

SANTA CLARA INDÚSTRIA DE CARTÕES LTDA.

BARRAGEM CGH SALTO RIO BRANCO

PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA - PAE

Coordenador do PAE: Luiz Diniz de Oliveira Neto



AGENTE FISCALIZADOR: _____

Documento Nº: 2021-SBR-C-BA-RE-PAE-ND-001-R01

Responsável pela Elaboração:
Eng. Civil Luiz Diniz de Oliveira Neto
Local: Guamiranga - PR
Data: 08/09/2021

Sumário

SEÇÃO I- INFORMAÇÕES GERAIS DA BARRAGEM	3
1. APRESENTAÇÃO	3
2. OBJETIVO DO PAE	4
3. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM; ESTRUTURAS ASSOCIADAS LOCALIZAÇÃO E ACESSO	4
4. ESTRUTURAS ASSOCIADAS FUNDAÇÕES E ANCORAGEM.....	6
4.1 RESERVATÓRIO	8
4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DO VERTEDOURO	9
5. ESTUDO SOBRE ROMPIMENTO DA BARRAGEM	11
5.1 Falhas nas Fundações	11
5.2 Falhas no Projeto, na Construção ou na Operação	11
5.3 Comparação entre Barragens de Rejeito e Barragens de Hidrelétricas	12
5.4 Identificação de Áreas de Risco à Jusante	14
6. EFEITO DE LAMINAÇÃO DO RESERVATÓRIO A JUSANTE	15
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	22
8. ANEXO: ART DO PAE DA CGH SALTO RIO BRANCO.....	23

SEÇÃO I- INFORMAÇÕES GERAIS DA BARRAGEM

1. APRESENTAÇÃO

A Lei Federal n.º 12.334, de 20 de setembro de 2010 estabelece a política nacional de segurança de barragens (PNSB), além de criar o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Em seu artigo 12, define-se que o PAE será responsável por estabelecer as ações a serem executadas pelo empreendedor da barragem, em caso de situação de emergência, bem como identificar os agentes a serem notificados em casos emergenciais.

Neste relatório são apresentados os dados relativos ao PAE da Barragem da CGH Salto Rio Branco.

Neste caso a barragem com altura máxima sobre fundações de 3,00 m não se enquadra na necessária apresentação do PAE, apesar de ento, de forma simplificada, a simulação de uma eventual ruptura da barragem e a consequente de propagação de ondas, com níveis simulados e quais serão as preocupações quanto à eventual população em risco a jusante.

A CGH Salto Rio Branco possui um reservatório já formado de pequenas dimensões com função de operação a fio d'água.



Figura 1. Reservatório

Sua área alagada aproximada é de 6,00 ha e o volume calculado é de $0,082 \times 10^6 \text{m}^3$.

Nesta, considera-se a inexistência de população residente à jusante na região das margens na faixa de possível elevação de nível d'água. Também corrobora a baixa altura da barragem de concreto de 3,00 m de altura média sobre fundações competentes em rocha Diabásio.

2. OBJETIVO DO PAE

Apresentar todas as informações pertinentes a Barragem da CGH Salto Rio Branco, sob os moldes exigidos pela ANA (Agência Nacional de Águas), de modo que tais informações estejam disponíveis a quaisquer agentes que necessitem de informações sobre este empreendimento, para que sejam tomadas todas as ações de segurança constantes na Lei acima citada.

3. DESCRIÇÃO DA BARRAGEM; ESTRUTURAS ASSOCIADAS LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A **BARRAGEM CGH Salto Rio Branco**, (de propriedade de Santa Clara Indústria de Cartões Ltda.), está localizada no rio dos Patos, na bacia do rio Paraná (distância até a foz 13,6 km no rio Ivaí), entre os municípios de Prudentópolis, PR (margem esquerda) e Guamiranga, PR (margem direita).

A seguir são apresentadas as coordenadas do barramento:

- Coordenadas Geográficas: **25º 10' 03,7" S; 50º 56' 32,5" W.**
- Coordenadas UTM: **505.808,4049 m E; 7.216.482,2333 m S.**

Nota: As coordenadas descritas estão em **DATUM SIRGAS 2000**.

A montante desta CGH, ora em fase de construção, existe a PCH Dois Saltos, Processo ANEEL 48500.002487/1999-37, que contará com um vertedouro com 85 m de extensão e de 3,8 m de altura máxima.

A jusante do barramento da CGH Salto Rio Branco encontra-se a própria Casa de Força desta CGH, e a Casa de Força da futura **PCH Dois Saltos**. Ainda em fase de Licenciamento, está prevista a construção da futura **PCH km 19**, processo ANEEL nº48500.001522/2009-61.

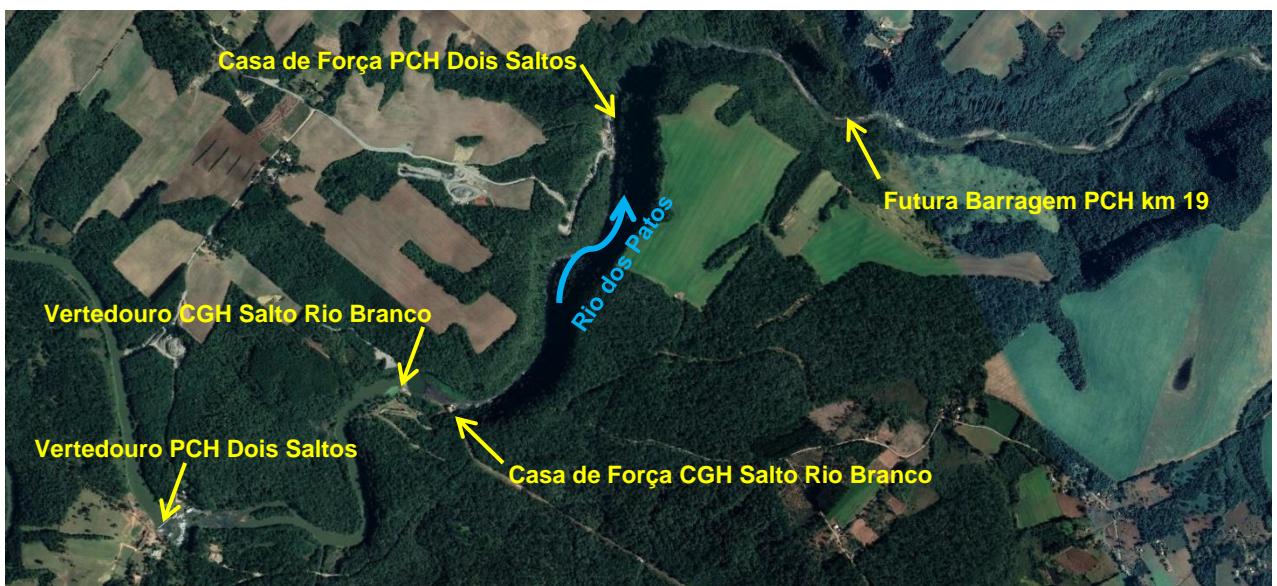


Figura 2. Localização da Barragem CGH Salto Rio Branco e aproveitamentos a montante e jusante

Para o acesso principal ao **BARRAMENTO CGH Salto Rio Branco**:

- Através da BR-373, partindo da rotatória principal de acesso a Prudentópolis, o acesso se dá por meio da BR, por 7,5 km sentido Ponta Grossa, seguindo por uma estrada vicinal por mais 4,85 km até o eixo do barramento da CGH Salto Rio Branco.

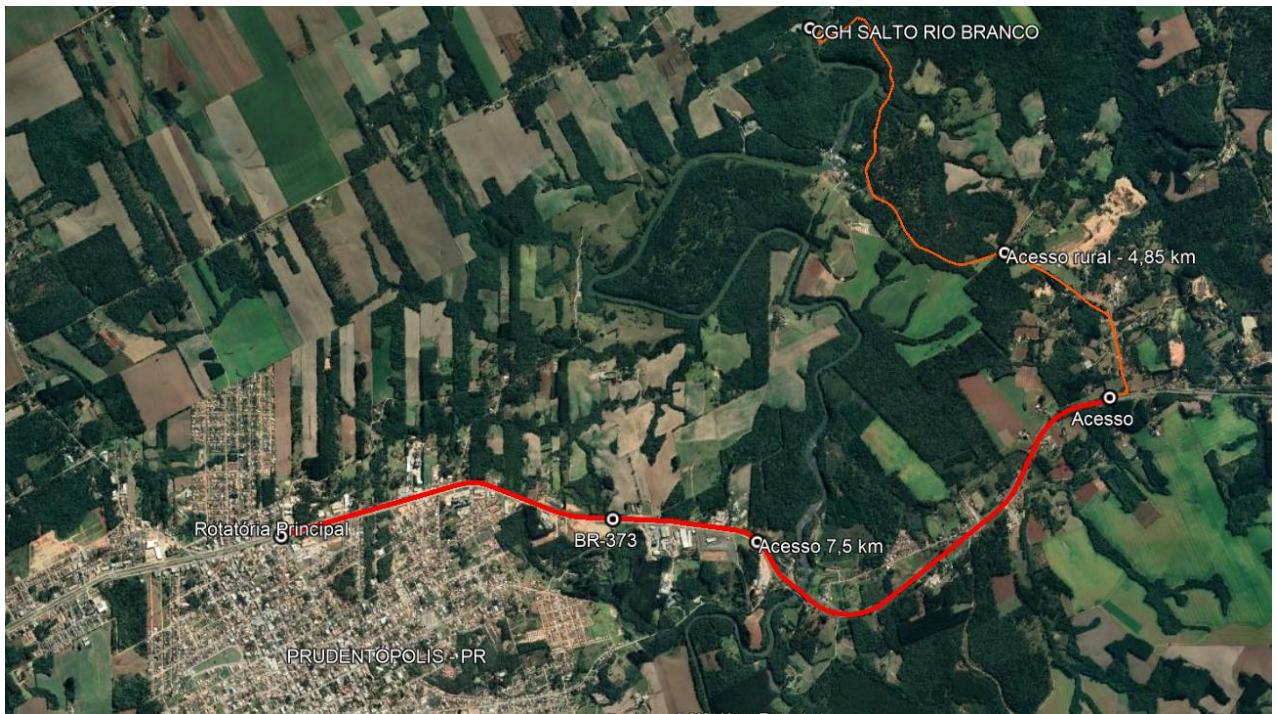


Figura 3. Localização



Figura 4. Barramento Existente.

4. ESTRUTURAS ASSOCIADAS FUNDÇÕES E ANCORAGEM

Trata-se de uma barragem vertente, do tipo *Ambursem* com soleira livre vertente na elevação 688,52 m, com 90m de extensão.

A barragem tipo *Ambursem* é um tipo de barragem do tipo de contrafortes aliviados, bastante simples, e pode ser construída com material misto, uma vez que os contrafortes podem ser feitos em concreto ou pedra argamassada, e o paramento em pranchões de madeira. Sua estrutura é leve e fácil de construir. Em caso de danos em alguma seção por causa das cheias, a recuperação é fácil de ser feita.

Os contrafortes têm formato de esquadro, com a face inclinada para montante e a vertical para jusante. O vão entre dois contrafortes consecutivos é vedado pela sobreposição de pranchões, colocados apoiados sobre a face de montante ou engastados entre ranhuras nos contrafortes. As frestas entre as tábuas são vedadas com uma mistura de argila, areia e pó de ferragem, cobertas com mata-junta, material de fácil remoção em caso de manutenção das pranchas.

A vedação ao pé da barragem é conseguida construindo-se uma cunha de concreto ao longo de todo o vão de modo a permitir a fixação dos primeiros pranchões.

Este tipo de barragem é totalmente galgável, isto é, permite a passagem da água sobre sua estrutura. Seu uso é recomendado para barragens de até 3,0 metros, que é o caso desta CGH, com fundações rochosas, com poucas fraturas.

A escolha desse tipo de barragem possibilita a redução em até 5 vezes da quantidade de concreto e praticamente elimina a pressão proveniente da infiltração da. Outra vantagem é a facilidade de desvio do manancial durante a construção da barragem. A principal desvantagem é a vida útil dos pranchões de madeira e os vazamentos entre as frestas dos encaixes.

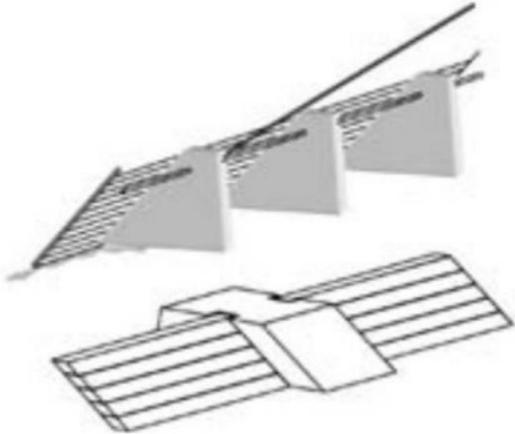


Figura 5. Barragem Vertente – Concepção de Projeto e em Operação

O paramento da barragem a contraforte de concreto é em pranchas de madeira, sendo o vão médio dos contrafortes de 4,0m.

O vertedouro não possui bacia de dissipação ou outra estrutura de amortecimento da velocidade no pé do vertedouro a jusante, pois a altura do vertedouro é baixa. Além disto, existe uma cachoeira imediatamente à jusante, com altura total de 59 m, que naturalmente dissiparia boa parte da energia de um possível rompimento.

A vazão de projeto (deca milenar) calculada para esta barragem é $1.432 \text{ m}^3/\text{s}$, conforme curva-chave do barramento demonstrado no item a seguir.

Quanto às fundações, conforme pesquisa bibliográfica de empreendimentos da região, observa-se que o sítio do aproveitamento hidroelétrico é dominado pela ocorrência de rochas sedimentares da Formação Teresina, do Permiano superior da Bacia do Paraná (Grupo Passa Dois), representada por argilitos e siltitos acinzentados a preto intercalados e níveis com enriquecimento carbonático. Os solos sobre esta formação variam de latossolos bem desenvolvidos, próximo a soleiras de diabásio, até regolito ou rocha aflorante, dependendo da posição do relevo. Nas zonas de contato, com as soleiras de diabásio, as rochas podem apresentar maior coerência, por efeito térmico do metamorfismo de contato. Na região do Salto Manduri a água sofre queda sobre extenso afloramento de diabásio em cota intermediária entre as soleiras superior e inferior.

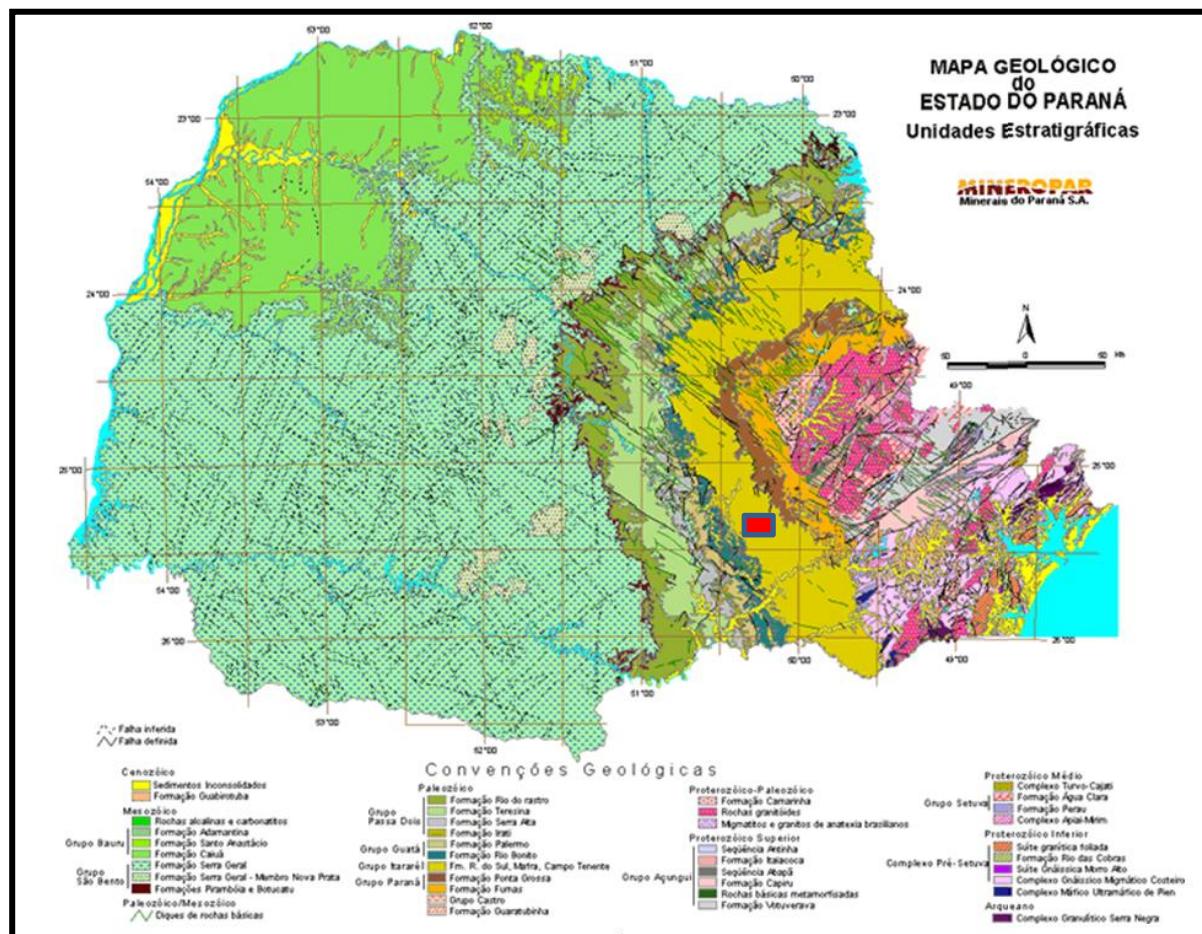


Figura 6. Mapa geológico regional mostrando a localização da área da PCH (retângulo em vermelho)

4.1 RESERVATÓRIO

O reservatório formado pela barragem da CGH Salto Rio Branco possuirá um espelho d'água de área igual a 65,70 ha e volume de água $3,102 \times 10^6$ m³, conforme observado na Figura 7 16 deste PAE.

Este reservatório trabalhará em regime de fio d'água, ou seja, não haverá flutuações significativas do nível de água reservado. Esta característica é importante, pois PCH's e CGH's que operam a fio d'água tem áreas inundadas muito pequenas, como é o caso da CGH Salto Rio Branco, portanto os impactos decorrentes da formação do reservatório serão mínimos.

Além disto, usinas a fio d'água dispensam os estudos de regularização de vazões, pois não são observados os fenômenos de depleção do reservatório. Em tese, usinas a fio d'água geram energia apenas das vazões afluentes do rio, e o reservatório formado é decorrente apenas do alteamento necessário para atingir a queda de projeto da usina.

Na tabela e figuras a seguir apresentam a Curva Cota-Área-Volume da CGH Salto Rio Branco:

Tabela 1 – Curva CAV CGH Salto Rio Branco

CURVA COTA - ÁREA - VOLUME DO RESERVATÓRIO

RESERVATÓRIO DE CAPTAÇÃO		CGH SALTO RIO BRANCO	
Nível de água normal de montante		688,52	
Nível de água mínimo de montante		688,52	
Área Alagada total (ha)		6,00	
Área Alagada efetiva (ha)		1,54	
Calha natural do rio área (ha)		4,47	
Comprimento do reservatório - calha natural (m)		1.240	
Perímetro do reservatório - calha natural (m)		3.057	
Volume morto (Namin) 10 ⁶ m ³		0,082	
Volume útil (Namin) 10 ⁶ m ³		0,000	
cota	área	volume total	volume útil
m	ha	10 ⁶ m ³	10 ⁶ m ³
685,00	0,0000	0,000	0,000
685,50	0,6071	0,002	0,000
686,00	1,0140	0,006	0,000
686,50	1,6186	0,012	0,000
687,00	2,3995	0,022	0,000
687,50	3,0953	0,036	0,000
688,00	4,3995	0,055	0,000
688,52	6,0040	0,082	0,000
689,00	9,9431	0,120	0,000
690,00	19,1099	0,265	0,000
691,00	24,4997	0,483	0,000
692,00	29,9608	0,756	0,000
693,00	34,3490	1,077	0,000
694,00	38,2419	1,440	0,000

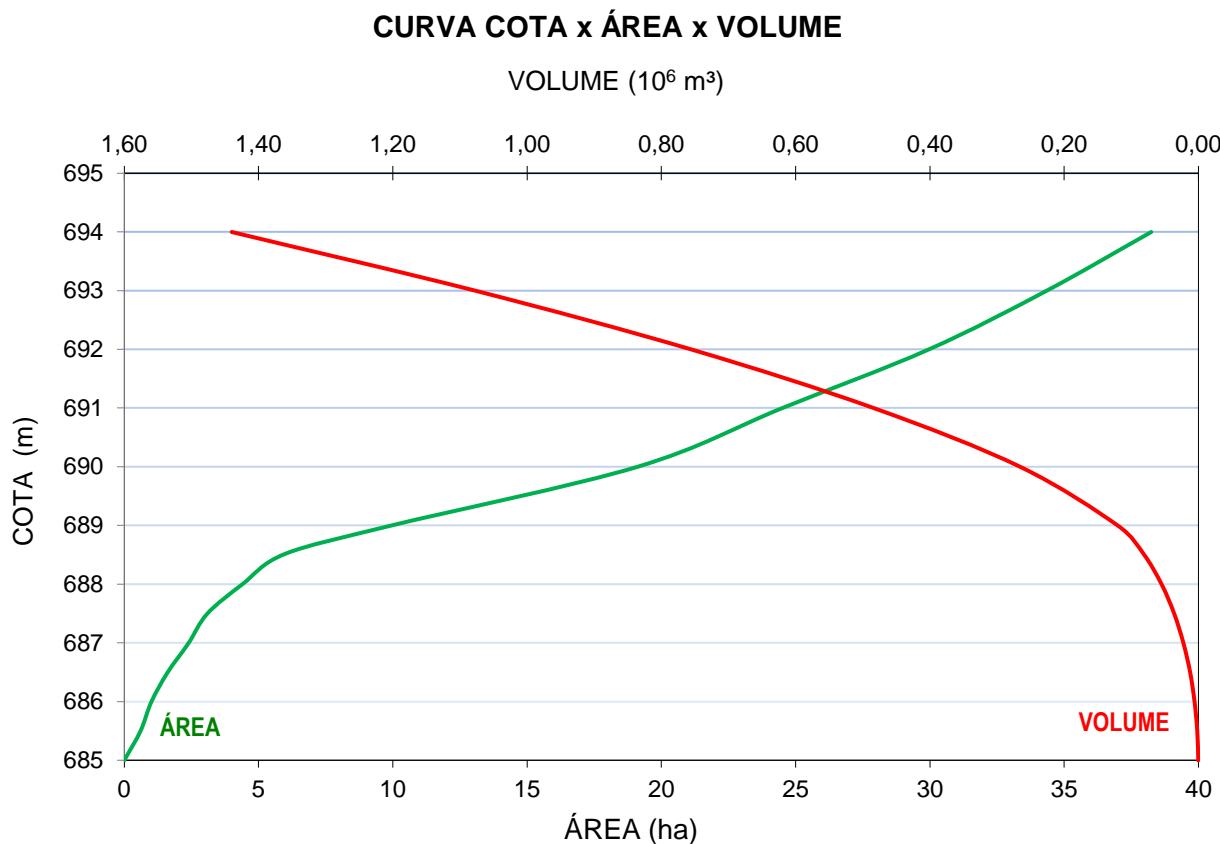


Figura 7. Curva Cota – Área – Volume Reservatório CGH Salto Rio Branco

4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O COMPORTAMENTO HIDRÁULICO DO VERTEDOURO

Para verificação da capacidade de vertimento da estrutura extravasora da CGH Salto Rio Branco, foi elaborado um estudo hidráulico com base na formulação clássica:

$$Q = C * L * H^{3/2}$$

Com

C = coeficiente de descarga;

L = comprimento total da soleira vertente, no caso 54 m;

H = lâmina d'água sobre a soleira do vertedor;

Cota da soleira livre 688,52 m.

Destaca-se no caso da CGH Salto Rio Branco que as estruturas vertentes foram verificadas para cheia de recorrência deca milenar, por se tratar de estrutura galgável e sem risco às vidas humanas em caso de acidente.

A tabela e figura a seguir mostram a curva chave estudada para o vertedouro da CGH Salto Rio Branco:

Tabela 2 – Curva Chave do Vertedouro CGH Salto Rio Branco

CGH SALTO RIO BRANCO - RIO DOS PATOS - CURVA CHAVE VERTEDOURO SOLEIRA LIVRE					
Comporta Basculante				VAZÕES MÁXIMAS INSTANTÂNEAS (COEF. FULLER)	
Largura de cada Comporta		0,00m		TR 2 ANOS	277 m ³ /s
Altura da Comporta		0,00m		TR 5 ANOS	425 m ³ /s
Cota do piso da Comporta (Aberta)		0,00m		TR 10 ANOS	523 m ³ /s
Vertedor Soleira Livre - Concreto				TR 20 ANOS	617 m ³ /s
Nível de água Normal de Montante		688,52m		TR 50 ANOS	739 m ³ /s
Comprimento de soleira vertente		54m		TR 100 ANOS	830 m ³ /s
Coeficiente de descarga - cd para carga de projeto		2,11		TR 1.000 ANOS	1131 m ³ /s
VAZÃO REMANESCENTE				TR 10.000 ANOS	1432 m ³ /s
NA Max	Carga sobre Vert. Soleira Livre(m)	Coef. Real de Descarga Vert. Soleira Livre (k)	Vazão Vertedor Soleira Livre (m ³ /s)	Vazão	Vazão
				Remanesc. (m ³ /s)	Total (m ³ /s)
688,52	0,00	0,00	0	1,30	1
688,77	0,25	1,54	10	1,38	12
689,02	0,50	1,63	31	1,45	33
689,27	0,75	1,72	60	1,52	62
689,52	1,00	1,79	97	1,59	98
690,52	2,00	2,00	305	1,84	307
691,52	3,00	2,11	593	2,06	595
692,27	3,75	2,11	828	2,20	830
692,52	4,00	2,11	912	2,25	914
693,13	4,61	2,11	1129	2,36	1131
693,52	5,00	2,11	1274	2,43	1276
693,92	5,40	2,11	1429	2,50	1432

CGH SALTO RIO BRANCO - CURVA CHAVE VERTEDOURO SOLEIRA LIVRE (NAM 688,52 m)

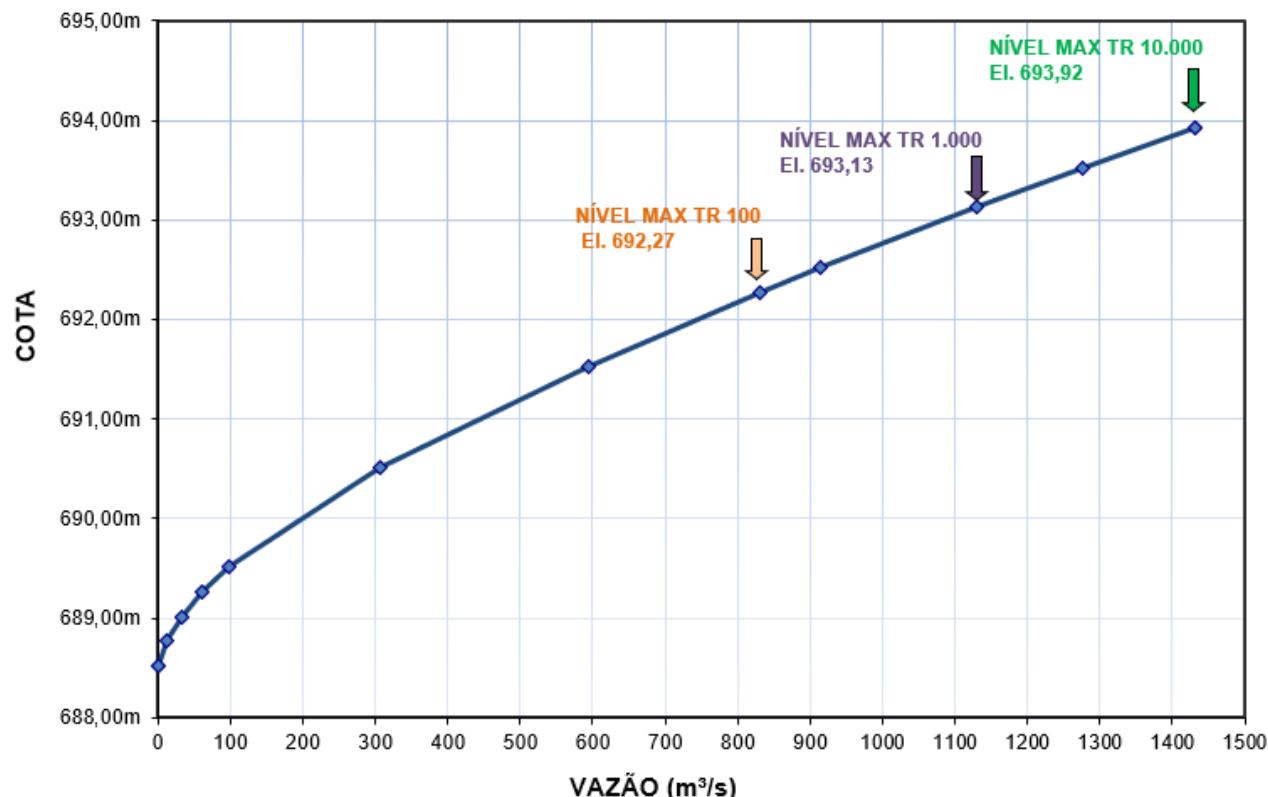


Figura 8. Gráfico da Curva Chave do Vertedouro

5. ESTUDO SOBRE ROMPIMENTO DA BARRAGEM

As falhas mais prováveis em barragens são descritas nos itens a seguir:

5.1 Falhas nas Fundações

O terreno sobre o qual assenta a barragem e a ligação da barragem ao terreno podem deslizar sob o efeito de acomodações geológicas, que resultam do enchimento do reservatório ou da saturação do material da fundação por infiltração. Naturalmente, esta hipótese não se aplica ao caso concreto.

5.2 Falhas no Projeto, na Construção ou na Operação

Uma barragem é uma obra de engenharia que exige para a sua segurança critérios bastante cuidadosos durante as fases de projeto, construção e operação, devido à complexidade de funcionamento e risco potencial da estrutura.

Dentre as causas das falhas dessa natureza, pode-se citar projetos de vertedouros com capacidade inferior às cheias de grande magnitude, falhas de procedimentos de sondagens, utilização de materiais de má qualidade e/ou durabilidade na obra.

Considerando a hipótese de ruptura, é coerente afirmar que a onda de cheia não superará a cheia de projeto das estruturas vertentes, que adotou um evento de recorrência decamilenar neste caso.

Segundo Collischonn, 1997, o tipo de barragem é importante no que diz respeito às causas da ruptura.

Barragens de concreto são mais suscetíveis a problemas na fundação ou na estrutura, cujo colapso pode ser quase instantâneo. Barragens de terra são sensíveis ao galgamento, em cheias maiores que as de projeto, quando o vertedouro não é suficiente, e a água verte sobre a crista da barragem.

Barragens de gravidade de concreto podem gerar brechas instantâneas, mas apenas parciais, nas quais um pedaço do bloco da construção é retirado, esta seria a hipótese aqui lançada para simulação das ondas de cheia.

Singh, 1996, propôs ser possível medir a vazão na brecha colapsada em barragem vertente, assumindo que o escoamento pela brecha é análogo ao escoamento de um vertedor retangular de soleira espessa.

A equação proposta por Singh é:

$$Q_{max} = 1,7 \times B_b \times H_b^{3/2}$$

Com B_b = largura da brecha, em m;

H_b = Altura da brecha, em m.

Collischonn, 1997, o tipo de barragem é importante no que diz respeito às causas da ruptura.

Nesses casos, inicia-se a erosão do talude de jusante da barragem e ocorre a consequente formação de uma brecha de forma regressiva. Os problemas de infiltração e entupimento do sistema de drenagem interno da barragem também são importantes em barragens de terra, gerando brechas que se iniciam como pontos de vazamento e crescem a partir do ponto de surgimento (*piping*). Barragens de gravidade de concreto podem gerar brechas instantâneas, mas apenas parciais, nas quais um bloco da construção é retirado.

No caso da CGH Salto Rio Branco, adotar-se-á a hipótese de ruptura instantânea no maciço da barragem.

5.3 Comparação entre Barragens de Rejeito e Barragens de Hidrelétricas

Devido aos recentes acidentes ocorridos com barragens de rejeito, em 2015 e 2019, faz-se necessário um tópico neste PAE contendo explicações técnicas das diferenças entre barragens de rejeito e barragens de hidrelétricas.

Barragem de rejeitos são estruturas de terra construídas para armazenar resíduos de mineração, formando um reservatório com substâncias sólidas e água, sob a forma de lama, resultantes de processos de beneficiamento de minérios. O armazenamento desses rejeitos é necessário para evitar danos ambientais. Estas barragens são construídas a partir de um dique formado por materiais argilosos ou rochas compactadas, com alteamentos (elevações) feitos para aumentar a capacidade de armazenamento. Nem sempre as barragens de rejeitos encontram-se sobre fundações rochosas.

Já as barragens de hidrelétricas têm por finalidade represar e armazenar água, matéria-prima para a produção de energia, e obter o desnível necessário para girar as turbinas das unidades geradoras. Apesar de ambas serem estruturas geotécnicas, o material reservado de cada uma é diferente, o que faz com que estas barragens trabalhem com tensões e modos muito diferentes.

As figuras a seguir apresentam os cortes típicos destas barragens:

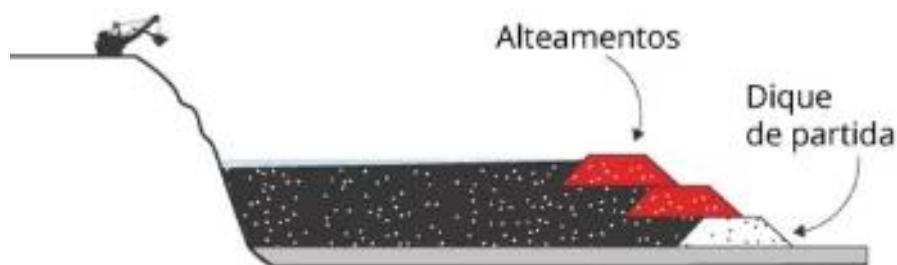


Figura 9. Processo de Construção de barragens de Rejeito



Figura 10. Corte típico de barragens de hidrelétricas

Na tabela a seguir são apresentadas as principais diferenças técnicas entre as barragens, demonstrando que as barragens executadas para hidrelétricas são, por definição, mais seguras:

Tabela 3 – Comparativo Barragem Rejeito vs. Barragem Hidrelétrica

Elementos de Análise	Barragem de Rejeito – Alteamento a Montante	Barragem de Terra / Enrocamento
Fundação	Fundação sobre o próprio rejeito	Fundação consolidada sobre rocha tratada com injeções de calda de cimento
Barragem	Construído com material de rejeito drenado e compactado	Construída com enrocamento como material estável, núcleo vedante em argila compactada ensaiada e sistema de filtros internos
Drenagem	DHPs	Drenagem interna com filtros verticais e horizontais
Proteção Superficial	Cobertura vegetal	Cobertura vegetal jusante, RIP-RAP a montante, face de concreto ou enrocamento
Ciclo de Vida	Construção dinâmica, barramento alteado continuamente	Construída em etapa única, estrutura não alteada
Instrumentação	Reduzida, com pouca qualidade e variedade	Ampla (varia conforme altura): piezômetros, inclinômetros, medidores de recalques, medidores de deslocamento
Dimensionamento de Vertedores	Drenagem superficial	Dimensionada para tempo de recorrência TR 10.000 anos
Classificação de risco quanto a instabilidade	Alto	Baixo
Risco de Ruptura por Liquefação – Sismo	Alto	Nulo
Quanto ao impacto Ambiental Poluente - Ruptura	Alto	Nulo

5.4 Identificação de Áreas de Risco à Jusante

A CGH Salto Rio Branco, inserida no rio dos Patos, está distante de sua foz em 13,6 km, até desaguar no rio Ivaí. Seu reservatório, conforme citado neste relatório, eleva-se até a cota 688,52 m.

A figura abaixo mostra o futuro local onde está inserida a barragem da CGH Salto Rio Branco, bem como as edificações identificadas a jusante do barramento:



Figura 11. Identificação à jusante da CGH Salto Rio Branco

A seguir descreve-se de forma sucinta o vale do rio dos Patos a jusante do barramento:

Constitui-se este trecho a jusante da barragem numa região basáltica rochosa e de baixa declividade longitudinal, com alguns pontos de corredeiras.

Foram detectadas poucas habitações a jusante do barramento, ao longo dos 13,6 km até a foz. Não foram detectadas pontes sobre o rio. A tabela a seguir mostra os pontos identificados à jusante do barramento, com as respectivas distâncias:

Tabela 4 – Área a jusante do barramento da CGH Salto Rio Branco

Identificação	Distância do Barramento (km)	Distância da habitação até a margem do rio (m)	Cota de elevação da benfeitoria (m)	Obs:
1	0,19	0,0	629,36*	Casa de Força CGH Salto Rio Branco
2	1,70	0,0	609,00*	Casa de Força PCH Dois Saltos
3	2,80	0,0	593,00	Reservatório PCH km 19 **
4	3,02	209,8	731,00	Edificação Indicativa, impossível

				atingimento
5	5,05	95,0	580,00	
6	6,45	204,7	578,00	Elevação retirada do Google Earth, 2021
7	6,50	45,2	567,00	Elevação retirada do Google Earth, 2021
8	7,80	39,8	566,00	Elevação retirada do Google Earth, 2021
9	7,90	21,9	561,00	Elevação retirada do Google Earth, 2021

* Os valores apresentados remetem à cota de Proteção das estruturas.

** Aproveitamento ainda em fase de Licenciamento.

As 2 primeiras benfeitorias tratam-se das casas de força das CGH Salto Rio Branco e PCH Dois Saltos. Ambas benfeitorias possuem casco estrutural elevado até uma cota segura, dimensionadas para suportar cheias acima da TR 10.000 anos, sem que seu interior seja atingido / alagado pela extrema onda de cheia.

A benfeitoria identificada como 3 refere-se ao eixo do futuro barramento da PCH km 19. Esta benfeitoria, quando executada, formará um lago que servirá, em caso de ruptura desta barragem objeto deste PAE, uma bacia de dissipação importante para atenuar os efeitos da onda de cheia.

A benfeitoria 4 trata-se de uma identificação a jusante apenas indicativa, devido a altura onde a mesma encontra-se inserida, bem como a grande distância de afastamento do leito do rio.

As demais benfeitorias identificadas a jusante da barragem, a partir da edificação 5, encontram-se em distância bastante segura, por estarem situadas a mais de 5 km da barragem. Em tese, entre 5 a 6 km, observa-se o efeito de amortecimento completo do reservatório.

6. EFEITO DE LAMINAÇÃO DO RESERVATÓRIO A JUSANTE

Uma ruptura da barragem da CGH Salto Rio Branco seria um evento progressivo com curto tempo de ocorrência, e promoveria uma onda de cheia a qual se propagaria para jusante, dissipando sua intensidade à medida que o vale fosse percorrido. Este fenômeno físico e hidráulico, característico de um escoamento não permanente, promoveria grande amortecimento da onda de cheia, esta, de difícil quantificação.

À jusante da CGH Salto Rio Branco, é previsto a formação do reservatório da PCH km 19, localizado no rio dos Patos na el. 593,00 m, cuja distância entre barragens é de 2,8 quilômetros.

Nas hipóteses simuladas abaixo, primeiro não será considerado o efeito de amortecimento do reservatório da PCH km 19. Apenas o próprio rio será responsável por absorver um pulso de cheia decorrente de uma ruptura da barragem da CGH Salto Rio Branco. Uma segunda hipótese calculada neste relatório considera-se o efeito do reservatório da PCH km 19.

Em determinados pontos do rio, devido a topografia regional, haverá espraiamentos do pulso de cheia, inundando as margens e produzindo um efeito de dissipaçāo da onda de cheia. O impacto, portanto, serā maior nas proximidades da barragem.

O reservatório da CGH Salto Rio Branco trabalha a fio d'água, ou seja, não tem a função de acumulação, somente de proporcionar condições para favorecer a captação e contribuir na queda aproveitada.

As principais características do reservatório da CGH Salto Rio Branco são apresentadas abaixo:

Nível d'água máximo normal:.....	EI. 688,52
Área de Lago.....	6,0040 ha
Volume Morto.....	$0,082 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume Útil.....	$0,000 \times 10^6 \text{ m}^3$
Depleção.....	0,00m

Para modelar uma simulaçāo numérica da ruptura da barragem, foi considerado uma ruptura de um tramo do vertedouro no trecho central, coincidindo com o leito do rio.

Considerou-se uma ruptura inicial em um tramo da barragem, de abertura inicial de 4 metros. Após uma hora, rompe-se outro tramo, de 4 metros, cujo total são 8 metros. Em tese, não se vislumbra argumento para ruptura de um setor maior, já que este vertedouro encontra-se em operação desde o ano de 1956 e reformada em 2014, enfrentando cheias de grande magnitude sem nenhuma avaria ou anomalia no corpo da barragem.

Durante o fenômeno hidráulico de dissipaçāo da onda de cheia a jusante da barragem, observar-se-ia que o escoamento formado pela ruptura necessariamente passaria pela altura crítica ($2/3$ da carga), baixando progressivamente esta altura, devido ao espraiamento das margens (passando de 8 metros de largura na saída do vertedouro para 60 metros na seção do rio) conforme figura a seguir:



Figura 12. Larguras de escoamento do fenômeno

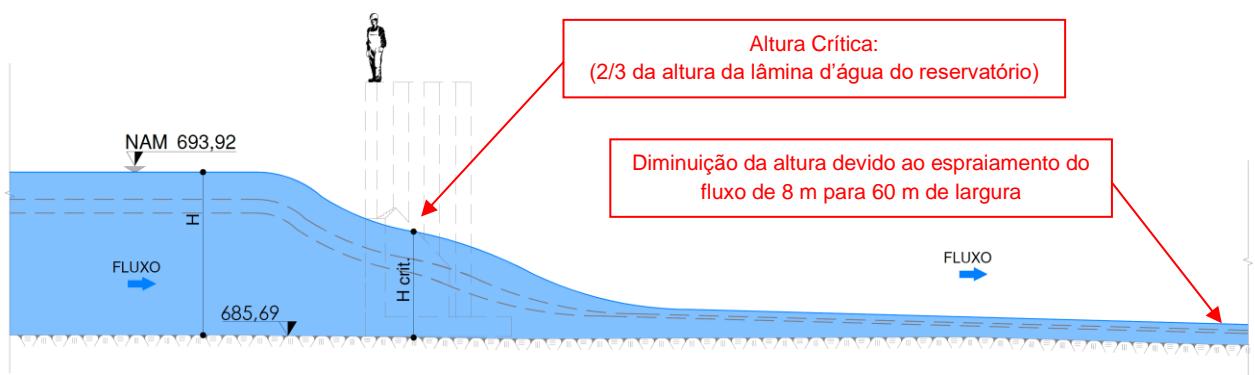


Figura 13. Altura Crítica Após Barragem

A partir deste dado de partida, simula-se a passagem da água pela brecha, iniciando a contagem do NA da onda de cheia no reservatório, verificando os efeitos a jusante na posição da casa de força.

Considera-se um hidrograma simplificado para este estudo, de formato triangular, sendo a área do hidrograma igual ao volume total do reservatório:

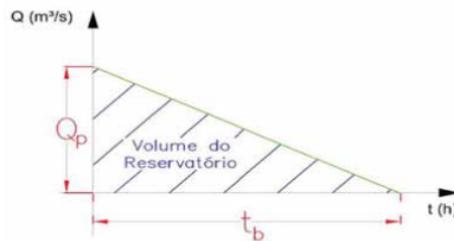


Figura 14. Hidrograma Modelo de Cálculo

O comportamento a jusante pode ser observado pela análise da figura a seguir, promovendo uma onda de cheia para jusante, sendo dissipada à medida que o vale fosse percorrido devido a fenômenos de perda de carga, e laminação no espelho d'água resultante.

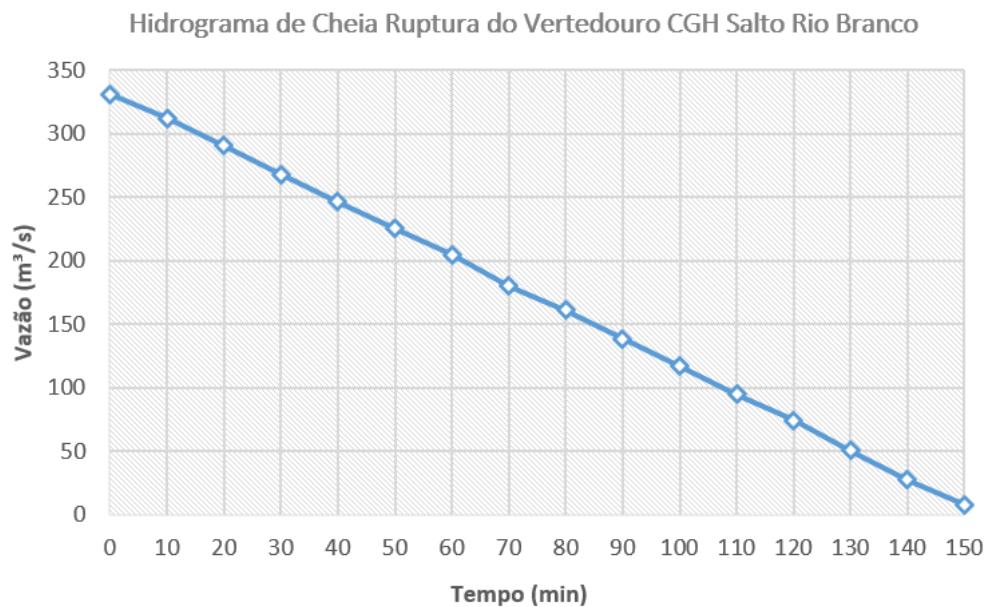


Figura 15. Hidrograma da Passagem da Onda de Ruptura

Tabela 5 – Cálculo do Hidrograma

Tempo (hs)	Tempo (min)	Brecha [Comprimento] (m)	Altura d'água escoando (m)	Q (m³/s)	Vol. Res (m³)
1	0	8	8,4	331	1.440.112
	10	8	8,1	312	1.252.870
	20	8	7,7	291	1.078.518
	30	8	7,3	268	917.574
	40	8	6,9	246	769.676
	50	8	6,5	225	634.450
	60	8	6,1	205	511.512
2	70	8	5,6	180	403.376
	80	8	5,2	161	306.616
	90	8	4,7	139	223.471

	100	8	4,2	117	153.234
	110	8	3,7	95	96.332
	120	8	3,1	74	51.794
3	130	8	2,4	51	21.454
	140	8	1,6	28	4.940
	150	8	0,7	8	161

Com esta simulação da hipotética ruptura, observa-se que o reservatório esvaziará em 2,50 horas, atingindo seu valor mínimo na ocorrência da passagem da cheia e consequente estabilização das vazões até a vazão média de longo termo.

Verifica-se que o pico da ruptura do vertedor é instantâneo, ou seja, no instante t=0 a onda de cheia abruptamente entrará no vale, sendo atenuado conforme os minutos irão passando.

Para a simulação constante neste PAE, foi considerado que a barragem não suportará uma cheia equivalente a TR 10.000 anos, rompendo 2 tramos da mesma. Na prática, isto não pode ocorrer, devido aos critérios de projetos estipulados para execução de barragens. Portanto, no que se refere a dissipação (esvaziamento) do reservatório formado por esta CGH, o rompimento da barragem em comparação com o evento natural da cheia TR 10.000 anos praticamente não fará diferença, estando a cheia TR 10.000 anos como o evento causador dos hipotéticos estragos a jusante da barragem.

Ao considerar outro cenário, numa ruptura provocada por uma falha estrutural na barragem não sendo causada por uma cheia, seu esvaziamento equivaleria a uma TR entre 2 a 5 anos, a qual configura como uma cheia de pequenas proporções, e que na prática, de tempos em tempos, já atinge naturalmente o vale, sem causar estragos nas estruturas ora identificadas neste PAE.

Apresentados os dados geométricos do reservatório da CGH Salto Rio Branco, o qual para uma TR 10.000 anos o volume equivalente seria 1.440.112 m³, caso este volume adentrasse abruptamente na calha do rio dos Patos, este com distância até a foz em 13,6 km, comprimento médio da calha igual a aproximadamente 25 metros, resultaria numa laminação de:

$$\text{Área Total} = \text{Área da Calha do Rio}$$

$$\text{Área Total} = 13.600 \text{ m} \times 25 \text{ m}$$

$$\text{Área Total} = 340.000 \text{ m}^2$$

$$Dh = \text{Volume Salto rio Banco} / \text{Área Total} = 1.440.112 \text{ m}^3 / 340.000 \text{ m}^2 = 4,2 \text{ m.}$$

Portanto, o leito do rio dos Patos, numa simulação hipotética de baixíssima probabilidade, caso o reservatório esvazie instantaneamente, a sobre elevação a jusante seria 4,20m.

Considerando os efeitos acima comentados sobre o amortecimento, além da configuração geométrica da própria curva cota área do lago da CGH Salto Rio Branco, esta estimativa estaria extremamente a favor da segurança, sendo na verdade bem menor que uma sobre-elevação que realmente ocorreria.

O efeito de esvaziamento do reservatório pode ser visualizado no gráfico a seguir, que representa o decréscimo de volume do lago em função do tempo:

Esvaziamento do Reservatório CGH Salto Rio Branco

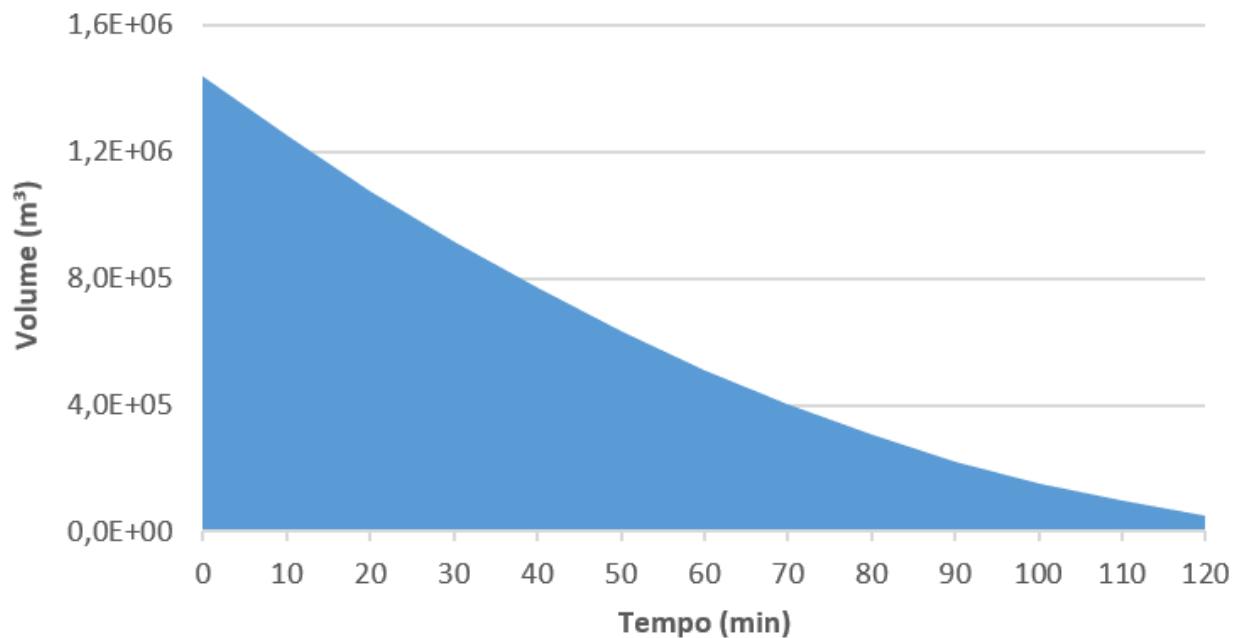


Figura 16. Esvaziamento do Reservatório CGH Salto Rio Branco

As figuras a seguir apresentam a mancha de inundação (em vermelho), apresentada em perspectiva no Google Earth, demonstrando que o vale encaixado a jusante da barragem auxilia na contenção das cheias:

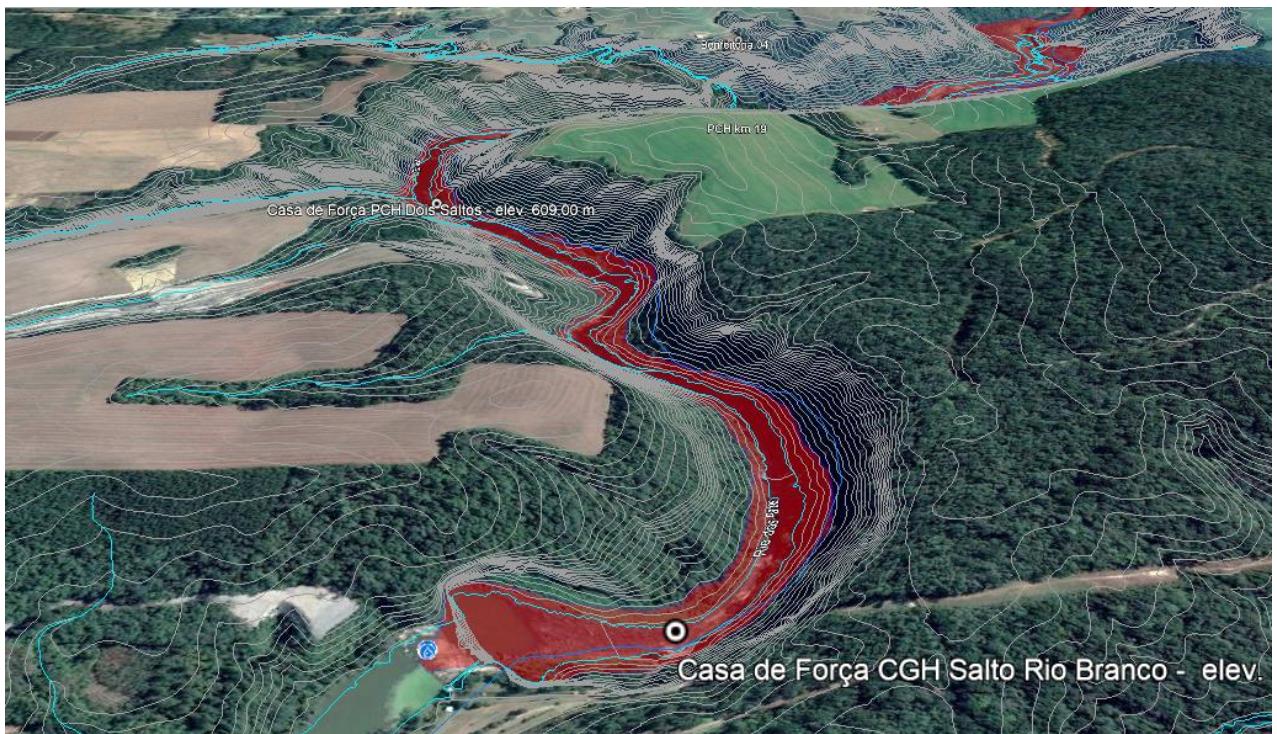


Figura 17. Mancha de Inundação

Observa-se que a benfeitoria 4 está em cota bastante segura, conforme figura a seguir:

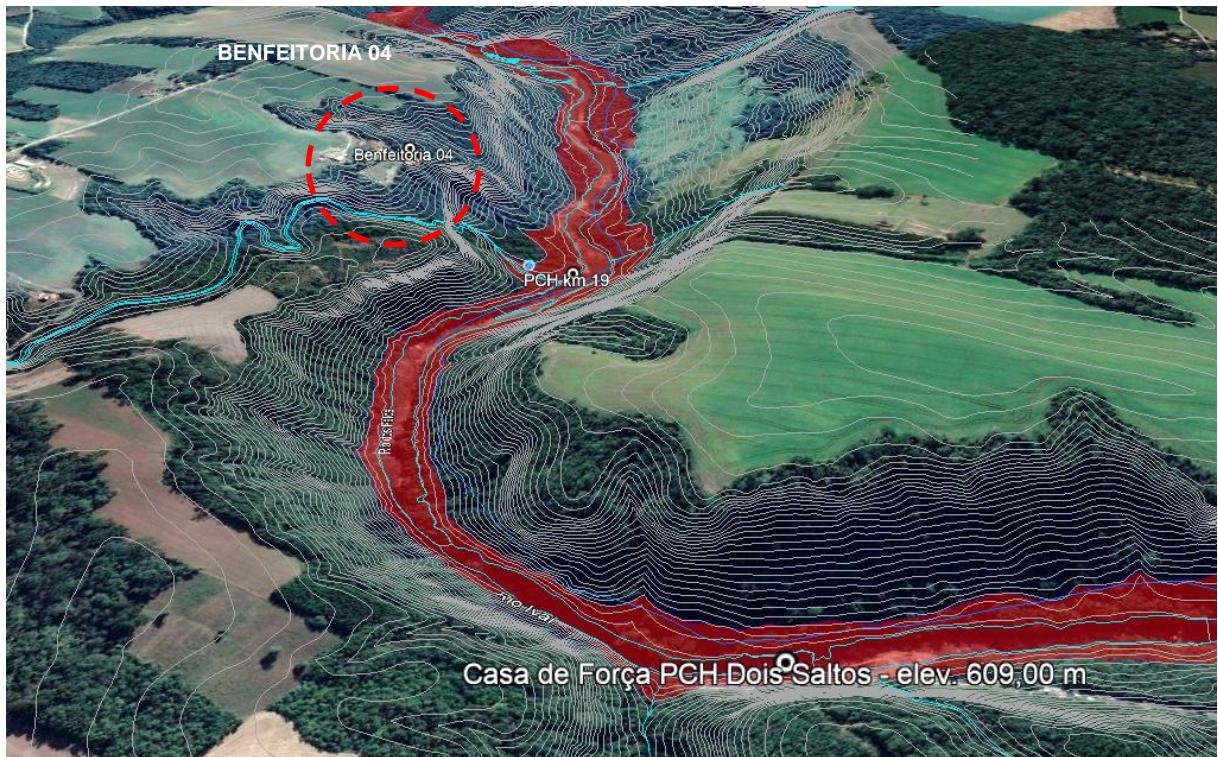


Figura 18. Mancha de Inundação

O fim da mancha de inundação foi estipulada em 6 km, próximo as benfeitorias 6 e 7. Na figura a seguir verifica-se que a benfeitoria 5 está em cota bastante segura.

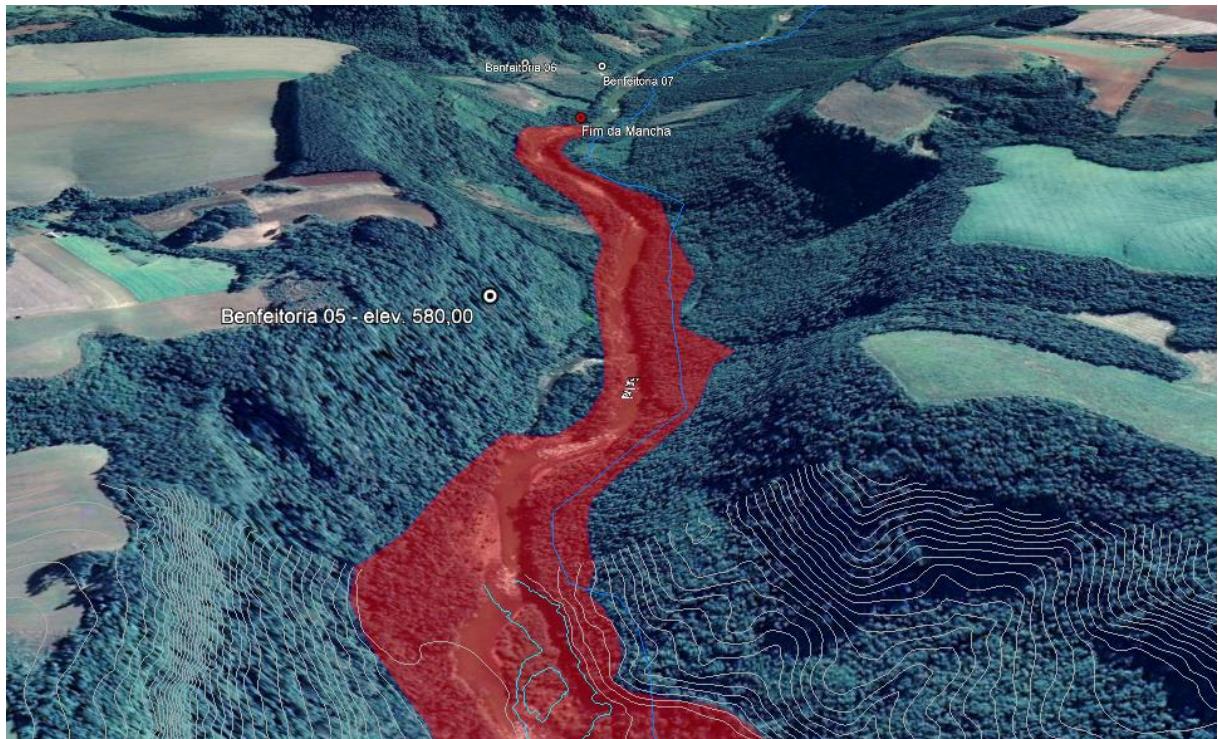


Figura 19. Mancha de Inundação

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As características da barragem da CGH Salto Rio Branco, demonstradas neste PAE indicam que esta estrutura será segura, pelos diversos motivos citados a seguir:

- Confirmação de que todas as casas / benfeitorias detectadas neste estudo estarem fora da mancha de inundação da barragem rompida, com exceção da Casa de Força da PCH Dois Saltos, muito embora tenha sua cota de proteção calculada para eventos deca milenares (nível acima da onda de cheia), constatando que todas as estruturas a jusante estarão em local seguro;
- Foram verificados os estudos hidrológicos para a barragem da CGH Salto Rio Branco, com estudos de vazões excepcionais, baseados em longas séries históricas de vazões consistidas pela ANA, que garantem dados confiáveis para a verificação do dimensionamento hidráulico do vertedouro e barragem;
- Barragem pequena, cuja altura máxima é 3 metros;
- Reservatório muito pequeno, devido a pequena barragem e por se tratar de CGH, trabalhando à fio d'água;
- Boas condições de fundações, por se tratar de laje aflorada de basalto, bem como verificada pelo tempo de vida útil até aqui contabilizada;
- Baixíssima probabilidade de sismos na região. Em raros eventos sísmicos na região da futura barragem, os registros apontaram sismos pequenos, perfeitamente absorvíveis pela barragem. Portanto, não há risco de ordem sismológica que justifique um monitoramento para este projeto;
- Vale pouco habitado à jusante do reservatório, com poucas propriedades identificadas em região de baixa a nula probabilidade de atingimento, as quais foram demonstradas neste PAE que não serão atingidas em caso de ruptura desta barragem.

8. ANEXO: ART DO PAE DA CGH SALTO RIO BRANCO



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977

CREA-PR

Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná

Página 1/1
ART de Obra ou Serviço
1720214530608

1. Responsável Técnico

LUIZ DINIZ DE OLIVEIRA NETO

Título profissional:

ENGENHEIRO CIVIL

RNP: 1719088209

Carteira: PR-184119/D

2. Dados do Contrato

Contratante: **SANTA CLARA INDÚSTRIA DE CARTÕES LTDA.**

CNPJ: 80.226.780/0001-21

ESTRADA MUNICIPAL PALMITAL, S/N

DISTRITO BOM JARDIM DO SUL PALMITAL - IVAI/PR 84460-000

Contrato: (Sem número)

Celebrado em: 02/08/2021

Tipo de contratante: Pessoa Jurídica (Direito Privado) brasileira

3. Dados da Obra/Serviço

RIO DOS PATOS, KM13,6

ZONA RURAL - PRUDENTÓPOLIS/PR 84400-000

Data de Início: 02/08/2021

Previsão de término: 10/09/2021

Coordenadas Geográficas: -25,167622 x -50,942418

Finalidade: Infra-estrutura

Proprietário: **SANTA CLARA INDÚSTRIA DE CARTÕES LTDA.**

CNPJ: 80.226.780/0001-21

4. Atividade Técnica

Elaboração

[Avaliação, Desenvolvimento, Dimensionamento, Ensaio, Estudo, Levantamento, Projeto] de barragens de material misto

Quantidade
3,00

Unidade
METRO

Após a conclusão das atividades técnicas o profissional deverá proceder a baixa desta ART

5. Observações

PLANO DE AÇÃO DE EMERGÊNCIA - PAE - CGH SALTO RIO BRANCO

7. Assinaturas

Declaro serem verdadeiras as informações acima

Local	, _____ de _____ de _____	data
LUIZ DINIZ DE OLIVEIRA	Assinado de forma digital por LUIZ	
NETO:00773995366	DINIZ DE OLIVEIRA	
	NETO:00773995366	Dados: 2021.09.13 10:49:13 -03'00'
LUIZ DINIZ DE OLIVEIRA NETO - CPF: 007.739.953-66		
LUCIANA PIGATTO	Digitally signed by LUCIANA PIGATTO DN: CN=LUCIANA PIGATTO,OU=Autenticador,O=Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Paraná,CO=PR,ST=Paraná,L=Curitiba,C=BR Type: A3, ou=AUTENTICADO,cn=LUCIANA PIGATTO Algorithm: RSA SHA256 Date: 2021.09.13 10:13:12 -03'00'	
SANTA CLARA INDÚSTRIA DE CARTÕES LTDA. - CNPJ: 80.226.780/0001-21		

8. Informações

- A ART é válida somente quando quitada, conforme informações no rodapé deste formulário ou conferência no site www.crea-pr.org.br.
- A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-pr.org.br ou www.confea.org.br
- A guarda da via assinada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante com o objetivo de documentar o vínculo contratual.

Acesso nosso site www.crea-pr.org.br
Central de atendimento: 0800 041 0067



Valor da ART: R\$ 88,78

Registrada em : 10/09/2021

Valor Pago: R\$ 88,78

Nosso número: 2410101720214530608

A autenticidade desta ART pode ser verificada em <https://servicos.crea-pr.org.br/publico/art>
Impresso em: 13/09/2021 09:24:13

www.crea-pr.org.br

