turvo Energia S.A.
PCH Toca do Tigre		11,84	CJ Hydro Geração de Energia S.A.
Jusante	Sem Usina em operação		

Fonte (Aneel, 2022)

4.1.2 Reservatório

O nível de água máximo normal no reservatório da PCH Toca do Tigre está fixado na El 297,00 m. Nesta elevação, o reservatório acumula um volume na ordem de 6,63 hm³ e ocupa uma área de 89 ha.

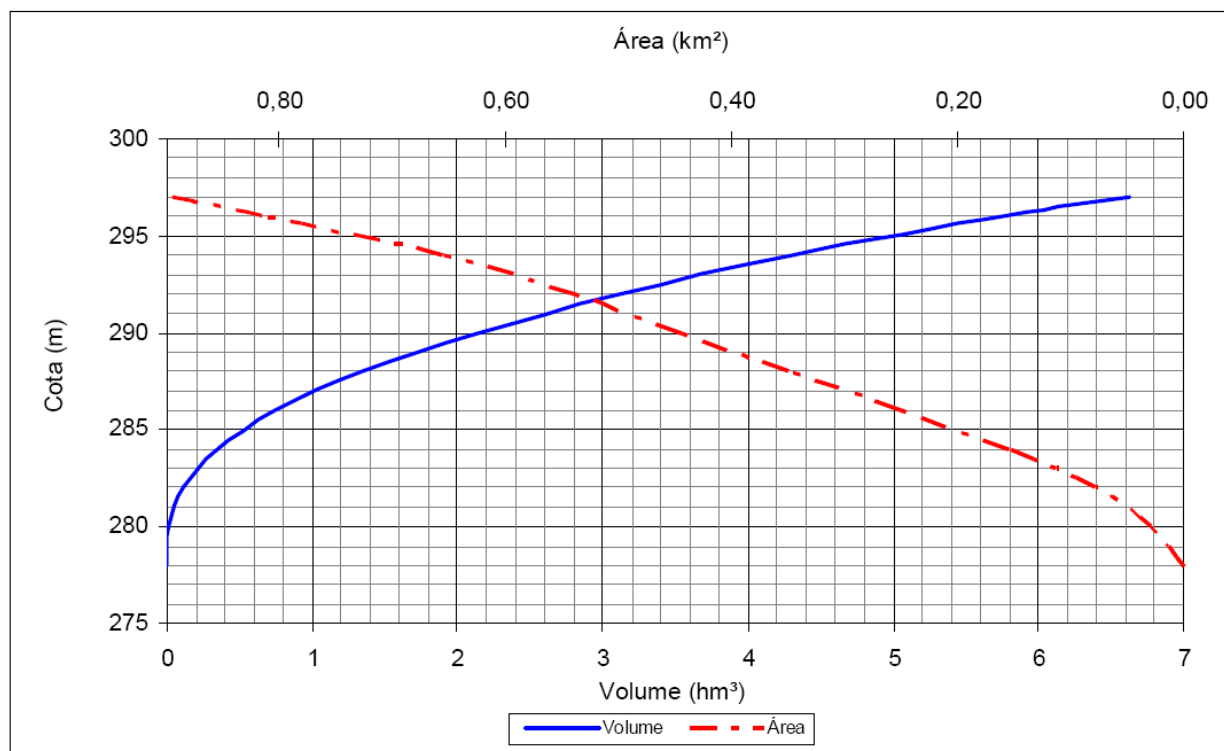


Figura 5 – Curva Cota x Área x Volume – Reservatório

4.1.3 Barragem

O barramento da PCH Toca do Tigre consiste em fechamentos nas ombreiras direita e esquerda com barragem em concreto. Na margem direita a barragem apresenta 62,7 m de comprimento e na margem esquerda apresenta 26,79 m e apresenta a maior altura de 17,00 m. Estas barragens possuem sua cota de proteção na El. 302,20 m, considerando crista na El. 301,00 mais mureta de 1,20 m.

Os documentos da Barragem estão apresentados no Anexo I – Documentos de Projeto – 2-Barragem e dispostos conforme Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Documentos da barragem (Intertechne Consultores S.A.)

Código	Título	Ano
1001-TT-DE-400-00-008-R100(2)	Como Construído – Barragem Arranjo Geral – Planta, Vista e Corte	2010
1001-TT-DE-412-50-001-R101(2)	Como Construído – Barragem CCR Muro Esquerdo – Planta, Vista e Detalhes	2011
1001-TT-DE-412-50-002-R101(2)	Como Construído – Barragem CCR Muro Esquerdo – Cortes e Detalhes	2011
1001-TT-DE-412-50-003-R101(2)	Como Construído – Barragem CCR Muro Direito – Planta, Vista e Detalhes	2011
1001-TT-DE-412-50-004-R101(2)	Como Construído – Barragem CCR Muro Direito – Planta e Cortes	2011
1001-TT-DE-412-50-005-R101(2)	Como Construído – Barragem CCR Muro Direito – Cortes e Detalhes	2011
1001-TT-DE-412-41-001-R100(2)	Como Construído – Barragem Instrumentação – Planta, Cortes e Detalhe	2011
1001-TT-DE-413-50-001-R101(2)	Como Construído - Vertedouro – Planta Inferior	2011

Código	Título	Ano
1001-TT-DE-413-50-002-R101(2)	Como Construído – Vertedouro – Planta Superior	2011
1001-TT-DE-413-50-003-R101(2)	Como Construído – Vertedouro – Vista de Montante	2011
1001-TT-DE-413-50-004-R101(2)	Como Construído – Vertedouro – Cortes e Detalhes	2011
1001-TT-DE-413-50-005-R101(2)	Como Construído – Vertedouro – Cortes, Detalhe e Perfil Hidráulico	2011

4.1.3.1 Dimensionamento e Estabilidade da Barragem/Vertedouro

De acordo com Revisão periódica de segurança (TTG-C-RPS-001-00-22) não foi alterado o Nível Máximo Maximorum no barramento, logo foi certificado a 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 implantação da PCH Toca do Tigre.

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. Cabe salientar que toda a análise foi desenvolvida com base nos dados hidrológicos do Projeto Executivo, e qualquer revisão nas cheias de projeto implicará na necessidade de nova análise das estruturas.

Os documentos 1001-TT-MC-412-40-001 e 1001-TT-MC-412-40-002 apresenta a memória de cálculo da estabilidade das Barragens da Margem Direita e Esquerda e o documento 1001-TT- MC-413-40-002 apresenta a memória de cálculo da estabilidade do Vertedouro.

As análises de estabilidade verificadas nas Barragens/Vertedouro foram:

- CCC - Caso de Carregamento de Construção - Somente Peso Próprio da Estrutura;
- CCN - Condição de Carregamento Normal - $NA_{mont} = 297,00$ m e $NA_{jus} = 0,00$ m;
- CCE - Condição de Carregamento Excepcional - $NA_{mont} = 300,00$ m e $NA_{jus} = 0,00$ m;
- CCL - Condição de Carregamento Limitre - $NA_{mont} = 300,00$ m mais efeito sísmico;

Abaixo serão apresentados resultados conforme a estrutura elaborada pela responsável pelo projeto executivo Intertechne obteve os seguintes coeficientes de segurança para estabilidade.

Tabela 3 – Resultado Análise de Estabilidade – Vertedouro - Projeto Executivo Intertechne (1001-TT-MC-413-40-001)

Casos Carregamento	Flutuação (FSF)		Tombamento (FST)		Deslizamento (FSD)		Tensão (tf/m ²)	
	Calculado	Mínimo	Calculado	Mínimo	Calculado	Mínimo	Montante	Jusante
CCC	-	1,20	-	1,3	-	1,0	46,25	0,68
CCN	2,76	1,30	1,89	1,5	1,30	1,0	14,08	15,85
CCE	1,85	1,10	1,37	1,2	1,2	1,0	1,66	19,92
CCL	1,80	1,10	1,24	1,1	1,0	1,0	0	25,29

Tabela 4 – Resultado Análise de Estabilidade – Barragem Margem Direita - Projeto Executivo Intertechne (1001-TT-MC-412-40-001)

Casos Carregamento	Flutuação (FSF)		Tombamento (FST)		Deslizamento (FSD)		Tensão (tf/m ²)	
	Calculado	Mínimo	Calculado	Mínimo	Calculado	Mínimo	Montante	Jusante
CCC	-	1,20	-	1,3	-	1,0	29,64	8,72
CCN	4,36	1,30	3,06	1,5	3,30	1,0	17,65	12,85
CCE	3,24	1,10	1,90	1,2	2,60	1,0	13,47	14,27
CCL	3,01	1,10	1,64	1,1	2,20	1,0	3,66 (*)	29,42 (*)

(*) Seção Mais crítica – El. 295,50 m

Tabela 5 – Resultado Análise de Estabilidade – Barragem Margem Esquerda - Projeto Executivo Intertechne (1001-TT-MC-412-40-002)

Casos Carregamento	Flutuação (FSF)		Tombamento (FST)		Deslizamento (FSD)		Tensão (tf/m ²)	
	Calculado	Mínimo	Calculado	Mínimo	Calculado	Mínimo	Montante	Jusante
CCC	-	1,20	-	1,3	-	1,0	38,53	4,92
CCN	3,63	1,30	2,57	1,5	2,40	1,0	25,91	6,51
CCE	2,95	1,10	1,84	1,2	2,30	1,0	17,43	12,38
CCL	2,86	1,10	1,61	1,1	1,90	1,0	5,05 (*)	21,04 (*)

(*) Seção Mais crítica – El. 295,50 m

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

4.1.4 Vertedouro

O vertedouro da PCH Toca do Tigre situa-se transversalmente no alinhamento da calha natural do rio e é formado por uma soleira vertente não controlada com 148 m de largura livre, crista na El. 297,00 m e altura máxima de cerca de 21,0 m. Esta estrutura possibilita

o vertimento da cheia milenar, cujo pico é de 1.737 m³/s, com uma sobrelevação de 3,00 m no reservatório, o que resulta num nível de água máximo maximorum na El. 300,00 m. O paramento de montante do vertedouro é vertical enquanto que o paramento de jusante possui declividade de 0,85 H: 1,0 V com descida da água em degraus (altura variável entre 0,15 m e 0,90 m), para auxiliar na dissipação de energia, sendo que na parte superior do mesmo dispõe-se o perfil Creager do vertedouro. A restituição do escoamento é feita por uma calha de 6,0 m de comprimento e 0,6 m de espessura ancorada na rocha, cuja finalidade é garantir à integridade do maciço rochoso a jusante. O mesmo foi construído em CCR, e em concreto convencional nas suas faces externas e junto à sua fundação em rocha sã.

O projeto do vertedouro está apresentado nos desenhos 1001-TT-DE-400-00-002 e 1001-TT-DE-400-00-008, Anexo I – Documentos de Projeto – 3-Vertedouro.

A curva de descarga do vertedouro está apresentada abaixo.

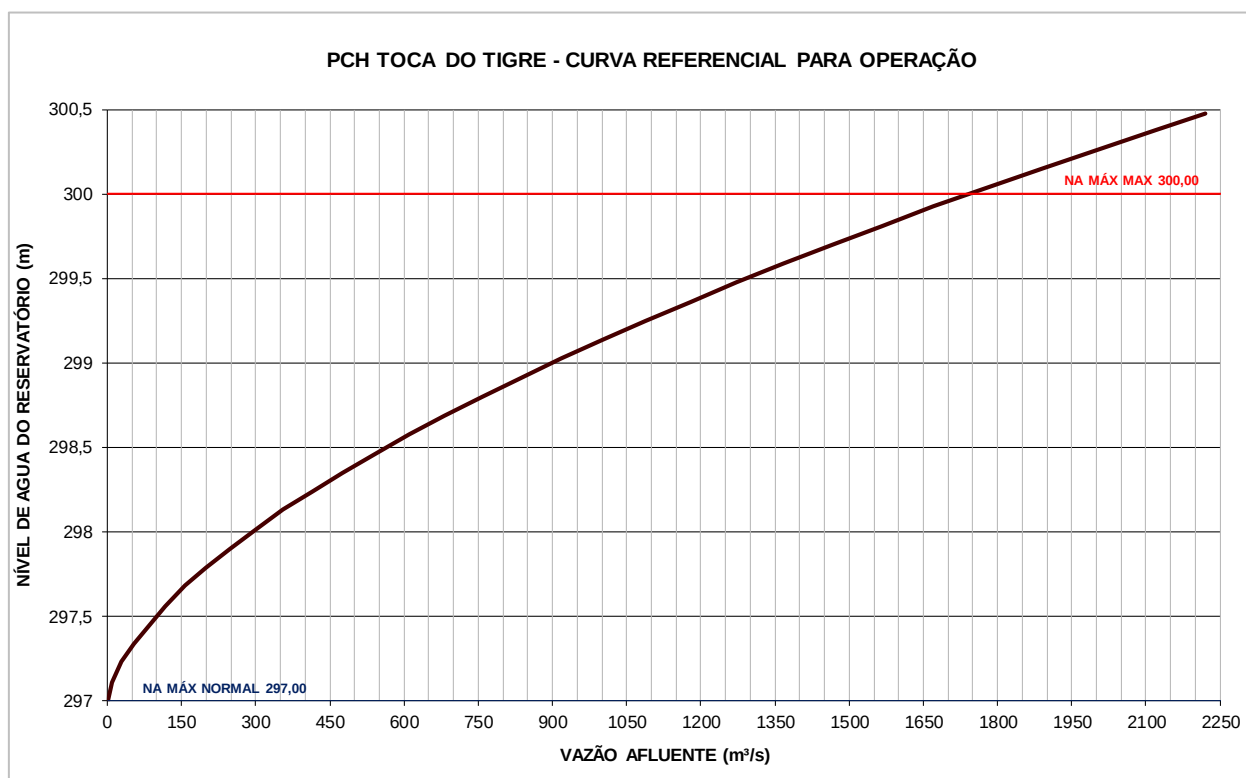


Figura 6 – Curva de Descarga – Vertedouro

Tabela 6 - Curva de Descarga – Vertedouro

VAZÃO (m³/s)	NÍVEL DE ÁGUA (m)	VAZÃO (m³/s)	NÍVEL DE ÁGUA (m)
0	297	836	298,91
10	297,11	917	299,03
28	297,23	1001	299,14
53	297,34	1089	299,25
117	297,56	1179	299,36
157	297,68	1272	299,48
200	297,79	1367	299,59
248	297,9	1466	299,7
299	298,01	1567	299,81
354	298,13	1671	299,93
413	298,24	1779	300,04
475	298,35	1889	300,15
541	298,46	2002	300,26
610	298,58	2118	300,38
682	298,69	2221	300,48
757	298,8		

4.2 Circuito Hidráulico de Adução e Geração

O circuito hidráulico de adução e geração, localizado na margem esquerda, é composto de uma tomada d'água a montante do barramento, tipo gravidade, um túnel de adução, com chaminé de equilíbrio, de 5,40 m de largura por 5,40 m de altura e comprimento médio de 1.100 m em rocha e blindado em aço nos 34,5 m finais, chegando na casa de força que abriga duas turbinas Francis de 6,00 MW cada. Este circuito será detalhado abaixo.

4.2.1 Tomada de Água

A estrutura da tomada d'água estará localizada na margem esquerda do rio, a montante da barragem. A tomada d'água possui soleira na El.287,10 m e coroamento na El. 301,00 m.

Junto a sua entrada, existe uma grade, destinado a impedir a entrada de materiais com dimensões que possam danificar os equipamentos. Esta grade apresenta – se com 5,40 m de largura por 10,00 m de altura.

O fechamento desta abertura, no caso da necessidade de manutenção do conduto será feito por meio de uma comporta ensecadeira bipartida, com dimensão total de (5,40 x 5,40) m. A movimentação destas comportas são realizadas por uma monovia instalada sobre um pórtico fixo de concreto.

Os documentos da Tomada d'água estão apresentados no Anexo I – Documentos de Projeto – 4-Tomada d'água e dispostos conforme Tabela 7 abaixo.

Tabela 7 – Documentos da Tomada d'água (Intertechne Consultores S.A.)

Código	Título	Ano
1001-TT-DE-415-50-003-R100(1)	Como Construído - Tomada D'Água – Plantas e Cortes	2010
1001-TT-DE-415-50-004-R100(1)	Como Construído - Tomada D'Água – Cortes e Vistas	2010

4.2.2 Túnel de Adução

Após a Tomada d'Água vem o túnel de adução com seção arco retangular de 5,4 metros de largura por 5,4 metros de altura (seção de escavação possui a 5,6 m de altura prevendo uma laje de regularização de concreto), o túnel possui declividade de 0,5 % no início do túnel passando para 12 % no trecho final. No trecho em que se inicia a blindagem o túnel é horizontal. Logo a montante da blindagem há uma transição de seção arco retângulo para a seção blindada com 4,4 metros de diâmetro. A montante da transição existe um trecho de 4,0 metros em concreto e logo a montante um rock-trap de 18,0 metros de comprimento, 2,5 metros de altura e 5,4 metros de largura para evitar carreamento de material para dentro das turbinas. O trecho de blindagem possui uma extensão de 30,0 metros.

O perfil e seção típica do túnel de adução está apresentado no desenho 1001-TT-DE-414-20-003, Anexo I – Documentos de Projeto – 5-Túnel adutor.

4.2.3 Chaminé de Equilíbrio

Antes da rock-trap está localizada a chaminé de equilíbrio que possui seção circular de 5,0 m de diâmetro desde a cota 269,65 m até a elevação 286,0 m, a partir desta elevação a seção da chaminé passa para 10 m de diâmetro. A chaminé foi dimensionada para absorver a rejeição total de carga associado a passagem da cheia milenar do conduto forçado.

O arranjo geral da chaminé de equilíbrio está apresentado no desenho 1001-TT-DE-414-20-004 e 1001-TT-DE-414-50-001-R100, Anexo I – Documentos de Projeto – 6-Chaminé de Equilíbrio.

4.2.4 Conduto Forçado

Após o rock-trap inicia-se o trecho blindado de 34,5 m de extensão e diâmetro de 4,40 m segue o repartidor, onde o fluxo será dividido através de uma bifurcação para diâmetro de 2,30 m para as duas unidades geradoras da casa de força. Após o repartidor o fluxo é encaminhado para cada uma das duas unidades geradoras.

Os documentos do conduto forçado estão apresentados no Anexo I – Documentos de Projeto – 7-Conduto Forçado e dispostos conforme

Tabela 8 abaixo.

Tabela 8 – Documentos do Conduto Forçado (Intertechne Consultores S.A)

Código	Título	Ano
1001-TT-DE-416-50-001-R100(1)	Como Construído – Conduto Forçado – Planta e Cortes	2011
1001-TT-DE-416-50-002-R100(1)	Como Construído – Conduto Forçado – Cortes	2011
1001-TT-DE-416-50-003-R100(1)	Como Construído – Conduto Forçado – Rock Trap – Planta e Cortes	2011
1001-TT-DE-416-60-001-R100	Como Construído – Conduto Forçado – Rock Trap Armadura Complementar – Planta, Vista, Cortes e Detalhes	2012

4.2.5 Casa de Força e Canal de Fuga

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

A fundação da Casa de Força está na El. 255,00 m e o piso dos geradores na El. 262,76 m. O deck externo está na El. 272,00 m. A estrutura da Casa de Força possui aproximadamente 31,43 m de largura e 39,0 m de comprimento. O Canal de Fuga terá a soleira na saída na cota El. 262,50 m.

O nível de água normal no canal de fuga está na El. 264,30 m e o nível de água máximo de projeto encontra-se na El. 270,87 m.

Os documentos da casa de força estão apresentados no Anexo I – Documentos de Projeto – 8-Casa de Força e Canal de Fuga e dispostos conforme Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 – Documentos da Casa de Força (Intertechne Consultores S.A)

Código	Título	Ano
1001-TT-DE-417-50-001-R100(1)	Como Construído – Casa de Força – Planta El. 262,76	2010
1001-TT-DE-417-50-002-R100(1)	Como Construído – Casa de Força – Planta El. 272,00	2010
1001-TT-DE-417-50-003-R100(1)	Como Construído – Casa de Força – Cortes e Detalhes	2010
1001-TT-DE-417-50-004-R100(1)	Como Construído – Casa de Força – Cortes e Detalhes	2010
1001-TT-DE-417-50-005-R100(1)	Como Construído – Casa de Força – Cortes e Detalhes	2010
1001-TT-DE-417-50-006-R100(1)	Como Construído – Casa de Força – Plantas, Cortes e Detalhes	2010
1001-TT-DE-417-50-007-R100(1)	Como Construído – Casa de Força – Cortes	2010
1001-TT-DE-417-50-008-R100(1)	Como Construído – Casa de Força Concreto 2º Estágio – Planta El. 264,56	2011
1001-TT-DE-417-50-009-R100(1)	Como Construído – Casa de Força Concreto 2º Estágio - Cortes	2011
1001-TT-DE-417-50-010-R100(1)	Como Construído – Casa de Força Concreto 2º Estágio - Cortes	2011
1001-TT-DE-417-70-001-R100(2)	Como Construído – Casa de Força Arquitetura e Acabamentos – Planta El. 265,40 e Lista de Acabamentos	2011

1001-TT-DE-417-70-002-R100(2)	Como Construído – Casa de Força Arquitetura e Acabamentos – Planta El. 272,00	2011
1001-TT-DE-417-70-003-R100(2)	Como Construído – Casa de Força Arquitetura e Acabamentos – Cobertura Planta, Cortes e Detalhes	2011
1001-TT-DE-417-70-004-R100(2)	Como Construído – Casa de Força Arquitetura e Acabamentos – Corte Longitudinal pelo Eixo das Unidades	2011
1001-TT-DE-417-70-005-R100(2)	Como Construído – Casa de Força Arquitetura e Acabamentos – Corte Transversal pelo Eixo das Unidades	2011
1001-TT-DE-417-70-008-R100(2)	Como Construído – Casa de Força Arquitetura e Acabamentos – Sala de Comando El. 277,00 – Planta, Cortes e Detalhes	2011

4.3 Equipamentos Eletromecânicos

4.3.1 Turbinas

As turbinas são do tipo Francis, de eixo horizontal, com rotor simples, com caixa espiral em chapas de aço soldadas, com capacidade que garanta uma potência não inferior a 6.173 kW no eixo da turbina, sob queda líquida de 29,92 m. As características básicas da turbina são:

Quadro 1 – Dados da Turbina

Quantidade	02 (duas)
Tipo	Francis Horizontal Simples
Potência nominal (eixo)	6.173 kW
Queda Bruta Máxima	32,64 m
Queda líquida de referência (Hr)	29,92 m
Vazão nominal unitária	22,72 m³/s
Rotação nominal	300 rpm
Nível de água de jusante normal	El. 264,30 m
Nível de água de jusante máximo	El. 270,87 m
Nível de água de jusante mínimo	El. 263,63 m

4.3.2 Gerador

As duas unidades geradoras da PCH Toca do Tigre serão dotadas de geradores de corrente alternada, trifásicos, síncronos, ligados em estrela, de eixo horizontal para acoplamento rígido às turbinas Francis de eixo horizontal. A excitação será do tipo sem escovas (brushless), com potência nominal de 6.670 kVA e terão as seguintes características técnicas:

Quadro 2 – Dados do Gerador

Quantidade	02
Potência nominal	6.670 kVA
Fator de potência indutivo	0,90
Tensão nominal	13,80 kV
Frequência nominal	60 Hz
Rotação nominal	300 rpm

4.3.3 Conexão

A pequena central hidrelétrica Toca do Tigre tem uma conexão em 69 kV com o sistema de transmissão até a subestação Marco Baldo.

A subestação da usina com capacidade de 14,00 kVA, 13,8/69 kV, interligando-se ao sistema através de um ramal de circuito simples, na tensão de 69 kV, com aproximadamente 4,5 km de extensão até a subestação Marco Baldo.

Abaixo está apresentado a Ficha Resumo da Segurança da Barragem e alguns arranjos das estruturas da Usina. No Anexo I estão apresentados todos os desenhos necessários das estruturas da usina para segurança da barragem, bem como a ficha técnica de segurança da barragem.



FICHA TÉCNICA

FOTO



ÓRGÃOS EXTRAVASORES - VERTEDOURO

Tipo:	Soleira Livre	
Comprimento (m):	148,00	
Capacidade (m³/s):	1.737,00	>TR 1.000 anos
Cota da Soleira (m):	297,00	
Fundação:	Basalto são	

TOMADA D'ÁGUA

Tipo:	Gravidade	
Comprimento (m):	11,90	
Comportas	Número:	1
	Altura (m):	5,40
	Largura (m):	5,40

ADUÇÃO

Tipo:	Túnel - seção arco retangular	
Comprimento (m):	1.100,00	
Altura (m):	5,40	
Largura (m):	5,40	

IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDEDOR

Nome:	PCH Toca do Tigre
Municípios:	Bom Progresso e Braga - RS
Proprietário:	CJ Hydro-Geração de Energia S.A.

DATAS

Conclusão Barramento:	jan/12
Início Operação:	fev/13
Manutenção Barragem:	-----

CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO

Altura (m):	44
Diâmetro (m):	5,00/ 10,00
Fundação:	Basalto São

BACIA HIDROGRÁFICA

Curso d'Água:	Rio Turvo
Bacia (ANEEL):	Rio Uruguai - 7
Sub-Bacia (ANEEL):	74

CONDUTO FORÇADO

Unidades:	1 (Trecho 1) 2 (Bif.)
Diâmetro (m):	4,4 (Trecho 1) 3,10 (Bif.)
Comprimento Total (m):	34,5 (Trecho 1) 16,5 (Bif.)

RESERVATÓRIO

Área Drenagem - (km²):	1.086,00	
Área NA Normal - (km²):	0,89	
Volume NA Normal (hm³):	6,63	
Vazão Remanescente (m³/s):	2,20	
Níveis de Água (m):	Máx. Max.:	300,00
	Normal:	297,00
	Mínimo:	296,50

CASA DE FORÇA

Tipo:	Abrigada	
Potência Instalada (MW)	11,84	
Unidades Geradoras:	2,00	Francis Horizontal
Vazão Máxima (m³/s):	45,44	
Queda Bruta (m)	32,64	
Nível água jusante (m):	Máx. Max.:	270,87
	Normal:	264,30
	Mínimo:	263,63

BARRAGEM

Tipo:	Gravidade - Concreto CCR	
Comprimento (m):	62,7 - MD e 26,8 - ME	
Altura Máxima (m):	17,00	
Largura Crista (m):	5,00	
Elevação da Crista (m):	301,00	
Cota Proteção Mureta (m):	302,20	
Fundação:	Basalto são	

TURBINA

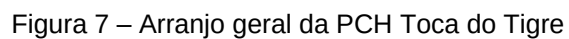
Potência Nominal [MW]	6,173	Unitária
Vazão Nominal [m³/s]	22,72	Unitária

GERADOR

Potência Nominal [MW]	6,837	Unitária
Tensão Nominal [kV]	13,8	
Rotação Nominal [rpm]	300	
Fator de Potência	0,90	

CASCATA

Usina Montante:	PCH Marco Baldo
Usina Jusante:	-----



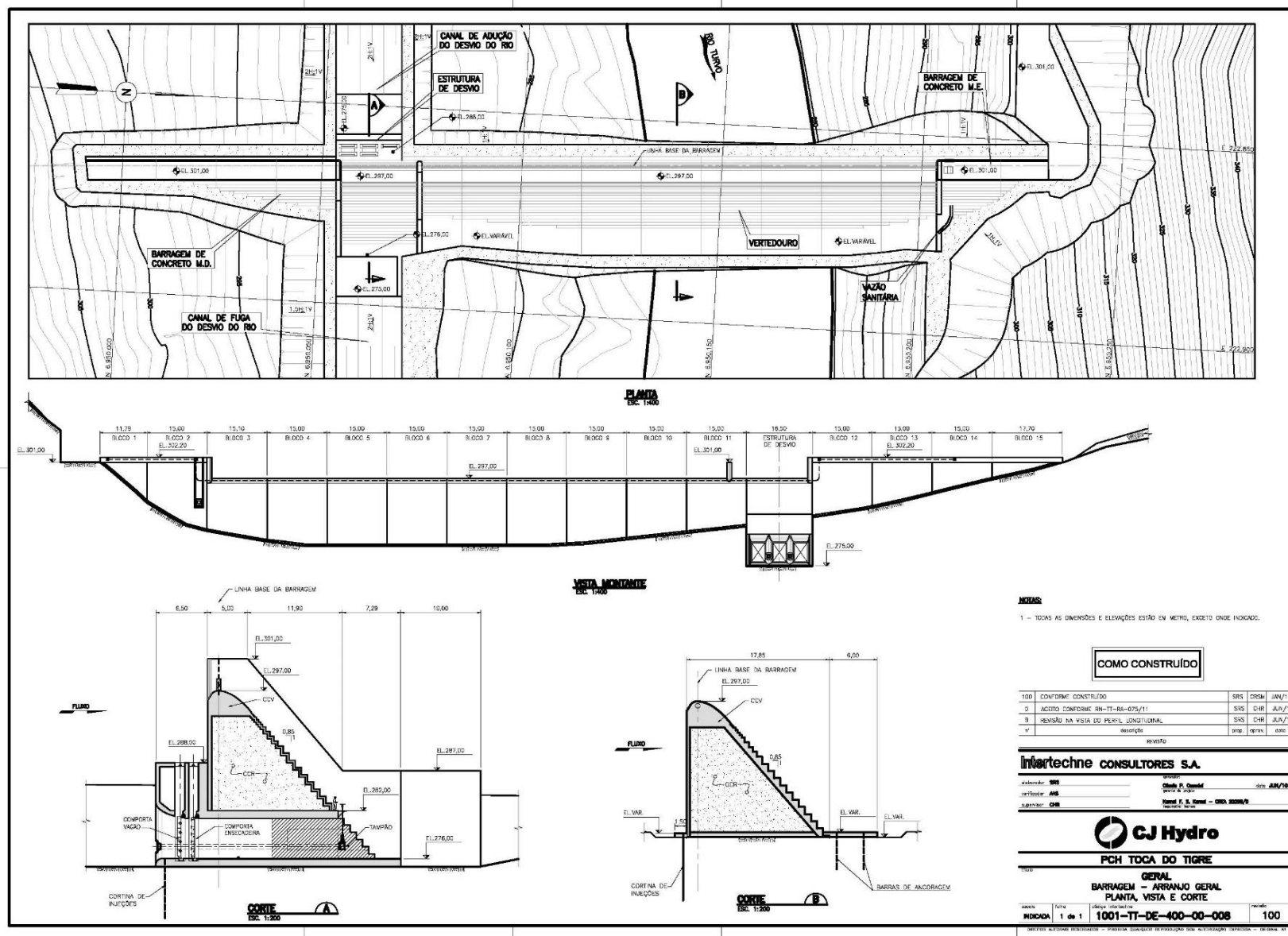


Figura 8 – Barramento - Planta e Seção

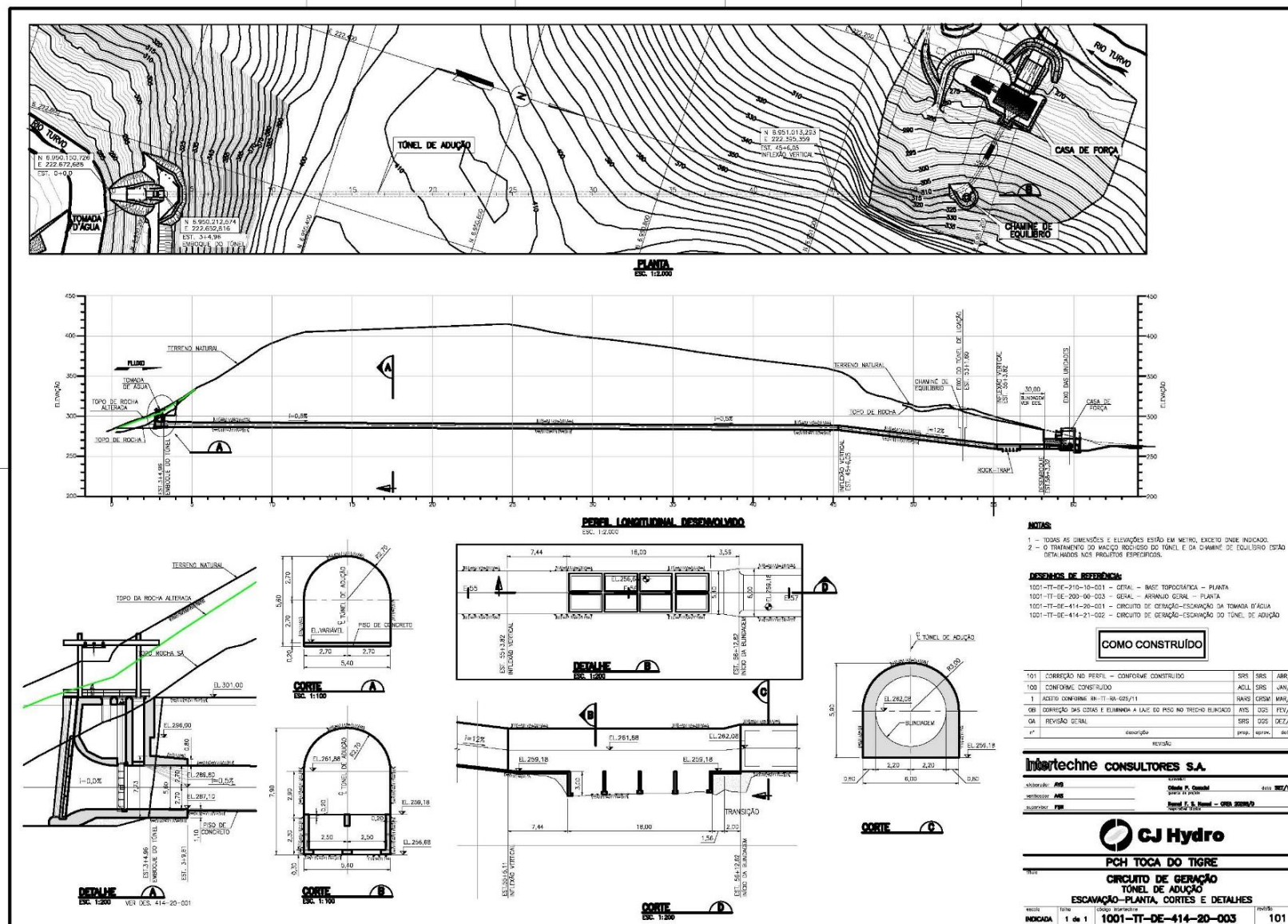


Figura 9 – Circuito de Geração - Planta e Seção



4.4 Características hidrológicas, geológicas e sísmicas

4.4.1 Características Hidrológicas

4.4.1.1 Características Gerais da Bacia Hidrográfica

O rio Turvo se encontra na bacia hidrográfica do rio Uruguai (7), sub bacia (74) sendo afluente pela margem esquerda do rio Uruguai como indicado na Figura 11 do mapa da bacia.

A bacia hidrográfica do rio Turvo possui uma área de aproximadamente 1.818 km² junto a sua foz no rio Uruguai. No barramento da PCH Toca do Tigre a área da bacia hidrográfica é de 1.086 km². Esta bacia se situa, em sua totalidade, na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. O rio Turvo nasce na encosta leste da Coxilha Pinheiro Machado, no município de Palmeira das Missões com altitude das nascentes ao redor de 600 m e da foz ao redor de 130 m. O rio possui escoamento predominante no sentido norte com uma extensão total de 247 km e um desnível de 470 m até a foz no rio Uruguai.

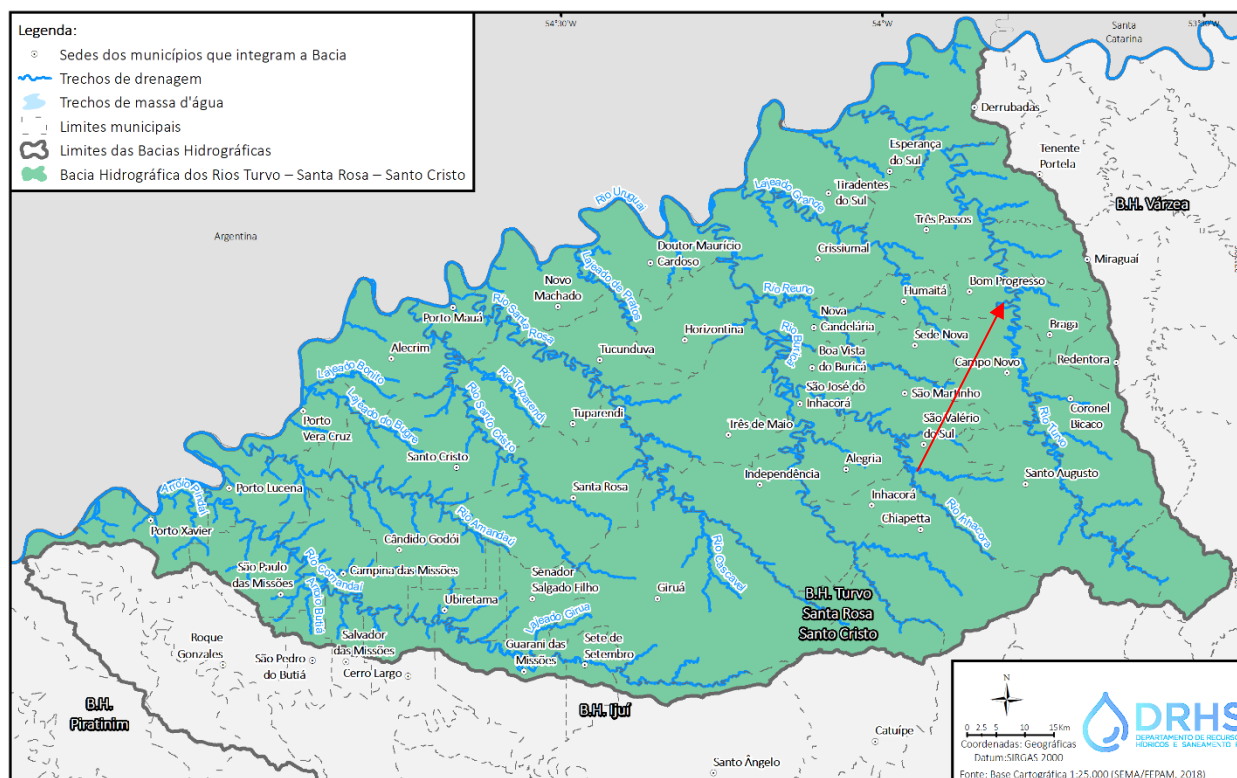


Figura 11 – Bacia Hidrográfica 17 com localização aproximada da PCH Toca do Tigre

4.4.1.2 Características Climáticas da Bacia

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região da bacia do rio Turvo no local da PCH Toca do Tigre pode ser enquadrado como do tipo Cfa como indicado na Figura 12, 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 12 – 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).

4.4.1.3 Série de Vazões Médias Mensais Para PCH Toca do Tigre

A Tabela 10 a seguir apresenta os dados de vazão média mensal no local de implantação da barragem da PCH Toca do Tigre no rio Turvo. Os estudos hidrológicos foram atualizados até setembro de 2022.

Tabela 10 – Vazão Média Mensal PCH Toca do Tigre

Vazão Média Mensal - PCH Toca do Tigre (m³/s)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
1964		8,22	11,09	38,58	33,00	15,78	13,13	24,87	35,37	25,20	13,39	10,47	20,83
1965	7,71	7,52	5,54	8,49	17,61	10,36	24,82	60,35	81,17	52,78	27,25	36,89	28,37
1966	19,56	35,03	35,31	21,20	14,94	29,57	34,74	62,29	75,97	71,76	31,29	33,66	38,78
1967	25,21	21,34	19,58	9,15	8,02	11,95	30,77	50,56	56,14	31,33	17,31	11,32	24,39
1968	7,55	7,60	4,67	8,53	6,60	9,05	17,82	7,08	15,89	17,45	18,41	12,12	11,06
1969	49,91	32,03	13,73	13,99	23,74	26,47	14,23	13,51	13,53	11,65	39,97	11,20	22,00
1970	9,98	7,37	7,40	5,36	27,03	45,96	30,16	19,88	20,65	31,92	11,04	31,43	20,68
1971	22,13	13,18	13,98	14,18	24,00	33,07	44,71	50,59	21,71	13,51	7,58	5,66	22,03
1972	8,18	7,34	6,34	15,04	11,19	154,26	63,76	101,96	99,06	51,48	41,65	44,62	50,41
1973	46,60	26,39	15,99	13,15	41,85	35,46	70,56	77,93	58,14	38,52	24,66	20,88	39,18
1974	21,50	14,89	10,71	8,66	33,80	37,07	17,13	15,86	13,81	7,59	10,01	28,31	18,28
1975	21,80	17,49	16,39	22,34	15,09	33,79	17,97	54,58	53,00	50,95	31,22	33,33	30,66
1976	37,92	16,33	10,79	8,51	10,38	11,50	25,57	22,72	21,80	17,50	40,96	17,13	20,09
1977	20,44	15,85	9,78	6,69	5,60	32,65	33,17	51,98	33,05	17,52	22,87	19,96	22,46
1978	10,50	6,57	5,32	3,17	3,02	4,91	17,40	10,08	16,39	7,86	29,88	12,52	10,63
1979	5,82	6,14	11,28	21,10	41,55	19,28	32,64	40,53	25,85	109,92	52,23	69,58	36,33
1980	36,78	16,12	12,82	7,17	30,13	11,63	11,72	16,22	24,21	23,05	47,70	33,65	22,60
1981	16,99	15,71	6,92	8,34	5,68	10,97	7,32	5,48	11,25	9,83	14,12	21,54	11,18
1982	8,63	8,71	6,20	4,10	6,66	22,69	34,57	39,66	33,56	78,36	76,88	30,46	29,21
1983	16,30	33,50	51,95	58,11	113,29	62,78	163,37	84,49	46,32	51,07	30,40	17,84	60,78
1984	21,56	15,53	11,34	22,92	59,63	52,01	79,13	101,57	68,26	83,06	53,95	21,78	49,23
1985	12,87	20,15	25,06	58,97	73,06	41,68	45,03	89,46	57,92	28,63	15,17	8,33	39,69
1986	7,32	8,01	18,60	81,74	40,76	48,26	46,02	42,14	34,39	26,02	30,90	21,36	33,79
1987	20,08	20,38	21,37	50,93	70,10	58,26	81,56	56,12	31,68	39,47	23,02	14,28	40,60
1988	9,26	12,79	4,04	16,20	36,81	28,99	15,97	10,45	24,41	17,41	17,65	9,76	16,98
1989	12,18	13,67	6,57	15,29	13,97	16,39	50,10	34,44	89,50	49,46	26,12	15,24	28,58
1990	29,82	15,98	12,26	55,00	70,31	124,67	49,83	27,42	60,37	61,80	55,43	34,96	49,82
1991	17,12	10,45	6,97	6,65	34,01	36,17	24,47	23,13	12,00	13,81	8,52	22,93	18,02
1992	13,14	20,02	15,22	23,56	59,57	70,27	63,10	44,61	45,93	33,80	36,01	19,99	37,10
1993	25,90	20,53	20,81	17,63	26,48	36,72	68,07	28,47	24,86	49,16	33,87	42,18	32,89
1994	20,90	52,95	29,37	40,65	62,46	72,25	94,82	33,75	30,71	72,96	56,26	45,41	51,04
1995	42,00	21,38	26,43	13,98	9,15	20,01	15,82	12,21	27,63	57,82	18,74	10,08	22,94
1996	15,67	44,29	28,38	21,79	13,29	29,64	36,27	40,17	41,63	61,92	34,20	46,71	34,50
1997	30,68	35,30	14,08	10,97	10,58	29,34	30,83	86,89	32,46	145,28	125,61	55,79	50,65
1998	54,92	76,97	92,42	77,54	89,26	41,36	38,95	66,94	81,80	73,91	31,64	21,32	62,25
1999	14,40	15,66	8,54	29,33	17,65	31,85	69,40	26,14	26,90	51,56	24,07	24,63	28,35
2000	19,75	14,66	17,41	16,30	23,47	43,78	42,42	25,63	39,46	74,14	45,05	33,13	32,93
2001	44,14	44,46	22,92	19,14	28,44	24,96	23,94	14,28	22,51	52,12	24,02	16,10	28,09
2002	10,09	6,86	8,54	10,50	44,91	64,81	37,71	45,18	72,59	80,95	58,63	83,28	43,67
2003	41,33	38,50	34,07	24,57	33,89	30,03	26,79	16,70	11,68	19,72	17,37	63,57	29,85
2004	36,10	16,83	8,24	6,73	19,30	17,77	16,38	11,09	14,83	25,57	37,61	15,40	18,82
2005	8,78	4,89	3,25	26,19	36,09	94,69	36,21	17,89	22,46	54,17	28,13	18,28	29,25
2006	14,13	7,49	6,31	7,09	4,15	6,03	14,50	20,49	19,35	19,76	50,76	44,51	17,88
2007	29,38	18,29	18,02	21,22	89,15	30,88	46,75	30,34	21,75	45,25	52,01	22,17	35,43
2008	17,67	11,41	6,23	19,45	18,44	32,32	27,69	23,26	14,74	50,78	58,72	22,35	25,25
2009	13,41	5,19	5,27	2,07	12,12	20,60	46,48	52,74	73,36	53,99	104,42	66,84	38,04
2010	32,61	19,89	16,38	26,11	51,91	41,99	51,42	32,16	33,81	28,51	20,45	50,13	33,78

Vazão Média Mensal - PCH Toca do Tigre (m³/s)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média
2011	27,16	43,28	22,05	56,80	34,57	61,42	110,90	63,55	32,15	34,46	18,83	5,30	42,54
2012	6,25	5,36	8,02	4,27	3,27	11,66	26,73	15,06	14,39	50,52	41,81	41,76	19,09
2013	31,82	14,12	25,44	37,35	24,04	30,83	23,59	49,76	36,03	56,03	30,89	33,87	32,81
2014	61,57	17,35	24,18	55,38	50,54	113,35	76,96	38,84	69,89	80,53	37,58	24,11	54,19
2015	68,26	40,23	21,32	23,71	42,34	42,61	109,09	40,50	29,26	36,05	66,97	102,43	51,90
2016	43,42	37,32	38,51	50,38	42,56	24,39	28,58	24,04	22,43	44,38	35,24	18,22	34,12
2017	23,74	34,98	35,12	84,98	119,93	143,20	33,98	34,11	19,45	48,45	41,73	24,11	53,65
2018	24,17	14,89	15,80	12,74	17,34	25,64	21,33	16,01	22,62	69,46	71,19	37,12	29,03
2019	26,00	19,54	44,35	23,09	62,33	42,14	19,27	12,02	10,12	16,61	32,03	12,94	26,70
2020	12,79	11,81	6,82	6,78	14,19	35,28	82,36	40,77	25,23	11,43	6,89	15,02	22,45
2021	18,13	18,19	5,45	5,46	8,23	34,22	18,95	9,23	18,63	63,68	18,95	7,76	18,91
2022	4,86	2,03	18,76	48,46	65,25	76,19	35,39						35,85
Média	23,39	19,81	17,45	24,20	34,01	40,78	41,90	37,38	36,10	44,86	35,85	28,89	32,03

Os estudos de atualização da hidrologia na PCH Toca do Tigre indicam que a vazão média de longo período esperada para o local da barragem é 32,03 m³/s no período de 1964 a 2022.

4.4.1.4 Curva de Permanência de Vazões Médias Mensais

Com os dados das vazões médias mensais definidos foi possível obter a curva de permanência de vazões para o local da barragem da PCH Toca do Tigre. A Tabela 11 abaixo indica as vazões obtidas. O Gráfico 1 apresenta a curva completa com todos os dados disponíveis.

Tabela 11 – Permanência de Vazão para PCH Toca do Tigre

perman. (%)	Toca (m³/s)	perman. (%)	Toca (m³/s)	perman. (%)	Toca (m³/s)
0,25%	229,12	25%	161,59	75%	136,52
0,75%	222,84	30%	157,43	80%	134,36
1%	222,49	35%	154,66	85%	132,74
3%	208,29	40%	151,87	90%	129,15
5%	197,75	45%	149,14	95%	125,65
8%	189,10	50%	146,96	97%	123,22
10%	185,49	55%	144,31	98%	120,46
13%	178,45	60%	142,65	99%	111,55
15,0%	175,07	65%	140,53	99,5%	106,51
20%	167,23	70%	138,25	99,75%	99,73

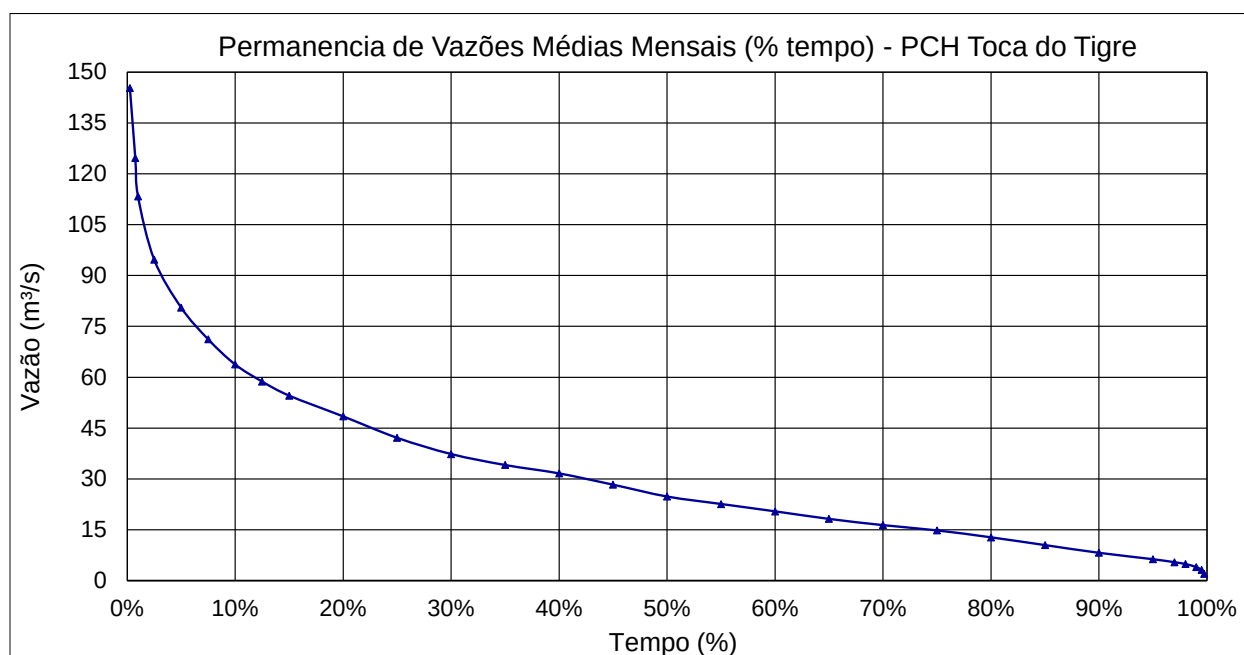


Gráfico 1 – Curva de Permanência de Vazões – PCH Toca do Tigre

4.4.1.5 Vazões de Cheia – PCH Toca do Tigre

Os estudos hidrológicos realizados permitiram a obtenção da vazão máxima média diária ao longo de todos os meses do período de estudo para o local da barragem da PCH Toca do Tigre. Os valores estão indicados na Tabela 12 abaixo com destaque ao mês em que ocorre o maior valor anual de vazão e indicado na última coluna (máximo).

Tabela 12 – Vazão Máxima Média Diária – PCH Toca do Tigre

Vazão Máxima Diária Mensal - PCH Toca do Tigre (m³/s)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Máximo
1964		8,95	35,96	141,14	93,64	20,73	16,86	51,93	73,80	64,49	21,18	16,45	141,14
1965	12,89	15,23	9,28	16,86	97,35	21,18	173,52	225,68	252,47	116,58	40,88	167,23	252,47
1966	38,67	73,80	59,36	44,28	16,86	65,79	80,70	171,71	195,00	210,14	49,53	94,38	210,14
1967	50,13	67,10	76,54	12,89	17,70	31,26	113,43	241,62	89,26	58,73	33,84	18,55	241,62
1968	12,89	32,80	6,40	58,10	17,70	22,08	86,37	8,61	49,53	86,37	51,93	29,24	86,37
1969	389,13	114,90	23,43	38,65	108,40	106,80	17,31	23,43	34,32	26,25	327,09	22,06	389,13
1970	24,35	12,63	14,13	8,51	235,20	156,70	97,36	45,48	52,70	83,82	17,31	91,25	235,20
1971	47,84	18,99	27,21	52,70	66,93	116,55	140,47	156,70	38,65	20,28	14,90	9,15	156,70
1972	33,27	12,63	16,49	60,31	27,21	399,42	187,10	339,18	261,27	120,70	85,28	122,38	399,42
1973	103,62	59,66	23,89	31,20	173,56	92,01	244,86	193,01	103,62	76,61	52,09	69,65	244,86
1974	57,10	27,21	17,31	22,06	323,49	104,41	22,51	101,26	75,20	25,77	22,97	162,25	323,49
1975	94,29	67,61	122,38	83,82	31,20	111,63	29,68	294,08	109,30	235,20	66,76	92,91	294,08
1976	166,93	28,79	15,33	16,55	51,78	27,81	190,05	61,00	100,26	38,10	205,04	29,28	205,04
1977	38,10	33,86	16,14	9,73	7,73	128,96	109,30	153,95	100,26	21,72	67,41	70,70	153,95
1978	12,61	9,05	9,05	4,23	4,23	12,24	65,47	20,38	58,49	15,73	117,82	19,94	117,82
1979	8,71	13,76	42,50	120,18	216,30	43,07	83,65	149,41	134,65	304,55	103,99	463,16	463,16
1980	101,00	26,36	23,54	10,78	270,18	14,93	37,56	36,49	86,47	80,17	122,55	80,87	270,18
1981	26,36	24,00	10,43	32,31	10,07	24,94	12,24	7,10	27,32	22,17	53,58	107,02	107,02
1982	13,37	19,07	14,54	5,89	13,37	89,31	113,15	130,57	78,11	248,11	156,70	59,11	248,11

Vazão Máxima Diária Mensal - PCH Toca do Tigre (m³/s)

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Máximo
1983	24,47	242,70	303,38	217,34	225,68	95,52	486,99	175,87	85,59	378,64	53,58	24,52	486,99
1984	41,68	31,32	15,89	116,60	263,68	154,53	241,77	388,40	234,63	345,22	115,04	29,40	388,40
1985	19,47	53,58	77,40	286,29	376,21	63,83	131,78	207,84	103,62	37,39	22,22	10,87	376,21
1986	34,64	23,94	77,40	198,23	151,07	202,05	137,55	60,13	68,24	127,45	219,41	47,25	219,41
1987	59,66	35,19	34,20	273,55	217,34	156,70	304,40	148,10	49,88	114,48	48,08	22,97	304,40
1988	45,72	50,49	6,62	101,36	87,36	88,88	24,32	13,65	79,22	43,40	53,57	14,75	101,36
1989	32,55	32,55	11,20	60,58	52,33	39,47	138,02	64,55	206,81	79,22	33,07	20,36	206,81
1990	107,84	22,97	16,28	218,60	575,34	528,83	120,41	49,28	171,05	149,96	94,26	45,72	575,34
1991	23,87	21,21	12,58	18,27	162,29	162,29	95,04	106,20	14,75	31,54	16,28	83,62	162,29
1992	27,60	102,16	29,05	49,88	290,95	131,75	200,49	68,62	125,59	70,00	88,12	25,24	290,95
1993	57,99	45,13	31,54	34,62	87,36	57,99	136,21	38,92	82,14	162,29	52,33	77,77	162,29
1994	35,68	164,22	43,98	148,10	384,64	110,71	396,83	49,38	104,92	308,07	98,44	126,12	396,83
1995	103,28	39,88	66,38	34,34	11,69	96,05	34,88	15,88	165,99	251,38	30,13	13,53	251,38
1996	56,34	165,05	69,87	39,31	48,77	84,45	114,91	229,89	133,22	197,99	57,65	186,12	229,89
1997	51,25	120,90	20,11	16,29	30,65	123,50	100,05	459,07	90,57	263,49	302,21	165,05	459,07
1998	111,54	127,88	513,18	151,22	363,84	57,65	81,45	209,11	259,06	181,25	48,15	28,61	513,18
1999	21,90	53,77	12,78	109,04	59,62	128,77	446,90	35,42	51,87	185,14	31,69	100,85	446,90
2000	35,97	36,52	39,31	38,19	53,14	118,32	88,26	30,13	89,02	313,97	77,76	124,37	313,97
2001	82,95	80,71	33,27	38,75	76,63	49,79	46,00	17,86	138,63	278,07	43,55	23,15	278,07
2002	22,23	11,72	15,04	16,63	234,13	154,86	55,03	109,06	298,72	134,11	97,72	207,08	298,72
2003	64,74	96,87	91,83	64,02	78,95	57,74	49,79	19,99	15,43	118,14	36,53	120,90	120,90
2004	78,17	27,99	10,36	10,36	70,58	42,34	31,08	16,22	65,46	87,72	75,86	21,32	87,72
2005	11,03	13,90	7,86	112,66	143,13	455,00	56,38	23,15	34,85	99,43	48,51	27,99	455,00
2006	50,43	14,65	11,03	11,72	9,07	14,27	55,03	62,60	29,52	55,03	174,51	123,50	174,51
2007	48,51	44,16	102,89	69,10	370,11	53,70	155,78	84,48	96,02	116,30	114,47	33,76	370,11
2008	41,74	15,04	19,99	161,32	49,79	128,77	51,08	44,16	25,04	279,20	241,62	31,08	279,20
2009	23,61	9,71	9,39	6,99	84,48	56,38	136,82	138,63	164,11	86,90	421,60	136,82	421,60
2010	47,25	35,97	42,34	108,17	283,75	76,63	102,02	47,88	146,71	51,08	35,41	211,16	283,75
2011	46,63	147,60	66,18	120,90	47,88	336,75	463,16	132,32	51,08	252,47	37,66	13,90	463,16
2012	22,69	19,99	39,97	15,43	13,90	26,01	96,02	42,94	59,11	156,70	109,96	118,14	156,70
2013	48,51	33,76	82,89	102,89	42,34	51,08	40,56	169,76	60,50	269,06	51,08	117,22	269,06
2014	420,28	30,56	53,70	367,60	143,13	573,86	177,39	64,02	460,43	603,62	109,96	72,07	603,62
2015	290,05	98,92	36,90	53,58	92,68	86,22	207,08	63,04	39,74	92,68	288,90	230,95	290,05
2016	69,82	47,84	208,60	158,54	59,59	39,74	72,76	63,39	42,97	158,54	88,62	33,08	208,60
2017	50,04	112,77	57,22	340,40	388,49	544,66	51,96	115,01	30,45	134,56	59,25	38,03	544,66
2018	50,04	29,42	33,61	22,89	60,96	51,64	36,90	29,94	50,04	284,89	207,08	62,35	284,89
2019	36,07	33,61	180,28	57,90	214,76	94,33	28,92	20,87	18,50	58,91	76,13	18,71	214,76
2020	20,00	31,23	13,39	14,51	43,26	91,45	321,70	86,62	40,61	18,92	32,81	70,92	321,70
2021	76,89	51,64	12,48	7,49	25,23	75,38	38,31	16,06	83,45	271,86	30,71	17,06	271,86
2022	10,42	6,51	222,02	243,78	215,27	125,69	50,04						243,78
Média	64,39	51,36	55,87	84,54	135,13	121,65	125,86	105,69	103,25	150,08	93,70	79,34	603,62

A tabela indica um comportamento variado em relação a ocorrência de vazões de enchente onde apenas o mês de fevereiro não possui um evento de máxima anual. Os meses com maior ocorrência de cheias foram maio (10) e outubro (13) com 39% das ocorrências nesses dois meses. A Tabela 13 apresenta o mês de ocorrência da máxima cheia anual para o todo o período de dados. No Gráfico 6 do RPS estão distribuídas as vazões máximas anuais na PCH Toca do Tigre. Pode-se observar no gráfico (linha vermelha) o efeito de amortecimento do reservatório de Ombreiras com redução dos picos de cheias na bacia hidrográfica

Tabela 13 – Mês de Ocorrência de Máximas Cheia Anuais

Mês	Cheias	Mês	Cheias	Mês	Cheias
jan	2	mai	10	set	3
fev	0	jun	3	out	13
mar	2	jul	8	nov	5
abr	3	ago	7	dez	3

Com os valores de vazão máxima anual disponíveis foram calculadas as vazões extremas que para a PCH Toca do Tigre foi realizado pela distribuição de Gumbel, devido a assimetria menor que 1,5. Os resultados obtidos também estão indicados na Tabela 14 abaixo.

Tabela 14 – Vazões Máximas para diversos Tempos de Recorrência e Parâmetros Cálculo

Vazão Máx TR anos	Toca Tigre (m³/s)	Distribuição Gumbel	
5	364,73	Parâmetros	Toca
10	439,23	Média	289,29
25	533,36	Assimetria	0,55
50	603,19	Desvio Padrão	127,28
100	672,51	alfa	99,28
500	832,69	mi	215,82
1.000	901,55		
10.000	1.130,19		

Para o cálculo da vazão instantânea, ou vazão de pico, é necessário realizar a correção das vazões máximas diárias pelo coeficiente de Fuller, que está relacionado a área da bacia hidrográfica. Na PCH Toca do Tigre com a área de drenagem de 1.086 km² o coeficiente de Fuller resultante é de 1,319, ou seja, a vazão de pico é 1,319 vezes a vazão média diária. A Tabela 15 indica a vazão máxima instantânea para os diversos tempos de recorrência (TR).

Tabela 15 – Vazão Máxima Instantânea para diferentes TR – PCH Toca do Tigre

Vazão Máx inst TR anos	Toca Tigre (m³/s)	A dren km²	Coeficiente Fuller
5	481,20	1.086	1,319
10	579,49		
25	703,67		
50	795,80		
100	887,25		
500	1.098,58		
1.000	1.189,43		
10.000	1.491,08		

No projeto básico foi considerada a vazão máxima de projeto de 1.737 m³/s para o tempo de recorrência de 1.000 anos. Nessa atualização dos estudos hidrológicos a vazão de 1.000 anos foi calculada como sendo 1.189,43 m³/s ou seja 31% abaixo do projeto básico, diferente do que ocorreu com a vazão média de longo período que se manteve quase inalterada. O efeito de amortecimento do reservatório das usinas de montante (PCH Carlos Gonzatto e PCH Marco Baldo) reduzindo o pico das cheias ajuda a explicar essa redução das vazões.

Na Tabela 16 abaixo estão indicados os dados de cheia obtidos para o RPS, cheia normal e cheia instantânea, e a cheia obtida no projeto básico da PCH Toca do Tigre. O mesmo acontece no Gráfico 2 onde estão plotadas em escala logarítmica para o eixo x, tempo de recorrência, as vazões de cheia normal e as máximas instantâneas obtidas no Projeto Básico Consolidado e no RPS para os diversos tempos de recorrência.

Tabela 16 – Vazões de Cheia na PCH Toca do Tigre – RPS e Projeto Básico

TR	RPS (m³/s)	RPS Inst (m³/s)	PB (m³/s)
5	364,73	481,20	626,00
10	439,23	579,49	780,00
25	533,36	703,67	975,00
50	603,19	795,80	1.119,00
100	672,51	887,25	1.263,00
500	832,69	1.098,58	1.594,00
1.000	901,55	1.189,43	1.737,00
10.000	1.130,19	1.491,08	2.210,00

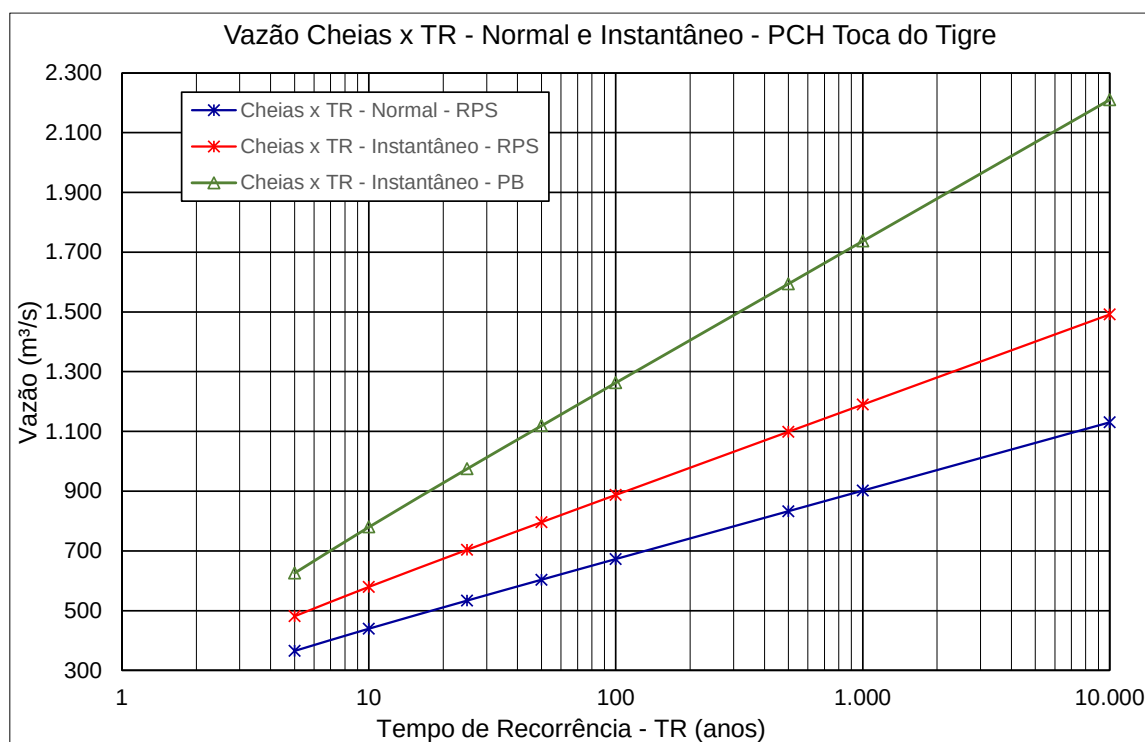


Gráfico 2 – Vazão e Tempo de Recorrência – RPS (Normal e Instantâneo) e Projeto Básico

4.4.2 Características Geológicas no Local da Barragem

A região de implantação da PCH constitui-se majoritariamente por basaltos do Grupo São Bento, Formação Serra Geral, sobrepostas por sedimentos da Formação Tupanciretã. O desenho 1001-TT-DE-210-12-003 ilustra as unidades litoestratigráficas da região em apreço.

A Formação Serra Geral (idade Cretácea), produto de vulcanismo básico e ácido, é a unidade que recobre grande parte da região Norte do estado do Rio Grande do Sul. É formada por sequências de derrames subhorizontais e sucessivos de basaltos, basalto andesitos, riodacitos e riolitos de filiação toleítica. Intercalam-se arenitos intertrap na base, litarenitos e sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo da sequência.

Na região, estas rochas ígneas são representadas por três Fácies:

- Fácies Chapecó (K1 α ch): derrames ácidos variando entre riodacitos a riolitos, matriz vitrofírica contendo pórfiros.
- Fácies Paranapanema (K1 β pr): derrames basálticos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares espessos preenchidos por quartzo (ametista), zeólitas, carbonatos, celadonita, Cu nativo e barita, compreendendo as maiores concentrações das jazidas de ametista do estado.
- Fácies Gramado (K1 β gr): derrames basálticos granulares finos a médio, melanocráticos cinza, horizontes vesiculares preenchidos por zeólitas, carbonatos, apofilitas e saponitas, estruturas de fluxo e paloehoe comuns, intercalações com arenitos intertrap.

As rochas cenozóicas siliciclásticas da Formação Tupanciretã, afloram em pequenas porções no estado sem continuidade física. São constituídas por arenitos, arenitos conglomeráticos, conglomerados e finas camadas de argilas.

Do ponto de vista estrutural, a região apresenta um trend de lineamentos NW-SE, referenciados aos eventos de vulcanismo e arqueamento da bacia do Paraná. Estes estão abalizados com a direção preferencial das principais drenagens das proximidades, afluentes pela margem esquerda do Rio Uruguai. Secundariamente, ocorrem lineamentos de direção NE-SW, possivelmente relacionados a reativações de fraturas do embasamento.

4.4.2.1 Sondagens rotativas realizadas e tratamentos

Na fase do Projeto Básico Consolidado elaborado pela Intertechne para o conhecimento das características do maciço onde seriam assentadas as estruturas da PCH Toca do Tigre e definição dos tratamentos que se fizessem necessários, foram utilizadas as investigações geológicas elaborados em 2001 e 2007, pelas empresas FR – Perfurações e Construções (série "0") e RW – Geologia e Geotecnia Ltda (série "100"), cuja localização descrição está apresentado na Tabela 17. Estas informações serviram como fonte para elaboração do mapa regional do desenho 1001-TT-DE-210-12-003.

A geologia local da PCH Toca do Tigre é apresentada no desenho 1001-TT-DE-210-12-004. Uma descrição geológica mais detalhada das estruturas é feita a partir das seções geológicas apresentadas nos seguintes desenhos: 1001-TT-DE-210-12-005, perfil geológico passando pelo eixo da barragem e eixo da adufa de desvio; 1001-TT-DE-210-12-006, perfil geológico passando ao longo do circuito de geração. Na Tabela 17, é apresentado um resumo dos topos de rocha firme e de rocha sã, interpretados através das fotos de sondagens e perfis de sondagem disponibilizados para o estudo.

Tabela 17 - Investigações Geológicas - PCH Toca do Tigre

FURO	PROFUNDIDADES DE TOPOS	
	ROCHA FIRME	ROCHA SÃ
SM-151	-	1,70
SM-152	3,00	7,90
SM-153	-	6,50
SM-154	-	2,90
SM-155	-	2,80
SM-156	7,00	10,00
SM-157	8,90	15,30
SM-158	1,80	3,10
SM-159	0,10	2,00
SM-160	-	0,90
SM-161	3,50	9,60
SM-162	3,50	7,30
SR-06	2,60	7,00
SR-07	-	8,70
SR-08	-	2,50
SR-09	5,00	7,50
SR-10	4,00	9,40

A fundação das estruturas descritas é composta, em geral, por rocha basáltica sã a pouco alterada, tendo sido executados escavações e tratamentos de impermeabilização e consolidação nos locais onde as sondagens e escavações mostraram essa necessidade.

Os tratamentos de injeção de impermeabilização realizados nas barragens/adufa/ circuito de geração estão mostrados nos desenhos nº 1001-TT-DE-410-21-002 e 003, 1001-TT-DE-411-21-001, 1001-TT-DE-412-21-001, 1001-TT-DE-414-21-001 a 005, 1001-TT-DE-415-21-001 e 1001-TT-DE-416-21-001 e 002.

4.4.2.2 Laje de proteção nos pés de montante e jusante do Vertedouro

Ao longo do pé do paramento de montante de toda a estrutura do vertedouro (desenho nº 1001-TT-DE-413-50-001 a 004), foi executada laje de concreto armado com largura de 1,5 m, com duas finalidades: prover condições para a execução de injeções para consolidação e

impermeabilização do maciço de fundação; e propiciar a redução da subpressão no pé de montante da Barragem.

Ao longo do pé do paramento de jusante de toda a estrutura, foi também prevista pelo projeto, laje de concreto armado com largura de 6,00 m com barras de ancoragem, com a finalidade de evitar a erosão no pé de jusante.

4.4.3 Descrição e Aspectos Construtivos das Estruturas do Barramento

4.4.3.1 Barragem Margem Direita, Vertedouro e Barragem Margem Esquerda

As estruturas das barragens da margem direita foram construídas em concreto compactado a rolo, CCR, $f_{ck} > 8$ MPa (aos 180 dias), e concreto convencional CLASSE B, $f_{ck} = 15$ MPa (aos 90 dias) conforme detalhes da Figura 4.

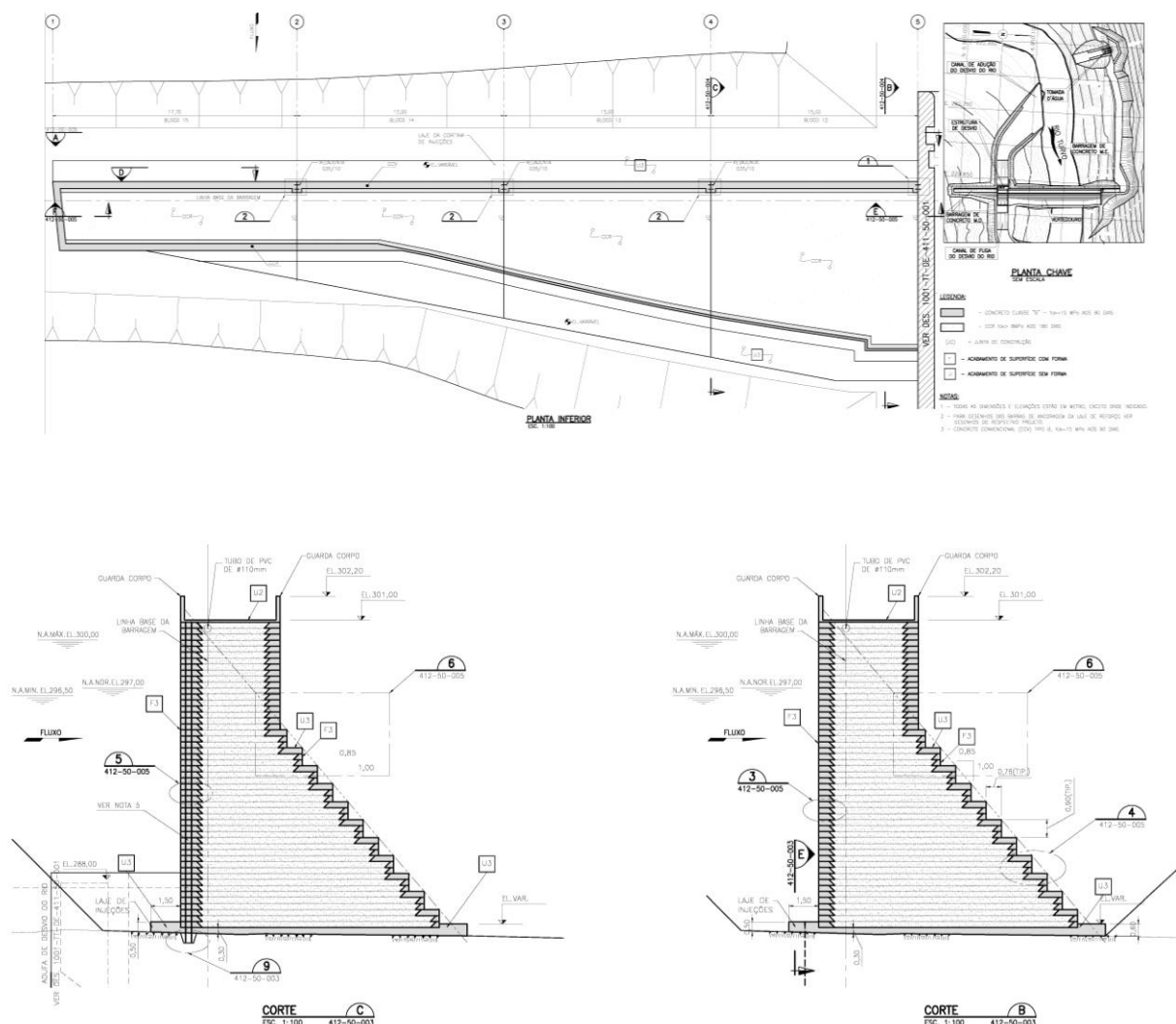


Figura 13 - Barragem da Margem Direita - Concreto Compactado a Rolo CCR e CCV Classe B (des.1001-TT-DE-412-50-003-R101 e 1001-TT-DE-412-50-004-R101)

Já o Vertedouro, mostrado na Figura 5, foi executado também com a técnica do Concreto Compactado a Rolo – CCR, $f_{ck} > 8$ MPa (aos 180 dias) e com execução, no paramento de

montante, de uma camada de concreto convencional com vibrador, CLASSE B, $f_{ck} > 15$ MPa (aos 90 dias), com no mínimo de 50 cm de espessura, para a vedação do maciço de CCR e na crista e paramento de jusante uma camada de concreto convencional com vibrador, CLASSE D, $f_{ck} > 25$ MPa (aos 28 dias).

As juntas de contração do maciço de concreto do Vertedouro foram executadas a cada 15,00 m, a partir da laje de concreto convencional da face de montante, estendendo-se para o corpo do maciço de CCR.

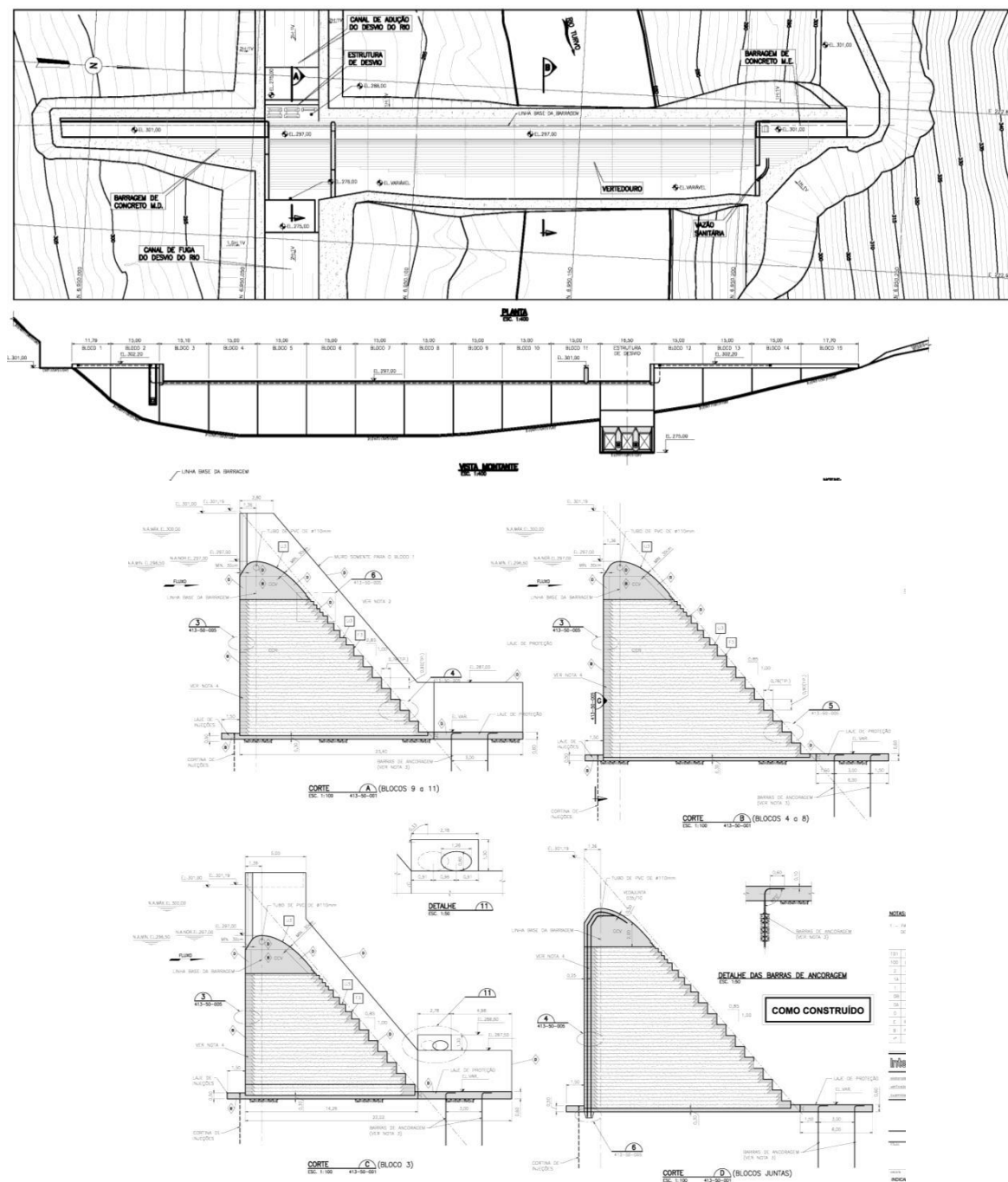


Figura 14 - Vertedouro - CCR e CCV (des. 1001-TT-DE-413-50-004-R101 e 1001-TT-DE-400-00-008-R100)

A Barragem da margem esquerda também foi executado em Compactado a Rolo – CCR, $f_{ck} > 8$ MPa (aos 180 dias) e com execução, no paramento de montante e jusante, de uma camada de concreto convencional com vibrador, CLASSE B, $f_{ck} > 15$ MPa (aos 90 dias).

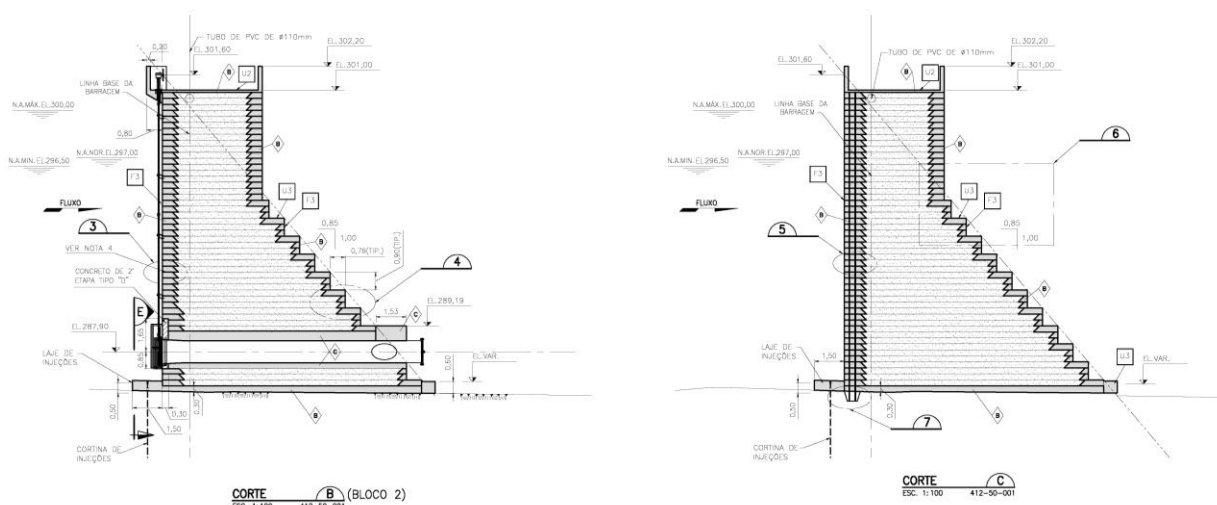


Figura 15 - Barragem da Margem Esquerda - Concreto CCR e CCV (des. 1001-TT-DE-412-50-002-R101)

Foi utilizado no controle de qualidade da compactação do CCR, durante a execução do maciço do vertedouro e na barragem da margem direita e esquerda o uso de densímetro nuclear. Com este pôde-se estabelecer os parâmetros adequados às exigências das especificações técnicas da obra, correlatas à compactação do CCR, com enfoque na avaliação da influência do número de passadas dos rolos compactadores, da homogeneidade das camadas e da umidade das dosagens do CCR.

4.4.3.2 Adufa de Desvio

A Adufa de Desvio é uma estrutura do tipo gravidade, está sob o vertedouro de soleira livre, é em compactado a rolo e concreto convencional nas faces, dotada de três aberturas, comportas ensecadeira e comporta vagão para fechamento, com dimensões de 3,50 de largura e 5,00 m de altura. Foi executada também com a técnica do Concreto Compactado a Rolo – CCR, $f_{ck} > 8$ MPa (aos 180 dias) e com execução, no paramento de montante, de uma camada de concreto convencional com vibrador, CLASSE B, $f_{ck} > 15$ MPa (aos 90 dias), com no mínimo de 50 cm de espessura, para a vedação do maciço de CCR e na crista e paramento de jusante uma camada de concreto convencional com vibrador, CLASSE D, $f_{ck} > 25$ MPa (aos 28 dias). A Figura 7 apresenta detalhes da estrutura.

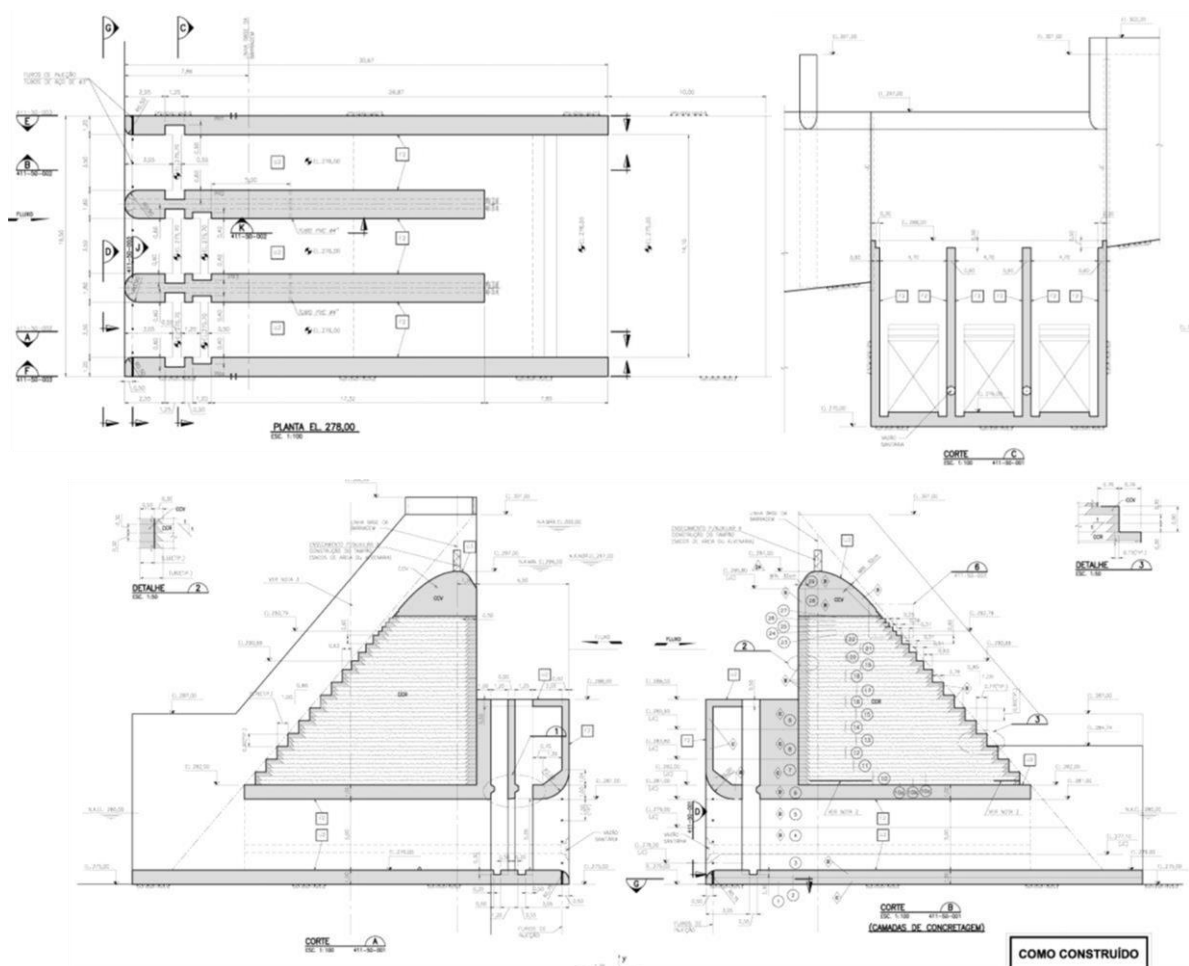


Figura 16 - Adufa de Desvio - Concreto CCR e CCV (des. 1001-TT-DE-411-50-001-R100 a 1001-TT-DE-411-50-003-R100)

Foi utilizado no controle de qualidade da compactação do CCR, durante a execução do maciço da Adufa de Desvio o uso de densímetro nuclear. Com este pôde-se estabelecer os parâmetros adequados às exigências das especificações técnicas da obra, correlatas à compactação do CCR, com enfoque na avaliação da influência do número de passadas dos rolos compactadores, da homogeneidade das camadas e da umidade das dosagens do CCR.

4.4.4 Critérios sismológicos

A região do sítio da PCH Toca do Tigre 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.

4.5 Operação e Manutenção da Barragem

4.5.1 Plano de Esvaziamento Reservatório

Este plano não se aplica a PCH Toca do Tigre, devido não existir descarregadores de fundo, pois as três adufas de desvio foram tamponadas após o desvio do rio na fase de construção da obra.

4.5.2 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.

4.5.3 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 está detalhado no item 6 - Manuais de procedimentos dos roteiros de inspeções de Segurança e Monitoramento e Relatório de Segurança da Barragem. Estes procedimentos devem servir de base para avaliar a vida útil do ativo e permitir a realização das análises de condição.

5 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL E QUALIFICAÇÃO TÉCNICA

5.1 Estrutura Organizacional

Para segurança da Barragem, medidas preventivas e corretivas deverão ser tomadas.

Para isso, será necessário criar 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 situação 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.

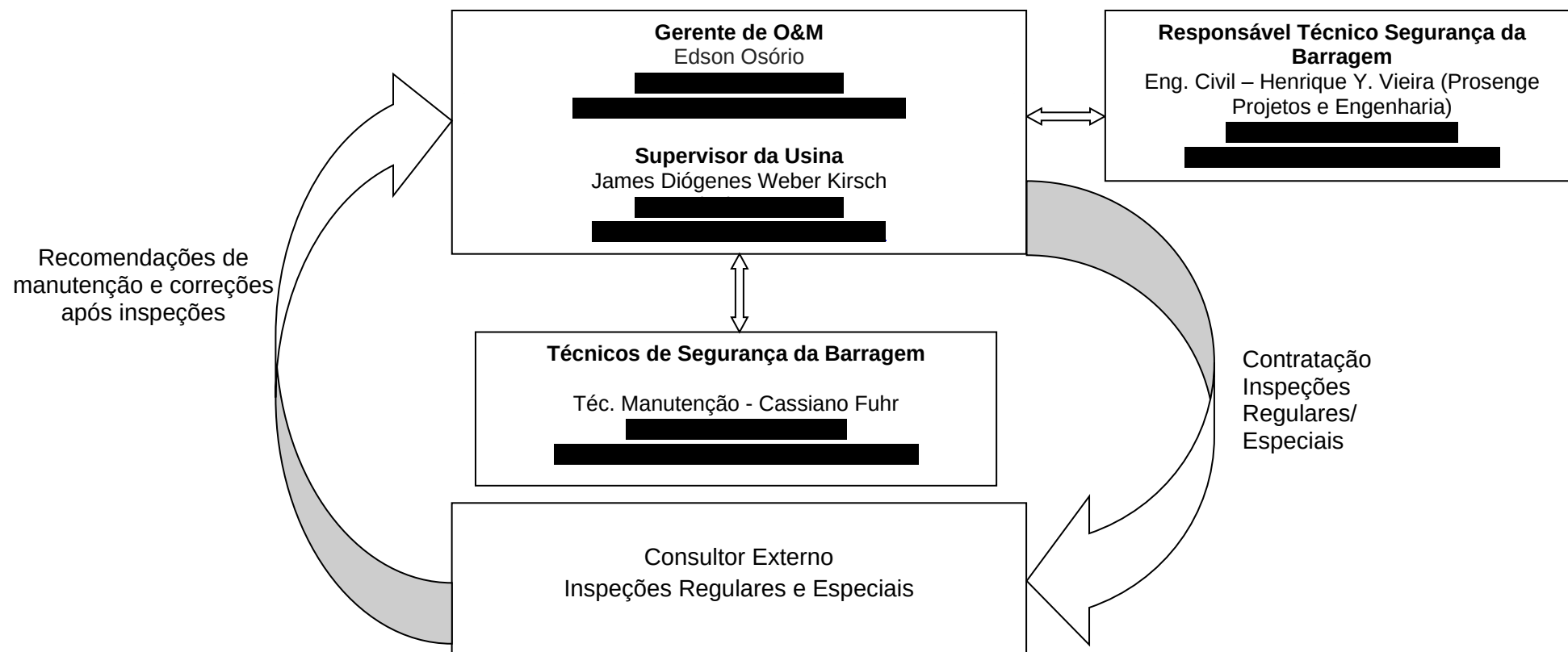
Será de responsabilidade da Operadora:

- 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 Supervisor da Usina, o Técnico de Segurança da Barragem (Operador da Usina) e o Consultor externo, conforme descrito abaixo:

- **Responsável Técnico da Segurança da Barragem:** é o responsável pela sua operação e manutenção da Barragem. Todas as informações relativas à segurança da Barragem serão concentradas neste profissional, sendo que o Gerente da Usina e Supervisor da Usina se reportaram a ele em qualquer situação de emergência da barragem para tomada de decisões e ações.
- **Gerente de O&M:** é o responsável pela operação e manutenção da usina, deverá reportar ao Responsável Técnico da Segurança da Barragem qualquer anormalidade.
- **Supervisor da Usina:** é o responsável por programar a realização das inspeções regulares na Barragem, deverá comunicar qualquer anormalidade à gerência.
- **Técnico de Segurança da Barragem:** é o responsável pela realização das inspeções regulares na Barragem. Ele deverá comunicar ao supervisor da Usina as informações regulares e a eventual anormalidade detectada nas inspeções.
- **Consultor Externo:** será contratado pelo gerente da usina para realização das inspeções civis periódicas e especiais. O consultor também avaliará os dados da instrumentação realizados até o momento da inspeção. Ele se portará ao gerente da usina, 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 Toca do Tigre.



Fluxograma 1 – Estrutura organizacional equipe de segurança da Barragem – PCH Toca do Tigre

5.1.1 Estrutura Organizacional na usina da Segurança da Barragem

RESPONSÁVEL TÉCNICO DE SEGURANÇA DE BARRAGEM

Henrique Yabrudi Vieira – Prosenge Projetos e Engenharia - Engenheiro Civil (Consultor Técnico)

- Atribuições: Gestão do Plano de Segurança de Barragem;
- Atividades: Preenchimento do Formulário de Segurança de Barragem; Auxílio na Contratação do Consultor externo para Inspeção de Segurança Regular - ISR; Auxílio no acompanhamento da Manutenção Civil das Instalações; Auxílio no Acompanhamento da análise de documentação do PSB (inspeções de rotina, planilhas de auscultação).

CONSULTOR EXTERNO – Atualmente Prosenge Projetos e Engenharia

Prosenge Projetos e Engenharia – CNPJ 21.082.963/0001-51

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; 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

Gerente de Operações e Manutenção: Eng Edson Osorio

- Atribuições: Coordenador do PAE 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 as ações do Plano de Ações Emergenciais – PAE.

EQUIPE OPERACIONAL

Supervisor da Usina

- Atribuições: Programar inspeções regulares e acionamentos em caso de emergência – PAE.
- Atividades: Condução das atividades relacionadas à inspeção e Segurança de Barragem reportando toda e qualquer anomalia encontrada a gerência, coordena as ações de comunicação em caso de emergências – PAE.

Técnicos

- Atribuições: Execução das atividades relacionadas à segurança de barragens.

- Atividades: Inspeccionar semanalmente as estruturas com emissão mensal da Lista de Verificações das possíveis anomalias encontradas.

5.2 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 – 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 e Anuais);
- Estruturas de terra/enrocamento (Barragem e Taludes);
- Estruturas de Concreto (Vertedouro, Tomada d'Água e Casa de Força).

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

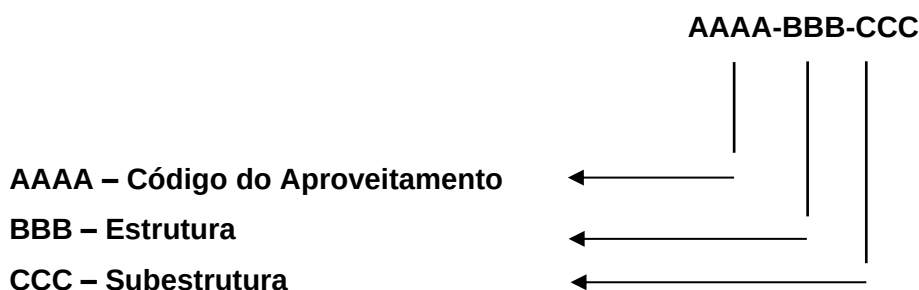
6 MANUAIS DE PROCEDIMENTOS DOS ROTEIROS DE INSPEÇÕES DE SEGURANÇA E MONITORAMENTO E RELATÓRIO DE SEGURANÇA DA BARRAGEM

6.1 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 PCHTTG – Estruturas e Edificações, da Pequena Central Hidrelétrica Toca do Tigre, 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.

6.1.1 PCHTTG-BAD → BARRAGEM DIREITA

A barragem é de CCR, situada na margem direita com altura máxima sobre a fundação de 17 m.

PCHTTG-BAD-PM - PARAMENTO DE MONTANTE

Inclinação média do talude controle: vertical

Quantidade de bermas: 0

Material: CCR

Tipo da proteção: concreto convencional

PCHTTG-BAD-CR - CRISTA

Largura: 5 m

Pavimento: concreto

PCHTTG-BAD-PF – PARAMENTO DE JUSANTE

Inclinação média do talude controle: 1 (V) – 0,85 (H)

Quantidade de bermas: 0

Material: CCR

Tipo de proteção: concreto convencional

6.1.2 PCHTTG-BAE → BARRAGEM ESQUERDA

A barragem ombreira esquerda é concreto CCR com altura máxima sobre a fundação de 19,00 m.

PCHTTG-BAE-PM – PARAMENTO DE MONTANTE

Inclinação média do talude controle: vertical

Quantidade de bermas: 0

Material: CCR

Tipo da proteção: concreto convencional

PCHTTG-BAE-CR - CRISTA

Largura: 5 m

Pavimento: concreto

PCHTTG-BAE-PJ – PARAMENTO DE JUSANTE

Inclinação média do talude controle: 1 (V) – 0,85 (H)

Quantidade de bermas: 0

Material: CCR

Tipo da proteção: concreto convencional

6.1.3 PCHTTG-VT → VERTEDOIRO

Vertedouro de CCR e convencional de soleira livre.

PCHTTG-VT-FJ → FACE DE JUSANTE

Tipo: laje em degraus

Quantidade: vários níveis

Material: Concreto

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

PCHTTG-VT-CR → CRISTA

Cota de projeto: 297,00 m

Comprimento: 148,00 m

Largura: 2,80 m

Obs.: Ressalta-se que esta parte da estrutura do Vertedouro será inspecionada quando houver rebaixamento do nível do reservatório. A soleira vertente está sobre a adufa de desvio.

6.1.4 PCHTTG-TA → TOMADA D'ÁGUA

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

PCHTTG-TA-CR → CRISTA

Largura: 7,80 m

Pavimento: concreto

PCHTTG-TA-EC → ESTRUTURA DE CONCRETO

Estrutura: concreto armado

Número de vãos de comportas: 1

Dimensões dos vãos das comportas: 5,40 × 5,40 m

6.1.5 PCHTTG-TU → TÚNEL DE ADUÇÃO

Escavado em rocha.

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

PCHTTG-TU-TU → TÚNEL

Tipo: escavado em rocha

6.1.6 PCHTTG-CH → CHAMINÉ DE EQUILIBRIO

Escavado em rocha, com mureta de proteção em concreto

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

PCHTTG-CH-AE → ÁREA EXTERNA

Tipo: escavado em rocha, mureta de concreto e cercas

PCHTTG-CH-AE → ÁREA INTERNA

Tipo: escavado em rocha

6.1.7 PCHTTG-CO → CONDUTO FORÇADO

Conduto forçado em trecho subterrâneo envolto por concreto.

Obs.: A inspeção interna nesta estrutura não é possível devido o mesmo estar aterrado.

6.1.8 PCHTTG-CF → CASA DE FORÇA

PCHTTG-CF-AE → ÁREA EXTERNA

El. 272,00 m

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

PCHTTG-CF-AI → ÁREA INTERNA

Estrutura: piso em concreto, fechamento metálico e alvenaria

PCHTTG-CF-CF → CANAL DE FUGA

Tipo: escavado em rocha

6.1.9 PCHTTG-GE → GERAL

PCHTTG-GE-AC → ACESSOS E LIMITES PROPRIEDADES

Tipo: estradas vicinais com tratamento primário

PCHTTG-GE-SB → SUBESTAÇÃO

Tipo: pátio com brita e bases de concreto

PCHTTG-GE-TU → TALUDES DA USINA

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

PCHTTG-GE-RE → RESERVATÓRIO

Tipo: boias sinalizadoras e assoreamento

6.2 Planejamento das Inspeções

6.2.1 Tipos e Frequência das Inspeções

A tabela abaixo apresenta resumo das inspeções anuais.

Tabela 18 - Tipo e frequência das inspeções de segurança

Tipo	Frequência	Total Anual	Executor
Inspeção Rotineira	1 x mês	12	Operação RIP – 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.

6.2.1.1 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.

6.2.1.2 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

(Classe B). 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.

6.2.1.3 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.

6.2.2 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.

6.2.3 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.

6.2.4 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>.

6.2.4.1 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;
- Indícios de assoreamento;
- Ocorrência de fortes ondas.

6.2.4.2 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 17 apresenta-se um esquema ilustrando as anomalias mais usuais observadas em barragens de terra ou enrocamento.

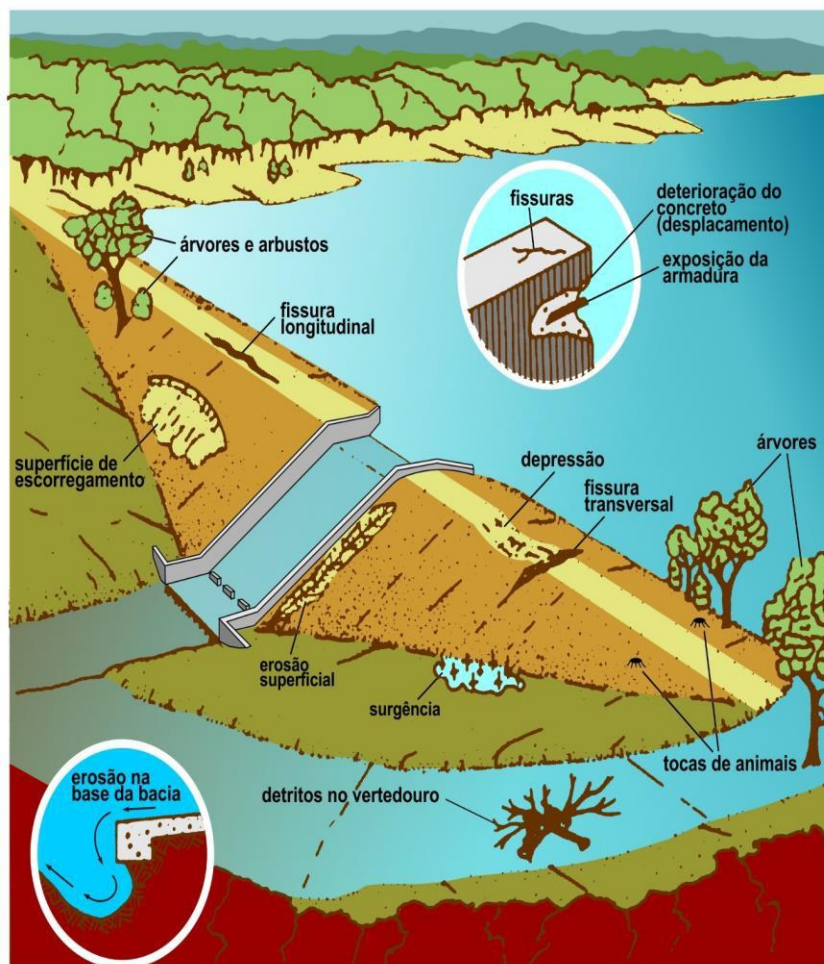


Figura 17 – Representação esquemática das anomalias

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.

6.2.4.3 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 ($e > 0,5 \text{ mm}$);
- Fissuras tipo “mapa”;
- Juntas de contração bem abertas;
- Recalque diferencial pronunciado entre blocos;
- Desalinhamento do guarda-corpo;
- Desplacamento 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 ($e > 0,5 \text{ mm}$);
- Desplacamento do concreto;
- Exposição da armadura;
- Vegetação excessiva no pé da barragem.

TOMADA DE ÁGUA

- Desplacamento superficial do concreto;
- Fissuração no concreto ($e > 0,5 \text{ mm}$);
- 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;
- Desplacamento 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.

6.2.4.4 Instrumentação de Auscultação

- Boa proteção;
- Acesso adequado;
- Limpeza adequada;
- Identificação adequada;
- Execução das leituras e tabulação;
- Instrumento em boas condições;
- Calibração das leitoras.

6.3 Resumo das Fichas de Inspeções

6.3.1 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	Normal - Não ocorre anomalia ou as que existem não compromete a segurança da barragem, mas devem ser monitoradas;
2	Atenção - Anomalia não compromete estrutura, mas exige monitoramento/controle ou reparo;
3	Alerta - Anomalia representa risco à segurança da barragem, exige providências para manutenção das condições de segurança;
4	Emergência - Anomalia representa risco de ruptura iminente, exigindo providências para prevenção e mitigação de danos humanos e materiais.

Quadro 3 – Resumo das Fichas Inspeção

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

6.3.2 Inspeções Rotineiras

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

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

6.4 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).

Quadro 4 – 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
IT11	Leituras dos Marcos Superficiais	Barragens Margens Direita e Esquerda	1 leitura semestral	Especializada (Ficha de Leitura 1)

6.5 Fluxo de informação, instrumentação de auscultação e equipe de inspeção

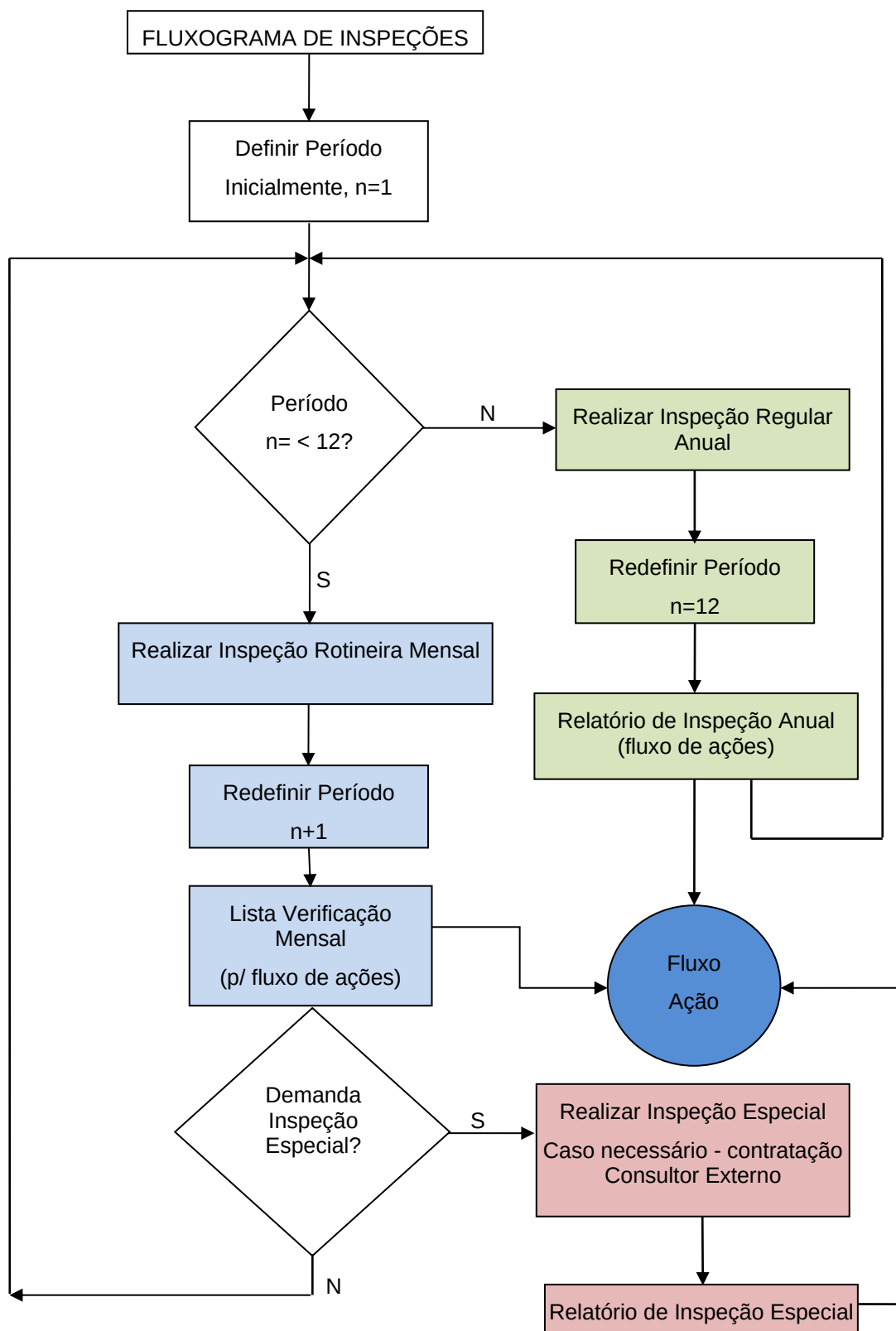
O fluxograma apresenta as atividades da equipe de inspeção e manutenção das estruturas civis e a interface com a Gerência da Usina sendo de inspeções e de ações.

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

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

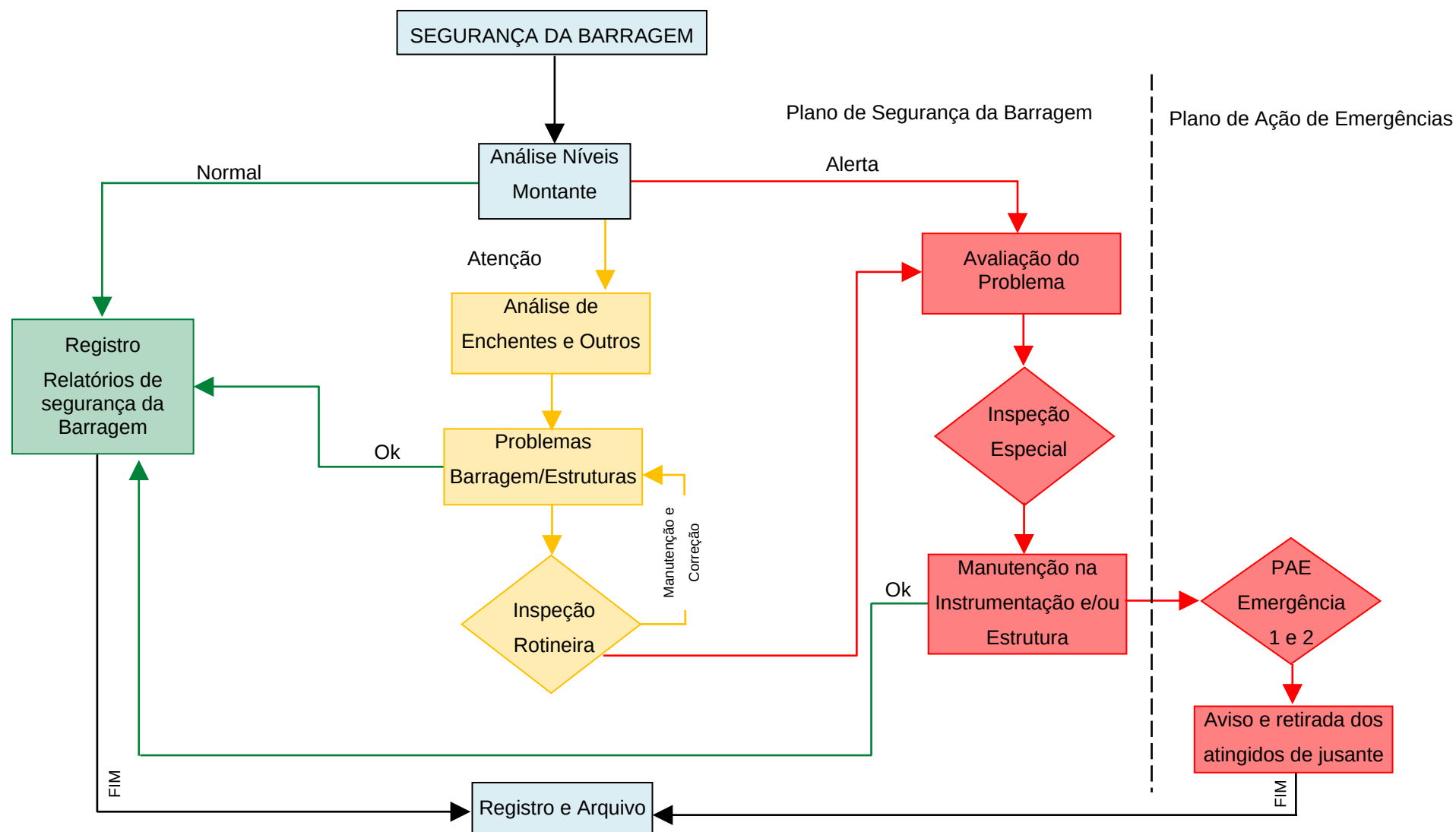
O fluxograma de ações (Plano de Ação de Emergências – TTG-C-PAE-0001-00-22) indica a sequência na tomada de decisões com base nos níveis de emergência.

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



n= mês

Fluxograma 2 – Fluxograma de Ações - manutenção das estruturas



Fluxograma 3 – Fluxograma de Segurança da Barragem - manutenção da instrumentação e estruturas

7 REGRA OPERACIONAL DE DISPOSITIVO DE DESCARGA

Na barragem da PCH Toca do Tigre 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 Turvo, com a crista na El. 297,00 m, comprimento total de 148,00 m e capacidade de vazão de 1.731,00 m³/s (TR=1.000 anos), atingirá NA Máx Max de 300,00 m.

Abaixo estão apresentadas fotos do vertedouro e curva de descarga do mesmo.



Figura 18 – Vertedouro

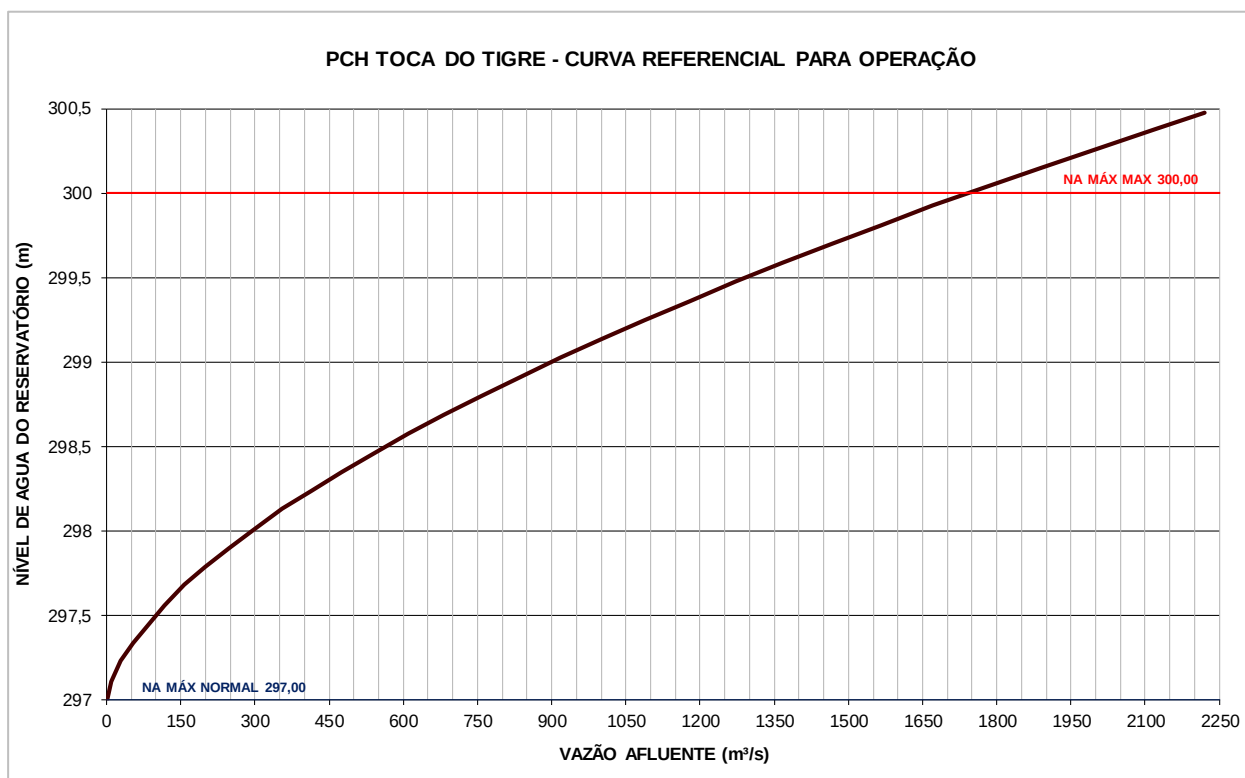


Figura 19 – Curva de Descarga – Vertedouro

Tabela 19 – Curva de Descarga – Vertedouro

Vazão (m³/s)	NA (m)	Vazão (m³/s)	NA (m)	Vazão (m³/s)	NA (m)
0	297	475	298,35	1367	299,59
10	297,11	541	298,46	1466	299,7
28	297,23	610	298,58	1567	299,81
53	297,34	682	298,69	1671	299,93
117	297,56	757	298,8	1779	300,04
157	297,68	836	298,91	1889	300,15
200	297,79	917	299,03	2002	300,26
248	297,9	1001	299,14	2118	300,38
299	298,01	1089	299,25	2221	300,48
354	298,13	1179	299,36		
413	298,24	1272	299,48		

8 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 (Figura 20 a Figura 24). A PCH Toca do Tigre 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.

No Plano de Ação de Emergências – TTG-C-PAE-001-01-24 - Anexo II está apresentado desenho da área a ser resguardada, toda área adquirida da Usina: reservatório, APP, estruturas da usina e acessos internos.



Figura 20 – Muro, cercas e portão de acesso a Casa de Força



Figura 21 – Placa Informativa – Entrada da Casa de Força



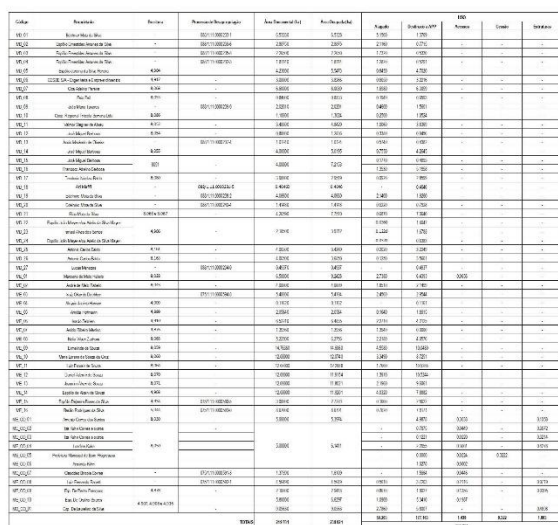
Figura 22 – Portão e cercas da Chaminé de Equilíbrio



Figura 23 –Muro e portão de acesso a tomada d'água



Figura 24 –Muro e portão de acesso a Barragem



1:10.000
0 0.25 0.5 1 km
Universal Transversa de Mercator
Fuso: 22S
Datum: SIRGAS 2000

Local: Municípios de Braga/RS e Bom Progresso/RS
Elaboração: Ecosistêmica Engenharia e Meio Ambiente
Aprovação: C.J HYDRO – GERAÇÃO DE ENERGIA S.A.
Data: julho/2018

71

9 PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA

De acordo com a classificação da Barragem, o risco da barragem é baixo e de dano potencial associado é alto, classificando a Barragem em categoria **Classe B**, é necessário elaborar Plano de Ação de Emergências.

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

- Inspeção de segurança regular – Frequência anual;
- Revisão periódica de segurança – 7 anos, sendo que em 2022 está sendo realizada primeira RPS, próxima deverá ser realizada em 2029.

No Anexo I, 1-FSB é apresentada a classificação da Barragem 2024 enviada à ANEEL de acordo com resolução 1064/2023.

O Plano de Ação de Emergências (PAE) está apresentado no documento TTG-C-PAE-001-01-24 PAE PCH Toca do Tigre.

10 RELATÓRIOS DAS INSPEÇÕES DE SEGURANÇA

Deverão ser emitidos relatórios de inspeção civil utilizando os procedimentos descritos no item 6.2, ou seja, deverão seguir a frequência conforme determinada a seguir:

10.1 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.

10.2 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.

10.3 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 (Item 10.2).

11 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 1064 de 02 de maio de 2023 da Aneel e o 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>).

Esta é primeira revisão periódica de segurança realizada na PCH Toca do Tigre, onde teve 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 7 em 7 anos devido ao fato de a Barragem ter sido classificada como **Classe B** e sempre por equipe multidisciplinar especializada em segurança de barragens.

A primeira revisão periódica deste empreendimento, apresentada no documento TTG-C-RPS-001-00-22.

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.

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

No estudo de rompimento da Barragem PCH Toca do Tigre (TTG-PAE-001-01-24), foi identificado os seguintes cenários possíveis de acidente ou desastres, conforme descrito itens abaixo.

Três são os cenários analisados neste estudo, sendo os mesmos mais bem descritos a seguir:

12.1 Cenários de não rompimento – Simulação 1

Serão verificadas a partir de simulações no HEC-RAS 5.0.5, as manchas de inundação de jusante formadas a partir da passagem de ondas de cheia com QTurb, TR 100 e TR 1.000 anos. Essa última consideração é importante de ser tomada para fins de comparação entre a mancha de inundação do cenário de rompimento com a mancha de inundação pela cheia máxima TR 1.000 anos.

12.2 Cenário de rompimento – Simulação 2

Para a realização das simulações, assumiu-se que o colapso da barragem de Toca do Tigre ocorre a partir da entrada, no reservatório, de vazão de cheia com descarga superior à vazão de QTURB, TR 100 e TR 1.000 anos. Essa premissa foi adotada visando gerar um cenário bastante desfavorável quanto ao rompimento da Barragem.

Desse modo, as condições gerais adotadas para o cenário de rompimento da PCH Toca do Tigre são:

- Formação da brecha com características apresentadas no item 5.4 - TTG-PAE-001-01-24;
- Vazão máxima de Cheia conforme tempo de retorno no pico máximo do hidrograma.

Mais especificações a respeito das condições de contorno e premissas adotadas neste cenário de rompimento serão apresentadas nos itens 5.4 e 5.3 - TTG-PAE-001-01-24.

12.3 Cenário de galgamento da barragem

Este cenário de galgamento da Barragem não foi simulado, pois o vertedouro é do tipo soleira livre e tem capacidade de descarga acima da TR 1.000 anos, além do rio Turvo ter mais duas usinas a montante, PCHs Carlos Gonzato e Marco Baldo com capacidade de amortecimento das enchentes.

12.3.1 Cenário efeito cascata – Não simulado

De acordo com RN 1064/2024 da ANEEL, Art. 6º, § 2º é solicitado o estudo de Rompimento da Barragem para confirmação do Dano Potencial Associado, conforme transcrito abaixo:

“Art. 6º O Plano de Segurança da Barragem deve ser elaborado e assinado pelo responsável técnico, com manifestação de ciência do representante do empreendedor, e conter minimamente as informações dispostas no art. 8º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.

§ 1º A extensão e detalhamento do Plano de Segurança e estudos a ele associados deverão ser 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.

§ 2º Deverá ser elaborado estudo de rompimento e de propagação da cheia associada, contemplando mapa de inundação para os possíveis cenários de ruptura da barragem, considerando o pior cenário identificado.

§ 3º O pior cenário de ruptura da barragem deve considerar o maior impacto entre a área atingida pela inundação incremental de rompimento em cenário da cheia natural considerada no projeto de dimensionamento do vertedouro, ou no estudo hidrológico mais atualizado; e a área atingida por inundação proveniente de rompimento em dia seco, independentemente de cheia natural.

§ 4º O estudo de que trata o § 2º deverá indicar a metodologia e software adotados e os critérios, premissas e parâmetros utilizados para a elaboração do mapa de inundação, com a indicação do nível de precisão do levantamento topográfico, os tempos estimados da onda de impacto a jusante, e seu risco hidrodinâmico.

§ 5º A área de abrangência dos estudos de que trata o § 2º deverá se estender até o amortecimento da cheia associada ou até o reservatório da usina hidrelétrica imediatamente a jusante, o que ocorrer primeiro.

§ 6º Quando a área de abrangência do estudo de que trata o § 2º se estender até o reservatório de jusante, seu resultado deverá ser encaminhado para o representante do empreendedor da usina de jusante alcançada pelo § 5º para avaliação da capacidade de amortecimento.

Não foi simulado essa condição pois não existe usina a jusante. Ver estudo de rompimento da PCH Toca do Tigre (TTG-PAE-001-01-24, item 5.5). Também não foi avaliado efeito do rompimento da usina de Montante – PCH Marco Baldo pois ainda não foi recebido estudo pelo empreendedor.

13 MAPA DE INUNDAÇÃO, CONSIDERANDO PIOR CENÁRIO IDENTIFICADO

O mapa de inundação para pior cenário, rompimento com enchente de TR 1.000 anos está apresentado no desenho TTG-C-MPI-002-00-22 – Mapa de Inundação – TR 1.000 Anos – Natural e Dam Break – Folhas 01 a 04, no Anexo V do Plano de Ação de Emergência (TTG-C-PAE-001-01-24).

Abaixo segue figura do mapa geral e tabela com dados do rompimento TR 1.000 anos.

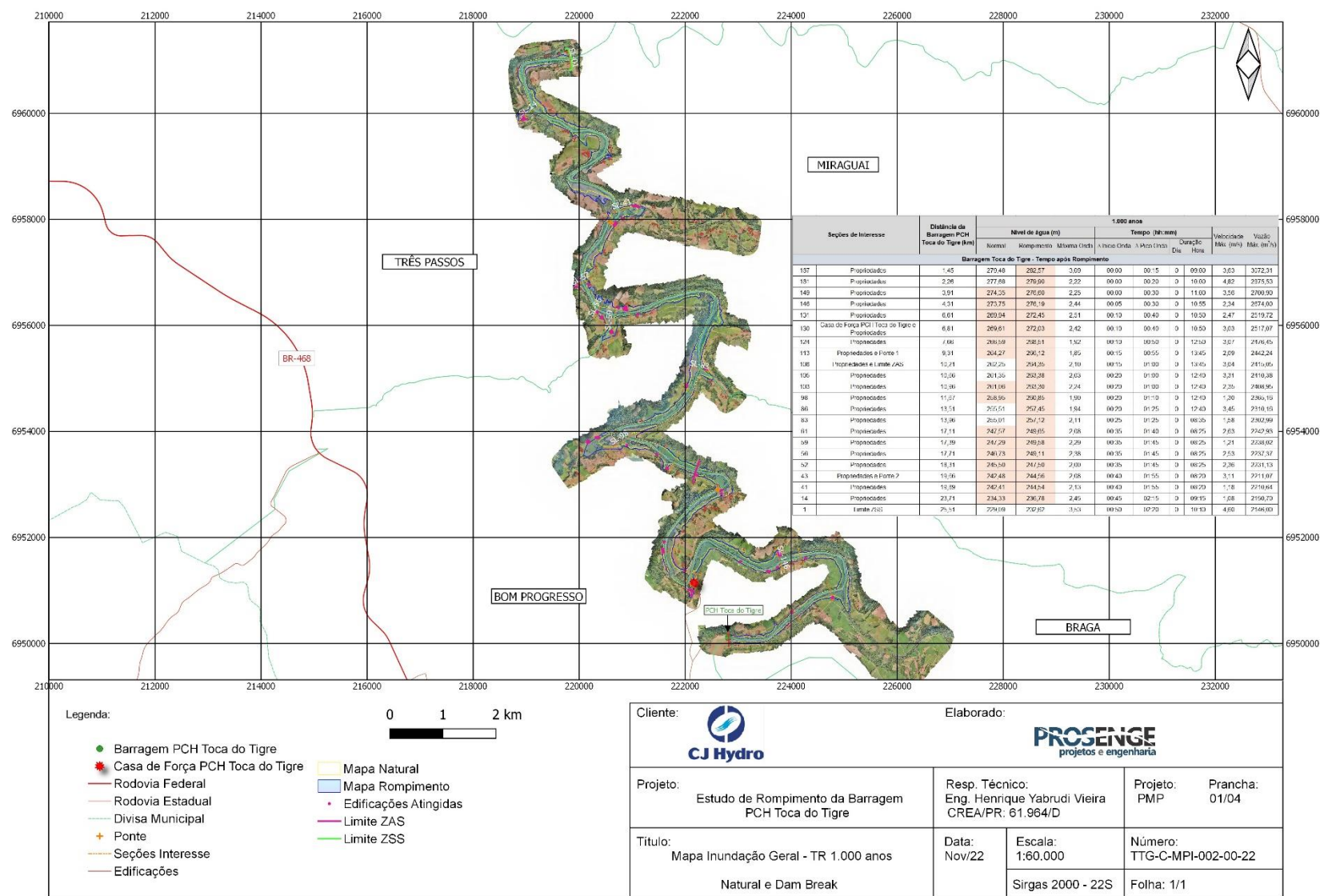


Figura 26 - Mapa rompimento Geral – TR 1.000 anos

Tabela 20 – Tempo de chegada da onda e níveis de água em cada seção para TR 1.000 anos

Seções de Interesse		Distância da Barragem PCH Toca do Tigre (km)	1.000 anos								
			Nível de água (m)			Tempo (hh:mm)				Velocidade Máx. (m/s)	Vazão Máx. (m³/s)
			Dia	Hora							
Barragem Toca do Tigre - Tempo após Rompimento											
167	Propriedades	1,45	279,48	282,57	3,09	00:00	00:15	0	09:00	3,63	3072,31
161	Propriedades	2,26	277,68	279,90	2,22	00:00	00:20	0	10:00	4,82	2875,53
149	Propriedades	3,91	274,35	276,60	2,25	00:00	00:30	0	11:00	3,56	2700,90
146	Propriedades	4,31	273,75	276,19	2,44	00:05	00:30	0	10:55	2,34	2674,00
131	Propriedades	6,61	269,94	272,45	2,51	00:10	00:40	0	10:50	2,47	2519,72
130	Casa de Força PCH Toca do Tigre e Propriedades	6,81	269,61	272,03	2,42	00:10	00:40	0	10:50	3,03	2517,07
124	Propriedades	7,66	266,59	268,51	1,92	00:10	00:50	0	12:50	3,07	2476,45
113	Propriedades e Ponte 1	9,31	264,27	266,12	1,85	00:15	00:55	0	13:45	2,09	2442,24
108	Propriedades e Limite ZAS	10,21	262,25	264,35	2,10	00:15	01:00	0	13:45	3,04	2415,05
105	Propriedades	10,66	261,35	263,38	2,03	00:20	01:00	0	12:40	3,31	2410,38
103	Propriedades	10,96	261,06	263,30	2,24	00:20	01:00	0	12:40	2,35	2408,95
98	Propriedades	11,67	258,95	260,85	1,90	00:20	01:10	0	12:40	1,30	2365,16
86	Propriedades	13,51	255,51	257,45	1,94	00:20	01:25	0	12:40	3,45	2310,16
83	Propriedades	13,96	255,01	257,12	2,11	00:25	01:25	0	08:35	1,58	2302,99
61	Propriedades	17,11	247,57	249,65	2,08	00:35	01:40	0	08:25	2,63	2242,93
59	Propriedades	17,39	247,29	249,58	2,29	00:35	01:45	0	08:25	1,21	2238,02
56	Propriedades	17,71	246,73	249,11	2,38	00:35	01:45	0	08:25	2,53	2237,37
52	Propriedades	18,31	245,50	247,50	2,00	00:35	01:45	0	08:25	2,36	2231,13
43	Propriedades e Ponte 2	19,66	242,48	244,56	2,08	00:40	01:55	0	08:20	3,11	2211,07
41	Propriedades	19,89	242,41	244,54	2,13	00:40	01:55	0	08:20	1,18	2210,64
14	Propriedades	23,71	234,33	236,78	2,45	00:45	02:15	0	09:15	1,08	2150,70
1	Limite ZSS	25,51	229,09	232,62	3,53	00:50	02:20	0	10:10	4,60	2146,00

(*) Destacados em laranja ocorre inundação

- A zona de auto salvamento fica definida como 10 km da Barragem PCH Toca do Tigre, ou seja, até SL-108 cerca de 10,21km a jusante do barramento PCH Toca do Tigre.

- A Zona de Secundária de Segurança fica definida como o fim do modelo, SL-01 cerca de 25,51 km da barragem PCH Toca do Tigre.

Maiores detalhes estão apresentados no Estudo de Rompimento da Barragem Item 5 do plano TTG-C-PAE-001-0a-24.

14 IDENTIFICAÇÃO E DADOS TÉCNICOS DAS ESTRUTURAS, DAS INSTALAÇÕES E DOS EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO DA BARRAGEM

A PCH Toca do Tigre está localizada nos municípios de Bom Progresso e Braga – RS, no rio Turvo, com potência instalada de 11,84 MW e entrou em operação comercial em fevereiro de 2013.

O arranjo geral do aproveitamento se constitui por uma soleira vertente situada no leito do rio com fechamentos em concreto nas ombreiras, com altura máxima de 17 m até a fundação, criando um reservatório com o nível normal na El. 297,00 m com área de 0,89 km².

O empreendimento é composto por um vertedouro de soleira livre de 148 m de comprimento, e barragens de fechamento em concreto em ambas as margens.

As estruturas das barragens da margem direita e esquerda foram construídas em concreto compactado a rolo, CCR, fck > 8 MPa (aos 180 dias), e concreto convencional CLASSE B, fck= 15 MPa (aos 90 dias).

Já o Vertedouro, foi executado também com a técnica do Concreto Compactado a Rolo – CCR, fck > 8 MPa (aos 180 dias) e com execução, no paramento de montante, de uma camada de concreto convencional com vibrador, CLASSE B, fck > 15 MPa (aos 90 dias), com no mínimo de 50 cm de espessura, para a vedação do maciço de CCR e na crista e paramento de jusante uma camada de concreto convencional com vibrador, CLASSE D, fck > 25 MPa (aos 28 dias).

As juntas de contração do maciço de concreto do Vertedouro foram executadas a cada 15,00 m, a partir da laje de concreto convencional da face de montante, estendendo-se para o corpo do maciço de CCR.

Foi utilizado no controle de qualidade da compactação do CCR, durante a execução do maciço do vertedouro e na barragem da margem direita e esquerda o uso de densímetro nuclear. Com este pôde-se estabelecer os parâmetros adequados às exigências das especificações técnicas da obra, correlatas à compactação do CCR, com enfoque na avaliação da influência do número de passadas dos rolos compactadores, da homogeneidade das camadas e da umidade das dosagens do CCR.

A adução é feita por tomada d'água, túnel de adução com chaminé de equilíbrio, e conduto forçado. A Casa de Força é do tipo abrigada, composta de duas unidades geradoras Francis Simples de Eixo Horizontal de 6.000 kW.

Maiores detalhes dos dados técnicos do empreendimento estão detalhados no item 4.1

15 EQUIPE TÉCNICA

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

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

16 BIBLIOGRAFIA

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.

ANEEL - Resolução Normativa Nº 1064, de maio de 2023.

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.

17 ANEXOS

ANEXO I – DOCUMENTOS DE PROJETO

ANEXO II – LISTAS DE VERIFICAÇÕES - INSPEÇÃO

- 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 I– DOCUMENTOS DO PROJETO

Apresenta-se a seguir uma relação dos principais documentos que auxiliarão nas atividades de inspeção e manutenção.

1 - GERAL

2 – BARRAGEM

3 - VERTEDOIRO

4 – TOMADA D'ÁGUA

5 – TÚNEL DE ADUÇÃO

6 – CHAMINÉ DE EQUILÍBRIO

7 – CONDUTO FORÇADO

8 - CASA DE FORÇA E CANAL DE FUGA

9 - SÍTIO CIRCUNVIZINHO

10 – INSPEÇÃO CIVIL REGULAR - ISR

ANEXO II – LISTAS DE VERIFICAÇÕES - INSPEÇÃO

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