



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

MESTRADO PROFISSIONAL EM DEFESA E SEGURANÇA CIVIL

INSTITUTO DE QUÍMICA

MÔNICA DE AQUINO GALEANO DA HORA ROCHA

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE GALGAMENTO PELA PASSAGEM DA CHEIA
DECAMILENAR SOBRE A BARRAGEM DE JUTURNAÍBA, LOCALIZADA NA
BACIA DO RIO SÃO JOÃO, ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Niterói
2017

MÔNICA DE AQUINO GALEANO DA HORA ROCHA

**AVALIAÇÃO DO RISCO DE GALGAMENTO PELA PASSAGEM DA CHEIA
DECAMILENAR SOBRE A BARRAGEM DE JUTURNAÍBA, LOCALIZADA NA
BACIA DO RIO SÃO JOÃO, ESTADO DO RIO DE JANEIRO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense, como parte dos requisitos para obtenção de grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Desastres Naturais.

Orientador:

Professor Manoel Isidro de Miranda Neto, D.Sc.

Niterói
2017

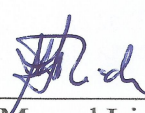
MÔNICA DE AQUINO GALEANO DA HORA ROCHA

**“AVALIAÇÃO DO RISCO DE GALGAMENTO PELA PASSAGEM DA CHEIA
DECAMILENAR SOBRE A BARRAGEM DE JUTURNAÍBA, LOCALIZADA NA
BACIA DO RIO SÃO JOÃO, ESTADO DO RIO DE JANEIRO”**

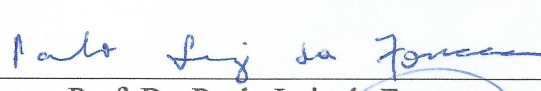
Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de Concentração: **Planejamento e Gestão de Eventos Críticos**. Linha de Pesquisa: **Desastres Naturais**.

Aprovada em 24 de junho de 2017.

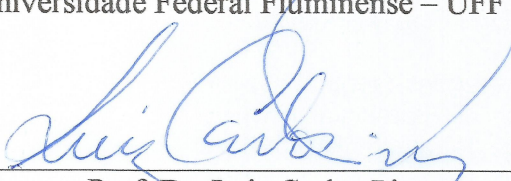
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Manoel Isidro de Miranda Neto
Universidade Federal Fluminense – UFF



Prof. Dr. Paulo Luiz da Fonseca
Universidade Federal Fluminense – UFF



Prof. Dr. Luiz Carlos Pires
Universidade do Vale do Paraíba – UNIVAP

**Universidade Federal Fluminense
Superintendência de Documentação
Biblioteca da Faculdade de Direito**

- R672 Rocha, Mônica de Aquino Galeano da Hora.
Avaliação do risco de galgamento pela passagem da cheia decamilenar sobre a barragem de Juturnaíba, localizada na bacia do rio São João, Estado do Rio de Janeiro / Mônica de Aquino Galeano da Hora Rocha. Niterói, 2017.
125 f.
- Dissertação (Mestrado em Defesa e Segurança Civil) ï Programa de Pós-graduação em Defesa e Segurança Civil, Universidade Federal Fluminense, 2017.
1. Barragens (segurança). 2. Barragens de terra. 3. Risco ambiental. 4. Hidrologia. I. Universidade Federal Fluminense. Faculdade de Direito. II. Título.

CDD 627.8

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Mônica e Antonio, pelo imenso carinho, paciência e amor incondicional que me proporcionaram ao longo dos anos, pelos quais serei eternamente grata.

Ao meu marido Ygor, pela compreensão e pelo companheirismo.

Aos meus queridos amigos, principalmente à Valéria, pelo incentivo e pela força que me deram para continuar seguindo em frente como a minha pesquisa.

Àqueles muito amados que já faleceram, mas que certamente estariam muito felizes com a minha vitória.

Gostaria também de dedicar esta pesquisa àqueles que amam a engenharia civil e contribuem para a disseminação de seu conhecimento em nosso país.

Ao Gustavo Carneiro de Noronha, *in memoriam*.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer aos funcionários do Arquivo Nacional, em especial à Mariana Lambert Passos Rocha, pela presteza, rapidez, urbanidade e carinho no atendimento e pela eficiência do serviço prestado.

Agradeço ao Engenheiro Osmar de Oliveira Dias Filho pela atenção e pelo tempo ao qual me dedicou na visita de campo à barragem de Juturnaíba.

Agradeço muitíssimo ao meu grande amigo e irmão Professor Gustavo Carneiro de Noronha, de quem fui monitora e orientada de graduação, e cuja dissertação foi essencial na fundamentação deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador Professor Manoel Isidro Miranda Neto pela diligência e pelas correções oportunas desta pesquisa.

Agradeço a Deus por me guiar sabiamente nesta jornada.

ãSonhar o sonho impossível,
Sofrer a angústia implacável,
Pisar onde os bravos não ousam,
Reparar o mal irreparável,
Tentar quando as forças se esvaem,
Alcançar a estrela inatingível:
Essa é a minha busca.ò

Dom Quixote, Miguel de Cervantes (1547-1616)

RESUMO

A presente dissertação propõe-se a estudar o risco de galgamento da barragem de Juturnaíba, maior reservatório de acumulação de água para abastecimento humano do Estado do Rio de Janeiro. Para fundamentação do trabalho, além de visita técnica ao local, foi realizada uma pesquisa documental junto ao Arquivo Nacional, responsável pela guarda de parte do projeto do extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento, como também de pesquisas científicas realizadas anteriormente sobre o empreendimento. Durante o desenvolvimento, procurou-se analisar os riscos e os danos potenciais associados à barragem, conforme duas classificações: a do Comitê Brasileiro de Barragens e a do Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Posteriormente, foi analisado o risco de galgamento da barragem de terra pela passagem da cheia decamilenar, para dois cenários: com comportas operantes e inoperantes, considerando a evolução do processo de assoreamento ao longo dos anos. Devido à escassez de informações sobre séries históricas de vazões na bacia, foi adotada a metodologia do Hidrograma Unitário Triangular e comparados os resultados com as curvas de regionalização do Serviço Geológico do Brasil. A vazão decamilenar calculada foi igual a $5.587 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto que o valor encontrado nos documentos pesquisados foi de $5.600 \text{ m}^3/\text{s}$, o que permitiu concluir que o projeto do vertedouro está em conformidade com os critérios preconizados. Após as simulações de passagem da onda de cheia pelo reservatório, foi possível avaliar que o galgamento da barragem, mesmo com a evolução do processo de assoreamento ao longo dos anos, seja com as comportas operantes ou inoperantes, é remoto. No entanto, a barragem de Juturnaíba possui potencial de risco alto e alto dano potencial associado, tanto com relação às perdas de vidas humanas quanto aos impactos ambientais e socioeconômicos, devido, principalmente, ao estado precário de conservação em que se encontra. Recomenda-se, para estudos futuros, a avaliação da estabilidade dos taludes da barragem de terra, bem como a realização de obras de reparo das estruturas de concreto degradadas e recuperação ou instalação de instrumentos que permitam o monitoramento de possíveis deslocamentos da barragem de terra.

Palavras-Chave: Barragens (segurança); Barragens de terra; Risco ambiental; Hidrologia.

ABSTRACT

The present dissertation proposes to study the risk of overtopping of the Juturnaíba dam, which maintains the largest reservoir for water supply in the state of Rio de Janeiro. The study was based both on a technical visit to the locality and on searches conducted on documents held in the National Archives, which are responsible for safeguarding some of the projects of the former National Department of Sanitation Works, and on scientific studies conducted previously on this undertaking. In developing this study, it was sought to analyze the risks and potential damage associated with the dam, in accordance with two classifications: one from the Brazilian Dams Committee and the other from the National Water Resources Council. Next, the risk of overtopping of the earth dam due to a ten-thousand-year flood was analyzed using two scenarios: floodgates working and not working. Additionally, the effects of evolution of silting process over the years were taken into consideration. Because of the scarcity of information on historical series of flow rates in the basin, the triangular unit hydrograph methodology was used and the results were compared with the regionalization curves of the Brazilian Geological Service. The ten-thousand-year flow rate calculated was $5,587 \text{ m}^3/\text{s}$, while the value found in the documents investigated was $5,600 \text{ m}^3/\text{s}$. This made it possible to conclude that the spillway design was in accordance with the criteria recommended by the Brazilian Dams Committee and the National Water Resources Council. After performing simulations of flood wave passage through the reservoir, it was possible to evaluate that overtopping of the dam is remote, even with evolution of the silting-up process over the years, whether or not the floodgates were working. Nonetheless, the Juturnaíba dam potentially presents high risk and associated high rates of damage, both regarding losses of human lives and regarding environmental and socioeconomic impacts. This is mainly due to the poor state of conservation that it currently presents. It is recommended that future studies should assess the slope stability of the earth dam, and that repair work should be implemented on the degraded concrete structures, with recuperation or installation of instruments that would enable monitoring of possible movement of the earth dam.

Keywords: Dam safety; Earth dam; Environmental risk; Hydrology.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xi
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xiv
INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO GERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO	3
1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO.....	3
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO E DOS DANOS POTENCIAIS DAS BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA.....	5
2.2 ESTIMATIVA DA CHEIA MÁXIMA PROVÁVEL PARA LOCAIS SEM DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES.....	13
2.3 ESTIMATIVA DA CHEIA MÁXIMA PROVÁVEL PARA LOCAIS COM DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES.....	16
2.3.1 Estimativa da CMP quando o local em estudo dispõe de série de vazões médias diárias	16
2.3.2 Estimativa da CMP quando a região em estudo possui curvas de regionalização.....	17
2.4 ESTRUTURAS EXTRAVASORAS	17
2.4.1 Vertedouro do tipo labirinto ou trapezoidal.....	18
2.5 DISPOSITIVOS DE CONTROLE DE ENTRADA E SAÍDA DA ÁGUA	20
2.6 LAMINAÇÃO DAS CHEIAS DE PROJETO	21
2.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UM RESERVATÓRIO	22
MATERIAIS E MÉTODOS.....	25
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO.....	25
3.2 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO.....	26
3.3 ASPECTOS CONSTRUTIVOS	29
3.4 SITUAÇÃO ATUAL DO EMPREENDIMENTO.....	34
3.5 DEFINIÇÃO DA CHEIA OU VAZÃO DE PROJETO	47
3.5.1 Estimativa das vazões máximas a partir das séries históricas de vazões diárias	48
3.5.2 Estimativa das vazões máximas a partir de curva de regionalização.....	49
3.5.3 Estimativa das vazões máximas a partir do HUT	51
3.6 CURVAS CARACTERÍSTICAS DO RESERVATÓRIO	53

3.7	LAMINAÇÃO DA CHEIA MÁXIMA PROVÁVEL	54
3.7.1	Laminação com comportas completamente fechadas	54
3.7.2	Laminação com comportas completamente abertas.....	56
	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4.1	CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS E DOS DANOS POTENCIAIS	58
4.2	ESTIMATIVA DAS VAZÕES MÁXIMAS AFLUENTES AO RESERVATÓRIO	59
4.2	DEFINIÇÃO DA CURVA DE VAZÃO DO VERTEDOURO EM LABIRINTO...	60
4.2	DEFINIÇÃO DA CURVA DE OPERAÇÃO DAS COMPORTAS	62
4.3	ESTIMATIVA DO NÍVEL D'ÁGUA NO RESERVATÓRIO	63
4.3.1	Com comportas completamente fechadas	63
4.3.2	Com comportas completamente abertas.....	64
4.4	LAMINAÇÃO DA VAZÃO DECAMILENAR	65
	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	67
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
	Anexo 1	73
	Apêndice A.....	75
	Apêndice B	77
	Apêndice C	85
	Apêndice D.....	89
	Apêndice E	96

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Porcentagem de barragens rompidas em relação à altura da estrutura.....	5
Figura 2	Porcentagem de ruptura em relação à idade da barragem.....	6
Figura 3	Hidrograma Unitário Triangular	13
Figura 4	Principais parâmetros de um vertedouro do tipo labirinto	19
Figura 5	Coeficiente de vazão μ_w para vertedouro em labirinto	20
Figura 6	Volume morto de um reservatório	23
Figura 7	Volume útil de um reservatório	23
Figura 8	Nível d'água máximo <i>maximorum</i> de um reservatório	24
Figura 9	Níveis e volumes característicos de um reservatório	24
Figura 10	Bacia hidrográfica do rio São João	25
Figura 11	Localização da Barragem de Juturnaíba e da antiga lagoa. (1) Curso d'água; (2) Novo traçado do rio São João a partir do canal defluente pelo Vertedouro; (3) Eixo do barramento; (4) Reservatório; (5) Antiga lagoa; (6) Divisor de água a montante do barramento.....	27
Figura 12	Vista aérea do reservatório (1), do vertedouro (2), das tomadas d'água laterais (3) e da ponte de interligação (4). Observar o assoreamento a montante e a jusante do vertedouro.	29
Figura 13	Vista por jusante da ponte de interligação. Observar o morro sem cobertura vegetal.	29
Figura 14	Eixo da Barragem de Juturnaíba com localização das estacas, do leito do rio São João, dos poços de visita e saídas das drenagens dos poços	32
Figura 15	Seções transversais típicas.....	33
Figura 16	Fazenda de criação de gado próxima ao pé do barramento, na face de jusante....	34
Figura 17	Placa de proibição de acesso de veículos não autorizados e barreiras	34
Figura 18	Gado circulando livremente na crista da barragem.....	35
Figura 19	Cupinzeiros na crista da barragem	35
Figura 20	Ilhas flutuantes no reservatório de Juturnaíba	36
Figura 21	Poços de visita existentes no talude de jusante da barragem.....	36
Figura 22	Fazenda de criação de gado na margem do reservatório.....	37
Figura 23	Área de pasto da fazenda, com detalhe do solo erodido	37
Figura 24	Vertedouro labirinto de Juturnaíba.....	37
Figura 25	Canais, de restituição e complementar, do lado esquerdo do vertedouro	38
Figura 26	Estrutura de concreto rompida do lado direito do vertedouro	38
Figura 27	Vegetação ao redor da margem direita do vertedouro	39
Figura 28	Detalhe dos blocos de concreto rompidos do lado direito do vertedouro	39
Figura 29	Estrutura colapsada do lado direito do vertedouro.....	39
Figura 30	Comportas do lado direito do vertedouro com desnível para dissipação de energia	40
Figura 31	Vista para jusante do canal de restituição do lado esquerdo do vertedouro	40
Figura 32	Colapso do canal de restituição do lado esquerdo do vertedouro	40

Figura 33	Detalhe do rompimento do canal de restituição do lado esquerdo do vertedouro	41
Figura 34	Bloco de concreto do canal de restituição que se separou do lado esquerdo do vertedouro.....	41
Figura 35	Comporta da extrema direita do lado esquerdo com detalhe ao fundo do vertedouro.....	42
Figura 36	Nível d'água a montante das comportas do lado esquerdo do vertedouro	42
Figura 37	Detalhe para o gradeamento da face de montante do lado esquerdo do vertedouro	43
Figura 38	Grades inutilizadas na margem esquerda do rio São João.....	43
Figura 39	Presença de marimbondos e aranhas nas adufas.....	44
Figura 40	Presença de vegetação em cima do vertedouro	44
Figura 41	Detalhe para a vegetação a montante e a jusante da barragem.....	44
Figura 42	Estrutura para descida dos <i>stop-logs</i> do canal de restituição do lado direito	45
Figura 43	Estrutura para descida dos <i>stop-logs</i> do canal de restituição do lado esquerdo ...	45
Figura 44	Ilhas a jusante e próximas das estruturas hidráulicas da barragem.....	46
Figura 45	Presença de árvores de porte na ilha maior	46
Figura 46	Passagem de vegetação pelo vertedouro para jusante da barragem.....	46
Figura 47	Vista de jusante da ponte.....	47
Figura 48	Representação esquemática da seção transversal do vertedouro	48
Figura 49	Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos existentes na bacia do rio São João e adjacências	52
Figura 50	Curvas de vazão das comportas na condição completamente abertas	56
Figura 51	Arranjo esquemático do vertedouro da barragem de Juturnaíba	61
Figura 52	Curva de vazão do vertedouro em função da carga hidráulica	62
Figura 53	Curva de operação das comportas.....	63
Figura 54	Curva de vazão defluente <i>versus</i> nível d'água no reservatório: sem comportas ..	64
Figura 55	Curva de vazão defluente <i>versus</i> nível d'água no reservatório: com comportas..	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classificação do potencial de risco de barragens	7
Tabela 2	Classificação das barragens pela sua dimensão	7
Tabela 3	Classificação das barragens pelo dimensionamento do vertedouro	7
Tabela 4	Classificação quanto às características técnicas.....	9
Tabela 5	Classificação quanto ao estado de conservação	10
Tabela 6	Classificação quanto ao plano de segurança da barragem	11
Tabela 7	Faixas de classificação quanto à categoria de risco.....	11
Tabela 8	Classificação quanto ao dano potencial associado	12
Tabela 9	Faixas de classificação quanto à categoria de dano potencial associado.....	12
Tabela 10	Ficha técnica da barragem e das estruturas civis	28
Tabela 11	Postos fluviométricos inseridos na bacia com histórico de vazões	48
Tabela 12	Série de vazões máximas mensais e anuais do posto fluviométrico Correntezas - Nova	50
Tabela 13	Dados dos Postos Pluviométricos.....	51
Tabela 14	Cálculo da função armazenamento do reservatório de Juturnaíba: comportas fechadas.....	55
Tabela 15	Cálculo da vazão defluente a cada passo de tempo: comportas fechadas.....	55
Tabela 16	Cálculo da função armazenamento do reservatório de Juturnaíba: comportas fechadas.....	56
Tabela 17	Cálculo da vazão defluente a cada passo de tempo com comportas.....	57
Tabela 18	Resultados obtidos da simulação do HUT	60
Tabela 19	Vazões máximas resultantes da composição dos hidrogramas	60
Tabela 20	Vazão do vertedouro em labirinto	61
Tabela 21	Vazão de operação das 8 comportas abertas	62
Tabela 22	Vazão de operação das 8 comportas abertas	63
Tabela 23	Vazão defluente e nível d'água associado	64
Tabela 24	Resultados da vazão defluente.....	66
Tabela 25	Resultados do nível d'água no reservatório	66

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a	largura compreendida entre o centro do ciclo e o final da face interna do mesmo, em m;
A	área de drenagem da bacia em estudo, em km ² .
A _d	área da abertura da comporta, em m ² .
ANA	Agência Nacional de Águas.
A _o	área da bacia, em km ² , para a qual se tem P igual a P _o . Segundo Torrico (1975), é usual a adoção de A _o igual a 25 km ² .
APA	área de proteção ambiental.
b	comprimento da parede de um módulo ou ciclo no sentido paralelo ao fluxo, em m.
C	cota do nível d'água correspondente ao volume do reservatório, em m.
C _B	cota da crista do barramento, em m.
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens.
C _d	coeficiente de vazão, adimensional.
CILSJ	Consórcio Intermunicipal Lagos São João.
CMP	cheia máxima provável, em m ³ /s.
CN	complexo solo-vegetação, ou <i>curve number</i> , função do tipo de ocupação da bacia.
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos.
CPRM	Serviço Geológico do Brasil.
CT	características técnicas.
CRI	categoria de risco.
D	desnível, em m.
DER-RJ	Fundação Departamento Estadual de Estradas de Rodagem.
DNOS	Departamento Nacional de Obras de Saneamento.
DPA	dano potencial associado.
D _u	duração da chuva unitária, em horas.
EC	estado de conservação da barragem.
F _B	borda livre ou <i>free-board</i> , em m. É definida a partir de uma sobrelevação adicional ao nível d'água máximo <i>maximorum</i> para impedir que as ondas formadas pelo vento ultrapassem a crista da barragem.

g_s	assimetria de uma amostra.
g	aceleração da gravidade, em m/s^2 .
H	carga hidráulica, em m.
H_m	carga hidráulica de montante, em m.
HUT	hidrograma unitário triangular.
i	intensidade da chuva, em mm/h.
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.
ICOLD	<i>International Commission on Large Dams</i> .
INEA	Instituto Estadual do Ambiente.
L	comprimento total desenvolvido do vertedouro, em m.
L_T	comprimento do curso d'água principal, em km.
n	número de observações.
NA_{max}	nível d'água máximo do reservatório, geralmente, este nível coincide com a crista do vertedouro, em m.
NA_{maxmax}	nível d'água máximo <i>maximorum</i> , corresponde a sobrelevação máxima do nível d'água, disponível para passagem de ondas de cheias (recorrências de 500, 1.000 ou 10.000 anos) para a segurança da barragem, em m.
NA_{min}	nível d'água mínimo do reservatório, em m.
$NA_{reservatório}$	nível d'água do reservatório, em m.
P	altura do vertedouro, em m.
P_e	precipitação efetiva, em mm.
P_{dist}	chuva distribuída, em mm.
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil.
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens.
P_o	chuva pontual, calculada a partir da equação de chuvas intensas, em mm.
PS	plano de segurança da barragem.
Q_{afl}	vazão afluente, em m^3/s .
$\overline{Q_{afl}}$	valor médio da vazão afluente no reservatório ao longo do intervalo de tempo qt .
Q_{afl_t}	vazão afluente no intervalo de tempo t , em m^3/s .
$Q_{afl_{TOTAL}}$	hidrógrafa afluente ao reservatório, em m^3/s .
$Q_{afl_{t+qt}}$	vazão afluente no intervalo de tempo $t+qt$, em m^3/s .

Q_C	vazão de comporta, em m^3/s .
Q_{def}	vazão defluente, em m^3/s .
Q_{def_t}	vazão defluente no intervalo de tempo t , em m^3/s .
$Q_{def_{t+qt}}$	vazão defluente no intervalo de tempo $t+qt$, em m^3/s .
$\overline{Q_{def}}$	valor médio da vazão defluente do reservatório ao longo do intervalo de tempo qt .
Q_{HUT}	vazão do hidrograma unitário triangular, em $m^3/s.mm$.
Q_i	vazão máxima anual da qual se tem n observações, em m^3/s .
q_p	vazão máxima para 1,0 mm de chuva efetiva, em m^3/s .
Q_{MC}	média das vazões máximas anuais, em m^3/s .
Q_{TR}	vazão para um determinado tempo de recorrência, em m^3/s .
Q_w	vazão do vertedouro em labirinto, em m^3/s .
$Q_{vert_{TOTAL}}$	vazão vertida total, em m^3/s .
Rebio	reserva biológica.
s	desvio-padrão de uma amostra.
S	retenção potencial do solo, em mm.
SCS	<i>United States Soil Conservation Service</i> .
SEA	Secretaria de Estado do Ambiente.
SVT	volume desacumulado, em m^3 .
SVTô	volume desacumulado na unidade de tempo, em m^3/s .
S_v	armazenamento ou volume acumulado, em m^3 .
t	duração do evento, em minutos. Adota-se que a duração do evento deve ser igual ao tempo de concentração (t_c).
t_a	tempo de ascensão do HUT, em horas.
t_b	tempo de base ou duração do HUT, em horas.
t_c	tempo de concentração da bacia, em horas.
TDT	<i>Texas Department of Transport</i> .
t_p	tempo de pico ou tempo de retardo ou tempo decorrido entre o centro de gravidade da chuva até o pico do HUT, em horas.
t_r	tempo de recessão, em horas.
TR	tempo de recorrência ou retorno, em anos.
V	volume do reservatório, em m^3 .
V_{ES}	volume escoado superficialmente para 1,0 mm de chuva efetiva, em m^3 .

VM	volume morto, corresponde à parcela do volume total do reservatório indisponível para fins de adução de água, em m ³ .
VU	volume útil do reservatório, em m ³ , corresponde ao volume compreendido entre os níveis d'água mínimo e máximo operacionais.
w	largura de um ciclo ou de um módulo do vertedouro labirinto, em m.
W _c	fator de correlação definido por Torrico (1975) e igual a 0,10.
W	largura total do vertedouro em labirinto, em m.
α_w	ângulo entre uma linha perpendicular ao eixo do vertedouro e a parede lateral do mesmo.
Δt	intervalo de tempo, em hora.
μ, α'	parâmetros da distribuição exponencial a dois parâmetros.
μ_w	coeficiente de vazão do vertedouro em labirinto, adimensional.
x_0, β	parâmetros da distribuição de Gumbel.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

A água é a conexão fundamental que relaciona os aspectos de sobrevivência do ser humano, sendo também a base indispensável para a manutenção do meio ambiente que o cerca. À medida que a população aumenta, as demandas por água também aumentam. A construção de barragens para abastecimento, fornecimento de eletricidade, regularização de vazões, retenção de resíduos entre outros, auxilia o poder público a suprir necessidades da sociedade (ROCHA e HORA, 2016).

De acordo com o último relatório sobre segurança de barragens, o Brasil dispõe de 17.259 barragens cadastradas pelas entidades fiscalizadoras federais e estaduais. Deste total, 16.313 são exclusivamente de acumulação de água, dividindo-se em 15.671 para fins de usos múltiplos (utilizadas para abastecimento humano e industrial, irrigação, navegação, dessedentação animal e lazer) e 642 para geração de energia hidrelétrica. O restante são barragens para contenção de rejeitos de mineração (660) e resíduos industriais (286) (ANA, 2016).

As barragens de acumulação de água quando são projetadas, construídas e operadas corretamente se tornam muito seguras e apresentam baixa probabilidade de falhas. Todavia, é inevitável que, apesar de toda precaução, sempre exista um risco residual permanente (CESTARI JÚNIOR, 2014).

Viseu e Almeida (2011) atentam que as consequências oriundas de um eventual acidente envolvendo barragens de acumulação de água dependem basicamente do grau de perigo associado à cheia, do grau de exposição e da vulnerabilidade à destruição ao qual estão sujeitos os indivíduos e os bens localizados a jusante do barramento.

Atualmente existe uma forte demanda por parte da sociedade em conhecer, sob a ótica da segurança, a situação das barragens localizadas em seu entorno e o seu real nível de exposição ao risco perante essas estruturas. As pessoas estão cada vez mais conscientes de que a segurança não é uma condição absoluta, mas sim que há riscos que devem ser mensurados para que se saiba se são toleráveis ou não (NICHELE e JUNG, 2015).

Neste contexto, o propósito dos programas de segurança de barragens é reconhecer os perigos potenciais oferecidos por essas estruturas e reduzi-los a níveis aceitáveis. Barragens seguras podem ser construídas e deficiências ou potenciais deficiências na segurança

geralmente podem ser corrigidas a tempo, antes que causem perdas socioeconômicas ou, pior, perdas de vidas e desastres ecológicos (ZUFFO, 2005).

Sob esta ótica, a União promulgou a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que trata da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Em seguida, em 2012, foi sancionada a Lei nº 12.608 que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC) e a criação do sistema de informações e monitoramento de desastres. Ambas as leis buscam contribuir para a redução de desastres, municiando a Defesa Civil de elementos que permitam a sua preparação e das populações habitantes dos vales a jusante das barragens nos casos de rupturas (PEREIRA, ROCHA e HORA, 2016).

No que diz respeito à ação na ocorrência de desastres, é importante que se atue de maneira preventiva, principalmente, no monitoramento e na fiscalização das barragens. Ressalta-se que as perdas humanas, ambientais e patrimoniais de um passado tão recente como o da barragem de Mariana, Minas Gerais, são questões que agravam a urgência de medidas e planos de ações preventivos aos desastres.

No Estado do Rio de Janeiro, a situação não é distinta, a barragem de Juturnaíba, que possui o maior reservatório de acumulação de águas para abastecimento humano, vem apresentando graves problemas nos últimos anos. É imprescindível que uma intervenção seja feita e que haja futuramente maior controle de fiscalização e manutenção nesta obra, pois, a situação atual da barragem é emergencial e alarmante (RIO DE JANEIRO, 2015a e 2015b).

Comtemplando esse cenário, o presente estudo buscou avaliar o possível galgamento de uma onda de cheia sobre a barragem de Juturnaíba através do processo de laminação das cheias de projeto, considerando os efeitos da perda de volume útil por aporte de sedimentos. Para fundamentar a pesquisa, foi necessário obter informações sobre o seu projeto e construção, entre as décadas de 70 e 80. A maior parte dos dados obtidos foi coletada junto ao Arquivo Nacional. As demais informações foram obtidas de publicações sobre pesquisas realizadas sobre o empreendimento.

1.1 OBJETIVO GERAL

À luz da Lei nº 12.334/2010 (Brasil, 2010), o objetivo geral desta pesquisa é o de reproduzir a cheia de projeto do vertedouro da Barragem de Juturnaíba, localizada entre os municípios de Silva Jardim e Araruama, cujo reservatório representa o maior volume de água represada no Estado do Rio de Janeiro destinado, principalmente, ao abastecimento humano.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ī Analisar o processo construtivo da barragem e as condições atuais do empreendimento.
- ī Avaliar os efeitos da evolução da perda de volume útil no reservatório, ao longo dos anos, pelo processo de sedimentação, na laminação da cheia de projeto.
- ī Classificar a barragem pela categoria de risco e dano potencial associado.

1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

As barragens de acumulação de água são consideradas fontes de perigo potencial, pois expõem vidas e propriedades localizadas a jusante a uma constante situação de risco. A incapacidade de mitigar completamente o risco gera a necessidade de antecipar quais ações devem ser tomadas para reduzir ainda mais esse risco (CESTARI JUNIOR, 2014). Ainda de acordo com o autor, a ruptura de uma barragem faz com que a onda de cheia se propague rapidamente levando a inundações de áreas a jusante, colocando em risco a população e o meio ambiente.

O desastre recente em Mariana, Minas Gerais, torna a discussão sobre a temática segurança de barragens de extrema urgência, por isso é necessário que as demais barragens, principalmente aquelas estratégicas para o atendimento às necessidades básicas da população, como fornecimento de água, sejam novamente avaliadas e minuciosamente categorizadas quanto aos riscos e danos potenciais. Dessa forma, tenta-se diminuir as possíveis consequências trágicas que podem ser provocadas, especialmente a jusante desses empreendimentos.

Assim, é relevante o estudo sobre a barragem Juturnaíba, uma das mais importantes do Estado do Rio de Janeiro, que atualmente já se encontra em estado precário de conservação.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

A estrutura organizacional do estudo compõe-se na pesquisa e no levantamento de dados, apresentados em forma de capítulos.

No Capítulo I, INTRODUÇÃO, apresenta-se a situação problema, os objetivos da pesquisa, a sua importância e a organização deste estudo.

No Capítulo II encontra-se descrita a revisão bibliográfica relacionada à área temática desta pesquisa.

O Capítulo III, MATERIAIS E MÉTODOS, apresenta as informações disponíveis e as etapas de desenvolvimento do estudo.

O Capítulo IV, RESULTADOS E DISCUSSÃO, são relatados os resultados alcançados e os mesmos são comparados com os dados de projeto da Barragem de Juturnaíba.

No Capítulo V, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES, se apresentam as dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento da pesquisa e as conclusões deste trabalho, bem como os possíveis desdobramentos para estudos futuros.

As publicações consultadas para o desenvolvimento da pesquisa estão relacionadas nas referências bibliográficas.

O Anexo 1 apresenta o desenho nº 3479 com detalhamento do vertedouro elaborado pela empresa Engenharia Gallioli Ltda. e os Apêndices A a E consolidam o memorial de cálculo desenvolvido nesta pesquisa.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CLASSIFICAÇÃO DO RISCO E DOS DANOS POTENCIAIS DAS BARRAGENS DE ACUMULAÇÃO DE ÁGUA

As causas de rupturas de barragens podem ser divididas em humanas e naturais. Entre as humanas, relacionam-se os atos de terrorismo e guerra, erros de projeto e construção, e falhas na operação. Já os acidentes naturais provocam solicitações não previstas ou reduções de resistência na barragem, ocasionando sua ruptura. Entre os acidentes naturais, destaca-se a ocorrência de cheias excepcionais que resultam na elevação do nível d'água a montante da barragem com o galgamento da estrutura. Esse evento tem origem na ocorrência de uma cheia mais severa do que a de projeto ou, no caso de barragens com vertedores controlados, na extrema rapidez da elevação do nível d'água, que, por vezes, impede a ativação dos vertedores em tempo útil. Neste último caso, a questão torna-se crucial, em virtude da dinâmica da tomada de decisão em relação à abertura das comportas, como por exemplo, a barragem Euclides da Cunha, localizada no rio Pardo, município de São José do Rio Pardo, que rompeu em 1977, devido ao atraso na ação (ELETROBRAS, 1987).

De acordo Fontenelle (2007) e ICOLD (1995), do total de 5.268 barragens construídas antes de 1950, 117 (2,2%) romperam. A partir de 1950, excluía a China, do total de 12.138 barragens construídas, 59 (0,5%) romperam. A maioria dessas rupturas ocorreu em barragens com altura menor do que 30 m, como mostrado na Figura 1.

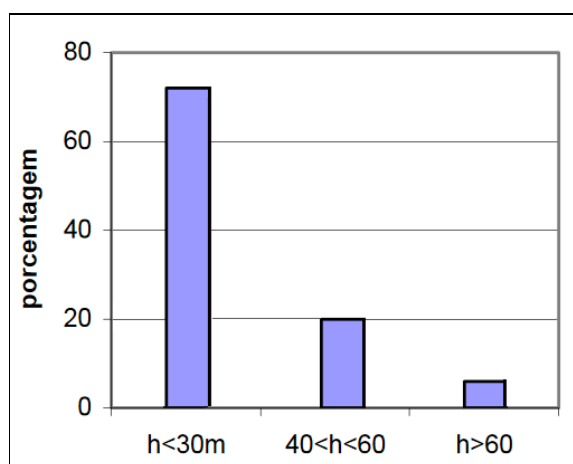


Figura 1 i Porcentagem de barragens rompidas em relação à altura da estrutura
Fonte: Adaptado de FONTENELLE, 2007; ICOLD, 1995.

Segundo os autores, a maioria das rupturas se dá em barragens recém-construídas, frequentemente nos 10 primeiros anos (70%) e, mais especialmente, no primeiro ano de operação, conforme se pode observar na Figura 2.

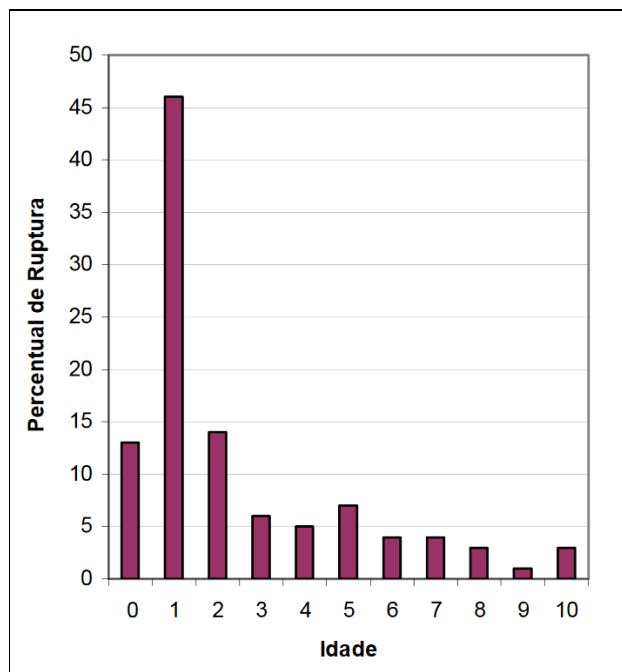


Figura 2 – Porcentagem de ruptura em relação à idade da barragem
Fonte: FONTENELLE, 2007; ICOLD, 1995.

Para as barragens de concreto, os problemas de fundação constituem a causa mais frequente como erosão interna (21%) e baixa resistência ao cisalhamento (21%). Para barragens de terra e enrocamento, a causa mais comum de ruptura é o galgamento (31% como causa principal e 18% como causa secundária), seguida de erosão interna no corpo da barragem (15% como causa principal e 13% como secundária) e problemas de fundação (12% como causa principal e 5% como secundária). Em relação às barragens de alvenaria de pedra, a causa mais frequente é o galgamento (43%), seguida de erosão interna das fundações (29%) (ICOLD, 1995).

De acordo com Fontenelle (2007), quando a ruptura está relacionada às estruturas auxiliares, o caso mais frequente é a insuficiência de vazão do vertedouro. Nesse caso, o rompimento, quando ocorre, costuma ser brusco, causando uma onda instantânea, que, ao se propagar para jusante, aumenta rapidamente os níveis d'água. Este é o acidente mais propenso a provocar vítimas fatais, devido ao pequeno tempo disponível para o aviso. Barragens de terra ou enrocamento em geral não suportam transbordamentos visto que o processo de erosão provoca a formação de ruptura progressiva de brechas por onde a água flui (ELETROBRAS, 1987).

Para minimizar os riscos envolvidos no projeto de construções das barragens, os padrões de segurança usados no mundo, inclusive no Brasil, estabelecem que a cheia de projeto deva ser excepcionalmente severa, obtida através do conceito da Cheia Máxima Provável (CMP), com tempo de recorrência (TR) de 10.000 anos, também denominada de decamilenar (ELETROBRAS, 1987).

Os critérios de classificação das barragens variam de país para país. No Brasil, o Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB) classificou as barragens de acordo com o potencial de risco, dimensão e cheias recomendadas para o dimensionamento do vertedor, conforme apresentado nas Tabelas 1 a 3.

Tabela 1 – Classificação do potencial de risco de barragens

Fonte: Adaptado de Eletrobras, 1987.

Categoria	Perda de Vida	Perdas Econômicas
Baixo	Nenhuma esperada (nenhuma estrutura de habitação humana a jusante)	Mínima (região não desenvolvida e estruturas ocasionais de cultivo)
Significante	Até 5 (nenhum desenvolvimento urbano e não mais do que um pequeno número de estruturas habitáveis a jusante)	Apreciável (terras cultivadas, indústrias e estruturas)
Alto	Mais do que 5	Excessiva (comunidades, indústrias e agriculturas extensas)

Tabela 2 – Classificação das barragens pela sua dimensão

Fonte: Adaptado de Eletrobras, 1987.

Categoria	Altura (m)	Armazenamento (m ³)
Pequena	5,0 < altura < 15	0,05 x 10 ⁶ < volume < 1,0 x 10 ⁶
Média	15 < altura < 30	1,0 x 10 ⁶ < volume < 50 x 10 ⁶
Grande	altura > 30	volume > 50 x 10 ⁶

Tabela 3 – Classificação das barragens pelo dimensionamento do vertedouro

Fonte: Adaptado de Eletrobras, 1987.

Risco	Dimensão	Cheia de Projeto do Vertedouro
Baixo	Pequena	TR = 50 a 100 anos
	Média	TR = 100 a ½ CMP
	Grande	0,5 CMP a 1 CMP
Médio	Pequena	TR = 100 anos a 0,5 CMP
	Média	0,5 CMP a 1 CMP
	Grande	1 CMP
Alto	Pequena	0,5 CMP a 1 CMP
	Média	1 CMP
	Grande	1 CMP

Já a Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), prevê que as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Estão sujeitas à lei todas as barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais e que apresentem pelo menos uma das seguintes características: altura do maciço, contada do ponto mais baixo da fundação à crista, maior ou igual a 15 m; capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³; reservatório que contenha resíduos perigosos; e categoria de dano potencial associado médio ou alto (BRASIL, 2010).

A resolução CNRH 143, de 10 de julho de 2012, estabelece os critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório (BRASIL, 2012). Quanto à categoria de risco (CRI), as barragens serão classificadas de acordo com aspectos da própria barragem que possam influenciar na possibilidade de ocorrência de acidente, levando-se em conta os seguintes critérios gerais:

I - características técnicas (CT): altura do barramento; comprimento do coroamento da barragem; tipo de barragem quanto ao material de construção; tipo de fundação da barragem; idade da barragem e tempo de recorrência da vazão de projeto do vertedouro.

II - estado de conservação da barragem (EC): confiabilidade das estruturas extravasoras; confiabilidade das estruturas de captação; eclusa; percolação; deformações e recalques e deterioração dos taludes.

III - Plano de Segurança da Barragem (PS): existência de documentação de projeto; estrutura organizacional e qualificação dos profissionais da equipe técnica de segurança da barragem; procedimentos de inspeções de segurança e de monitoramento; regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem; e relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação.

Os critérios gerais a serem utilizados para classificação quanto ao dano potencial associado (DPA) na área afetada são:

I - existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;

II - existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;

III - existência de infraestrutura ou serviços;

IV - existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;

V - existência de áreas protegidas definidas em legislação;

VI - natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados; e,

VII - volume.

Para a classificação de barragens para acumulação de água, quanto ao volume de seu reservatório, considerar-se-á:

I - pequena: reservatório com volume inferior ou igual a 5.000.000 m³;

II - média: reservatório com volume superior a 5.000.000 m³ e inferior ou igual a 75.000.000 m³;

III - grande: reservatório com volume superior a 75.000.000 m³ ou igual a 200.000.000 m³; e,

IV - muito grande: reservatório com volume superior a 200.000.000 m³.

Em seguida, o agente fiscalizador deverá preencher os quadros constantes no Anexo II da resolução CNRH 143/2012 e realizar o cruzamento das informações para a classificação. A CRI corresponde ao somatório de CT (Tabela 4), EC (Tabela 5) e PS (Tabela 6), as quais irão compor o indicativo de risco da barragem. Nas tabelas, os números entre parênteses correspondem à pontuação do empreendimento.

Tabela 4 i Classificação quanto às características técnicas
Fonte: Extraído de Brasil, 2012.

Altura (m) (a)	Comprimento (m) (b)	Tipo de Barragem Quanto ao Material de Construção (c)	Tipo de Fundação (d)	Idade da Barragem (e)	Vazão de Projeto (f)
Altura ≤ 15 (0)	Comprimento ≤ 200 (2)	Concreto Convencional (1)	Rocha sã (1)	Entre 30 e 50 anos (1)	CMP ou Decamlenar (3)
15 < Altura < 30 (1)	Comprimento > 200 (3)	Alvenaria de pedra/ concreto ciclópico concreto rolado i CCR (2)	Rocha alterada dura com tratamento (2)	Entre 10 e 30 anos (2)	Milenar (5)
30 ≤ Altura ≤ 60 (2)	-	Terra homogênea/enrocam ento/ terra enrocamento (3)	Rocha alterada sem tratamento/ rocha alterada fraturada com tratamento (3)	Entre 5 e 10 anos (3)	TR = 500 anos (8)
Altura > 60 (3)	-	-	Rocha alterada mole/ saprolito solo compactado (4)	< 5 anos ou > 50 anos ou sem informação (4)	TR < 500 anos ou desconhecida / estudo não confiável (10)
-	-	-	Solo residual / aluvão (5)	-	-

Tabela 5 – Classificação quanto ao estado de conservação
Fonte: Extraído de Brasil, 2012.

Confiabilidade das Estruturas Extravasoras (g)	Confiabilidade das Estruturas de Adução (h)	Percolação (i)	Deformações e Recalques (j)	Deterioração dos taludes / Parâmetros (k)	Eclusas (1)
Estruturas civis e hidroeletrômecânicas em pleno funcionamento / canais de aproximação ou de restituição ou vertedouro (tipo soleira livre) desobstruídos (0)	Estruturas civis e dispositivos hidroeletrômecânicos em condições adequadas de manutenção e funcionamento (0)	Percolação totalmente controlada pelo sistema de drenagem (0)	Inexistente (0)	Inexistente (0)	Não possui eclusa (0)
Estruturas civis e hidroeletrômecânicas preparadas para a operação, mas sem fontes de suprimento de energia de emergência / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões ou obstruções, porém sem riscos a estrutura vertente (4)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrômecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação (4)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras estabilizadas e/ou monitoradas (3)	Existência de trincas e abatimentos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Falhas na proteção dos taludes e paramentos, presença de arbustos de pequena extensão e impacto nulo (1)	Estruturas civis e hidroeletrômecânicas bem mantidas e funcionando (1)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrômecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e com medidas corretivas em implantação / canais ou vertedouro (tipo soleira livre) com erosões e/ou parcialmente obstruídos, com risco de comprometimento da estrutura vertente (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrômecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas (6)	Umidade ou surgência nas áreas de jusante, paramentos, taludes ou ombreiras sem tratamento ou em fase de diagnóstico (5)	Existência de trincas e abatimentos de impacto considerável gerando necessidade de estudos adicionais ou monitoramento (5)	Erosões superficiais, ferragem exposta, crescimento de vegetação generalizada, gerando necessidade de monitoramento ou atuação corretiva (5)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrômecânicos com problemas identificados e com medidas corretivas em implantação (2)
Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrômecânicos com problemas identificados, com redução de capacidade de vazão e sem medidas corretivas/ canais ou vertedouro (tipo soleira livre) obstruídos ou com estruturas danificadas (10)	-	Surgência nas áreas de jusante, taludes ou ombreiras com carreamento de material ou com vazão crescente (8)	Existência de trincas, abatimentos ou escorregamentos expressivos, com potencial de comprometimento da segurança (8)	Depressões acentuadas nos taludes, escorregamentos, sulcos profundos de erosão, com potencial de comprometimento da segurança (7)	Estruturas civis comprometidas ou dispositivos hidroeletrômecânicos com problemas identificados e sem medidas corretiva (4)

Tabela 6 i Classificação quanto ao plano de segurança da barragem

Fonte: Extraído de Brasil, 2012.

Existência de documentação de projeto (n)	Estrutura organizacional e qualificação técnica dos profissionais da equipe de Segurança da Barragem (o)	Procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (p)	Regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (q)	Relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (r)
Projeto executivo e "como construído" (0)	Possui estrutura organizacional com técnico responsável pela segurança da barragem (0)	Possui e aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (0)	Sim ou Vertedouro tipo soleira livre (0)	Emite regularmente os relatórios (0)
Projeto executivo ou "como construído" (2)	Possui técnico responsável pela segurança da barragem (4)	Possui e aplica apenas procedimentos de inspeção (3)	Não (6)	Emite os relatórios sem periodicidade (3)
Projeto básico (4)	Não possui estrutura organizacional e responsável técnico pela segurança da barragem (8)	Possui e não aplica procedimentos de inspeção e monitoramento (5)	-	Não emite os relatórios (5)

O resultado final irá permitir classificar a barragem quanto ao CRI, como mostrado na Tabela 7.

Tabela 7 i Faixas de classificação quanto à categoria de risco

Fonte: Extraído de Brasil, 2012.

Faixas de Classificação	Categoria de Risco	Pontuação
	Alto	Ó 60 ou EC = 8 (*)
	Médio	35 a 60
	Baixo	Ò 35

(*) Pontuação (maior ou igual a 8) em qualquer coluna de Estado de Conservação implica automaticamente em categoria de risco alta e necessidade de providências imediatas pelo responsável da barragem.

A Tabela 8 apresenta a pontuação do indicativo DPA e a Tabela 9 relaciona a classificação final da barragem em função da pontuação alcançada.

Tabela 8 ĩ Classificação quanto ao dano potencial associado

Fonte: Extraído de Brasil, 2012.

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

Tabela 9 ĩ Faixas de classificação quanto à categoria de dano potencial associado

Fonte: Extraído de Brasil, 2012.

Faixas de Classificação	Dano Potencial Associado	Pontuação
	Alto	Ó16
	Médio	10 < DPA < 16
	Baixo	Ò10

2.2 ESTIMATIVA DA CHEIA MÁXIMA PROVÁVEL PARA LOCAIS SEM DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES

Para o cálculo do hidrograma de cheia de projeto em locais onde não se dispõe de séries diárias de vazões, com períodos de pelo menos 25 anos, é usual a adoção do método do Hidrograma Unitário Triangular (HUT), desenvolvido pelo *United States Soil Conservation Service* (SCS), em 1957. A formulação define um hidrograma sintético de forma triangular, com inclinação tal que a área do hidrograma corresponda ao deflúvio, volume escoado superficialmente na bacia (USDA-SCS, 1972).

De acordo com Fonseca (2008), o método procura sintetizar o hidrograma unitário, para um determinado tempo de duração da precipitação unitária, o qual assume uma única forma (triangular) para o escoamento superficial, independentemente da configuração da bacia. Segundo Eletrobras (2000), no HUT a área do triângulo representa o volume escoado superficialmente (V_{ES}), como pode ser observado na Figura 3.

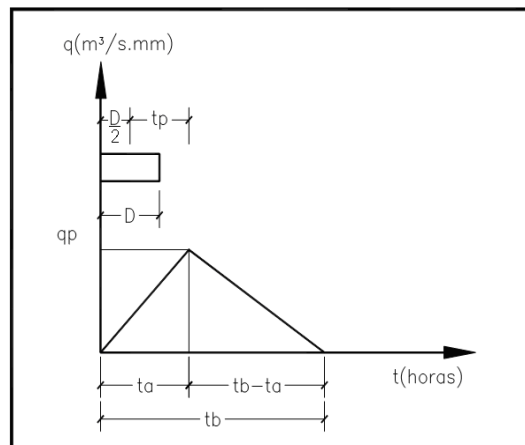


Figura 3 ĩ Hidrograma Unitário Triangular
Fonte: Adaptado de ELETROBRAS, 2000.

Logo, a formulação matemática do método do HUT é expressa por:

$$V_{ES} = \frac{qp \cdot tb}{2} \quad (1)$$

$$tp = \frac{3}{5} \cdot tc = 0,6 \cdot tc \quad (2)$$

$$ta = \frac{D_u}{2} + tp = \frac{D_u}{2} + 0,6 \cdot tc \quad (3)$$

$$tb = \frac{8}{3} \cdot ta = 2,67 \cdot ta \quad (4)$$

$$tr = tb - ta = 1,67 \cdot ta \quad (5)$$

onde:

V_{ES} volume escoado superficialmente para 1,0 mm de chuva efetiva, em m^3 .

qp vazão máxima para 1,0 mm de chuva efetiva, em m^3/s .

tb tempo de base ou duração do HUT, em horas.

tp tempo de pico ou tempo de retardo ou tempo decorrido entre o centro de gravidade da chuva até o pico do HUT, em horas.

tc tempo de concentração da bacia, em horas.

ta tempo de ascensão do HUT, em horas.

D_u duração da chuva unitária, em horas.

tr tempo de recessão, em horas.

Substituindo o volume de escoamento superficial no hidrograma unitário, pelo produto da área da bacia (A) por unidade de chuva efetiva (Pe) na equação (1) e considerando a equação (4) obtêm-se a expressão para cálculo da vazão de pico do hidrograma:

$$A \cdot Pe = \frac{qp \cdot tb}{2} \quad (6)$$

$$qp = 0,208 \cdot \frac{A}{ta} \quad (7)$$

onde:

A área de drenagem da bacia em estudo, em km^2 .

Pe precipitação efetiva, em mm.

Segundo Porto (1995), o hidrograma unitário corresponde a uma duração de chuva unitária (D_u) igual a:

$$D_u = \frac{ta}{5} \quad (8)$$

Substituindo a equação (3) na equação (8), tem-se:

$$D_u = 0,133 \cdot tc \quad (9)$$

Eletrobras (2000) sugere, para o cálculo do tempo de concentração, a fórmula de Kirpich expressa por:

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{L_T^3}{D} \right)^{0,385} \quad (10)$$

onde:

- L_T comprimento do curso d'água principal, em km.
 D desnível, em m.

A chuva distribuída pode ser estimada a partir da formulação proposta por Torrico (1975), como apresentado a seguir. Caso não existam informações no local, Eletrobras (2000) sugere a adoção das equações de chuvas intensas definidas em DER-RJ (1989).

$$P_{\text{dist}} = P_o \cdot \left(1 - W_c \cdot \log \frac{A}{A_o} \right) \quad (11)$$

onde:

- P_{dist} chuva distribuída, em mm.
 P_o chuva pontual, calculada a partir da equação de chuvas intensas, em mm.
 W_c fator de correlação e igual a 0,10.
 A_o área da bacia, em km², para a qual se tem P_{dist} igual a P_o . Segundo Torrico (1975), é usual a adoção de $A_o = 25 \text{ km}^2$.

Definida a chuva distribuída, é necessária a caracterização da capacidade de infiltração do solo, da cobertura vegetal e do tipo de ocupação da bacia onde se insere o aproveitamento em estudo. De acordo com USDA-SCS (1972), este parâmetro é definido por:

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (12)$$

onde:

- S retenção potencial do solo, em mm.
 CN complexo solo-vegetação, ou *curve number*, função do tipo de ocupação da bacia.

Para a construção do hidrograma, é necessário estimar a precipitação efetiva que representa a parcela da chuva que gera o escoamento superficial (USDA-SCS, 1972), sendo expressa por:

$$Pe = \frac{(P_{\text{dist}} - 0,2 \cdot S)^2}{P_{\text{dist}} + 0,8 \cdot S} \quad \text{para } P_{\text{dist}} > 0,2 \cdot S \quad (13)$$

$$Pe = 0,0 \quad \text{para } P_{\text{dist}} < 0,2 \cdot S \quad (14)$$

A última etapa para o estabelecimento da chuva de projeto abrange a definição de um cenário crítico de precipitação. Para tanto, de acordo com TDT (2016), utiliza-se a metodologia dos blocos alternados com a finalidade de reorganizar o evento de chuva em uma distribuição triangular, à semelhança do HUT. Para reordenar o hietograma, gráfico que relaciona a chuva no tempo, é necessário posicionar o maior valor da chuva no intervalo de

tempo central e os demais restantes de modo alternado (à esquerda e à direita do maior valor) em ordem decrescente, sucessivamente.

2.3 ESTIMATIVA DA CHEIA MÁXIMA PROVÁVEL PARA LOCAIS COM DISPONIBILIDADE DE INFORMAÇÕES

Os estudos de vazões extremas devem ser realizados conforme a disponibilidade de dados na bacia e na região do aproveitamento. Dessa forma, existirão duas possibilidades de ocorrência: o local em estudo dispõe de uma série de vazões médias diárias ou na região hidrográfica foram definidas curvas de regionalização.

2.3.1 Estimativa da CMP quando o local em estudo dispõe de série de vazões médias diárias

A análise de frequência de cheias tem como objetivo estabelecer a relação entre os valores de vazões máximas os tempos de retorno ou de recorrência a elas associados. Esta análise baseia-se no exame probabilístico dos máximos registros fluviométricos anuais. Dessa forma, a cada ano está associado a um máximo anual resultando num conjunto $(y_1, y_2, y_3...y_n)$, que pode ser interpretado como sendo uma amostra de variável aleatória y , máxima vazão anual (ELETROBRAS, 2000).

De acordo com Eletrobras (1987) e Kelman (1987), para a estimativa das cheias recomenda-se a utilização de duas distribuições: exponencial de dois parâmetros sempre que a assimetria da amostra for superior a 1,5 e Gumbel (extremos do tipo I), para assimetrias amostrais inferiores a 1,5.

Seja Q_i a vazão máxima anual da qual se tem n observações. Define-se:

$$Q_{MC} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n Q_i \quad (15)$$

$$s = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{MC})^2 \right]^{0,5} \quad (16)$$

$$g_s = \frac{n}{(n-1) \cdot (n-2)} \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{MC})^3}{s^3} \right) \quad (17)$$

onde Q_{MC} é a média das vazões máximas anuais; s é o desvio-padrão; g_s é a assimetria.

A distribuição exponencial de dois parâmetros é expressa por:

$$Q_{TR} = x_0 - \beta \cdot \ln\left(\frac{1}{TR}\right) \quad (18)$$

$$x_0 = Q_{MC} - s \quad (19)$$

$$\beta = s \quad (20)$$

onde Q_{TR} é a vazão para um determinado tempo de recorrência, x_0 e β são parâmetros da distribuição e TR é o tempo de recorrência, em anos.

A distribuição de Gumbel é representada pela seguinte equação:

$$Q_{TR} = \mu - \alpha' \cdot \left(\ln - \left(\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right) \right) \quad (21)$$

$$\alpha' = 0,78 \cdot s \quad (22)$$

$$\mu = Q_{MC} - 0,577 \cdot \alpha' \quad (23)$$

onde μ e α' são parâmetros da distribuição.

Cabe ainda ressaltar um conceito relevante, comprovado matematicamente por Gumbel (1941, pág.178), que *a média das vazões máximas anuais possui tempo de recorrência igual a 2,33 anos*.

2.3.2 Estimativa da CMP quando a região em estudo possui curvas de regionalização

A regionalização de vazões é um procedimento que tem sido utilizado para permitir a obtenção da estimativa de funções hidrológicas, tais como curva de probabilidade de vazões máximas, curva de permanência e curva de regularização em locais com dados deficientes (TUCCI, 1993).

A regionalização de uma variável envolve a sua determinação em diferentes locais de uma região hidrográfica. O procedimento abrange a definição dos limites da área a ser estudada; a definição das variáveis dependentes e explicativas; a seleção dos dados das variáveis; e as funções regionais (TUCCI, 2002).

2.4 ESTRUTURAS EXTRAVASORAS

Uma estrutura extravasora é projetada com o objetivo de escoar o excesso d'água acumulado pelo reservatório, evitando o risco do nível d'água atingir a crista da barragem (SOUZA, SANTOS e BORTONI, 2009). A operação segura dessas estruturas é o objetivo principal no projeto, pois uma falha de operação pode conduzir à falha da barragem,

particularmente, para aquelas em terra e em enrocamento, que não suportam transbordamento (ALVES, 2007).

Para o escoamento das cheias, é usual a adoção de estruturas extravasoras do tipo descarregadores de fundo ou vertedouros. Os descarregadores de fundo, também denominados de galeria ou bueiro, são previstos sempre que for necessário manter uma vazão a jusante; quando houver a necessidade de rebaixamento do reservatório abaixo da crista do vertedouro ou de seu esvaziamento, ou quando for necessária a descarga de sedimentos (RAIMUNDO, 2007).

De acordo com Porto (1998), os elementos que caracterizam os vertedouros são: crista ou soleira (local de contato com a lâmina vertente); carga hidráulica sobre a soleira (diferença entre a cota da crista da soleira e o nível d'água do reservatório ou de montante); altura da soleira (distância entre a cota de fundo do canal ou reservatório e a cota da crista da soleira) e comprimento (comprimento da soleira na direção longitudinal do vertedouro e perpendicular à direção do fluxo da lâmina vertente).

Os vertedouros podem ser de diversos tipos, a saber: retangular de soleira delgada, retangular de soleira espessa, de soleira normal, de soleira lateral, em poço e em labirinto. A escolha do tipo de vertedouro vai depender da vazão de projeto, do arranjo geométrico e dos custos envolvidos (RAIMUNDO, 2007).

Dado que o vertedouro da barragem de Juturnaíba é do tipo labirinto, o estudo abordou esta estrutura especificamente.

2.4.1 Vertedouro do tipo labirinto ou trapezoidal

De acordo com Kohn (2006), é usual a utilização deste tipo de vertedouro em locais onde se tem uma restrição de espaço para construção do mesmo, quer pelas condições topográficas ou pelas condições de fundação. Seus principais parâmetros são apresentados na Figura 4.

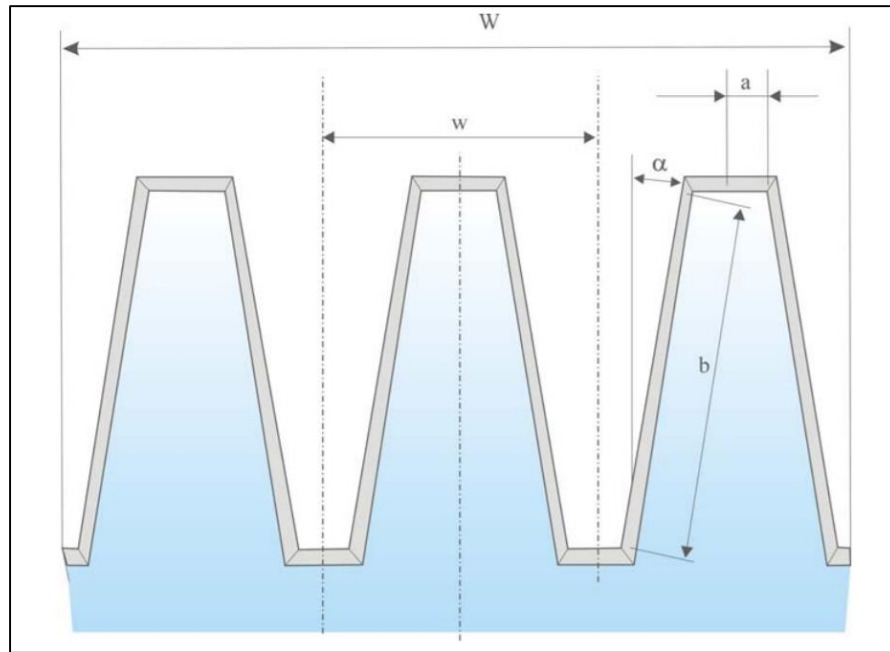


Figura 4 ĩ Principais parâmetros de um vertedouro do tipo labirinto
Fonte: MELO, RAMOS e MAGALHÃES, 2002.

onde w é a largura de um ciclo, em m; W é a largura total da soleira do vertedouro em labirinto, em m; a é a largura compreendida entre o centro do ciclo e o final da face interna do mesmo, em m; b é o comprimento da parede que forma o ciclo no sentido do fluxo, em m, e α é o ângulo que o comprimento efetivo da crista da soleira faz com a linha da direção do fluxo.

Segundo Magalhães (1981), a descarga do vertedouro do tipo labirinto é expressa por:

$$Q_w = \varepsilon_w \cdot W \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2} \quad (24)$$

onde:

Q_w vazão do vertedouro em labirinto, em m^3/s .

μ_w coeficiente de vazão do vertedouro em labirinto, adimensional.

W largura total do vertedouro em labirinto, em m.

g aceleração da gravidade, em m/s^2 .

H carga hidráulica, em m.

O valor de μ_w é função da razão H/P , onde P é a altura entre a cota do piso da barragem e a crista do vertedouro, em m, e da razão de ampliação L/W , onde L é o comprimento total desenvolvido do vertedouro, em m. O valor P também é denominado de altura do vertedouro. Para a estimativa do μ_w , Magalhães (1981) sugere a utilização do ábaco ilustrado na Figura 5.

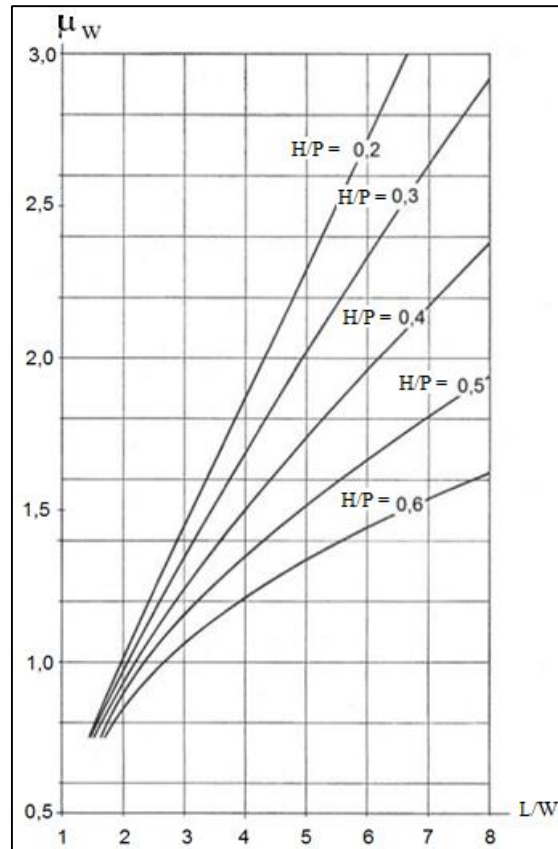


Figura 5 – Coeficiente de vazão μ_w para vertedouro em labirinto

Fonte: Adaptado de Fernandes, 2017.

2.5 DISPOSITIVOS DE CONTROLE DE ENTRADA E SAÍDA DA ÁGUA

Os arranjos típicos para disposição das estruturas componentes de tomada d'água são variados, em função dos aspectos topográficos e geológico-geotécnicos de cada local. São exemplos de tipos de dispositivos as comportas; as válvulas ou registros e as adufas (ELETROBRAS, 2000).

De acordo com Erbisti (2002), a construção de comportas hidráulicas originou-se da necessidade de controlar a vazão da água em técnicas de irrigação, abastecimento d'água e também na navegação fluvial, em locais com grandes diferenças de níveis d'água. O tipo mais comum de comportas são as chamadas ensecadeiras ou *stop-logs*, muito utilizadas para a manutenção e o reparo em seco dos equipamentos. Elas são formadas por elementos superpostos (painéis encaixados) com elementos de vedação entre eles. A determinação da altura dos painéis deverá cuidadosa, pois quanto maior o número de painéis, maior também será o tempo de operação (colocação e retirada).

O escoamento em comportas é similar ao originado em orifícios. Chow (2009) menciona que a vazão em uma comporta, desprezando os efeitos da energia cinética, pode ser estimada a partir de:

$$Q_c = C_d \cdot A_d \cdot \sqrt{2g \cdot H_m} \quad (25)$$

onde:

Q_c vazão de comporta, em m^3/s .

C_d coeficiente de vazão, adimensional.

A_d área da abertura da comporta, em m^2 .

H_m carga hidráulica de montante, em m.

2.6 LAMINAÇÃO DAS CHEIAS DE PROJETO

Para a propagação e a laminação da cheias em reservatórios (*reservoir routing*), é usual a adoção da metodologia proposta por Goodrich e descrita em Schulz (1976). Segundo o autor, o modelo de propagação de ondas em reservatórios utiliza a equação da continuidade que expressa a relação entre a vazão afluente, a vazão defluente e o armazenamento, dada por:

$$\frac{dS_v}{dt} = Q_{afl} - Q_{def} \quad (26)$$

onde:

S_v armazenamento ou volume acumulado, em m^3 .

Q_{afl} vazão afluente, em m^3/s .

Q_{def} vazão defluente, em m^3/s .

A equação (26) pode ser descrita em intervalos discretos como:

$$\frac{S_{v(t+\Delta t)} - S_{v(t)}}{\Delta t} = \bar{Q}_{afl} - \bar{Q}_{def} \quad (27)$$

onde $\bar{Q}_{afl}$ e $\bar{Q}_{def}$ representam os valores médios da vazão afluente e defluente do reservatório ao longo do intervalo de tempo Δt .

Considerando uma variação linear de Q_{afl} e Q_{def} ao longo de Δt , a equação (27) pode ser reescrita como:

$$\frac{S_{v(t+\Delta t)} - S_{v(t)}}{\Delta t} = \frac{Q_{afl(t)} + Q_{afl(t+\Delta t)}}{2} - \frac{Q_{def(t)} + Q_{def(t+\Delta t)}}{2} \quad (28)$$

onde $Q_{afl(t)}$; $Q_{afl(t+\Delta t)}$; $Q_{def(t)}$; $Q_{def(t+\Delta t)}$ são os valores no início e no final do intervalo de tempo.

Na equação (28), em cada intervalo de tempo, são conhecidas a vazão de entrada no tempo (t) e em (t + Δt); a vazão de saída no intervalo de tempo t e o volume armazenado no intervalo (t). Não são conhecidos os termos $Sv_{(t+\Delta t)}$ e $Q_{def(t+\Delta t)}$, e ambos dependem do nível de água.

Uma forma simples de calcular a propagação de vazão num reservatório é o método Goodrich, citado em Schulz (1976). Nesse método, a equação (28) é reescrita como:

$$\frac{2 \cdot Sv_{(t+\Delta t)}}{\Delta t} + Q_{def(t+\Delta t)} = Q_{afl(t)} + Q_{afl(t+\Delta t)} + \left[\frac{2 \cdot Sv_{(t)}}{\Delta t} - Q_{def(t)} \right] \quad (29)$$

Se a condição inicial do armazenamento do reservatório é conhecida, bem como a hidrógrafa afluente, então os termos do lado direito da equação (29) são conhecidos. Os termos desconhecidos aparecem no lado esquerdo. Entretanto, a vazão defluente é uma função gráfica da capacidade de armazenamento, de modo que a vazão pode ser calculada a partir do novo nível de armazenamento do reservatório (SCHULZ, 1976). O método de Goodrich depende da função armazenamento representada por:

$$\left[\frac{2 \cdot Sv}{\Delta t} - Q_{def} \right] = \left[\frac{2 \cdot Sv}{\Delta t} + Q_{def} \right] - 2Q_{def} \quad (30)$$

2.7 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UM RESERVATÓRIO¹

De maneira geral, os reservatórios são formados por meio de barragens implantadas nos cursos d'água. Suas características físicas dependem das características topográficas da bacia na qual está inserido. Os principais parâmetros representativos são: nível d'água mínimo; volume morto; nível d'água máximo; volume útil; volume de espera; nível d'água máximo *maximorum* e crista do barramento.

O nível d'água mínimo (NA_{min}) corresponde a cota mínima necessária para a operação adequada do reservatório. Esta cota que define o limite superior do volume morto e o limite inferior do volume útil do reservatório. Normalmente, o nível d'água mínimo operacional encontra-se acima do limite superior da estrutura de tomada d'água, de forma a evitar a formação de vórtices na entrada desta estrutura.

O volume morto (VM) corresponde à parcela do volume total do reservatório indisponível para fins de adução de água. Corresponde ao volume do reservatório

¹ Adaptado de LOPES e SANTOS (2002).

compreendido abaixo do nível d'água mínimo operacional, conforme representação esquemática da Figura 6.

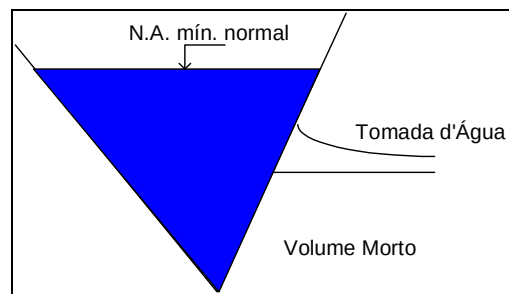


Figura 6 i Volume morto de um reservatório
Fonte: Adaptado de LOPES e SANTOS, 2002.

O nível d'água máximo ($NA_{\max}$) de um reservatório corresponde a cota máxima permitida para a sua operação normal. Geralmente, este nível coincide com a crista do vertedouro. O nível d'água máximo operacional define o limite superior do volume útil do reservatório.

O volume útil (VU) de um reservatório corresponde ao volume compreendido entre os níveis d'água mínimo e máximo operacionais, conforme ilustra a Figura 7. Este é o volume efetivamente destinado à operação do reservatório, ou seja, ao atendimento das diversas demandas de água. Deve considerar, no cômputo do volume útil, as perdas por evaporação e por infiltração no solo quando estas forem significativas.

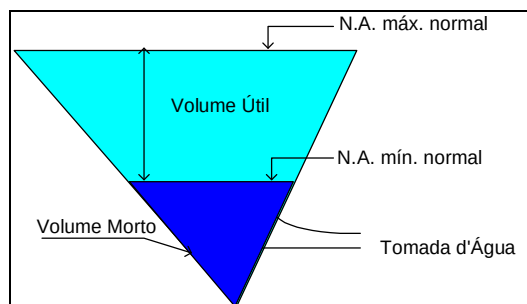


Figura 7 i Volume útil de um reservatório
Fonte: Adaptado de LOPES e SANTOS, 2002.

O nível d'água máximo *maximorum* ($NA_{\max\max}$) corresponde a sobrelevação máxima do nível d'água, medida a partir do nível d'água máximo operacional, disponível para passagem de ondas de cheias (recorrências de 500, 1.000 ou 10.000 anos) para a segurança da barragem, como ilustrado na Figura 8.

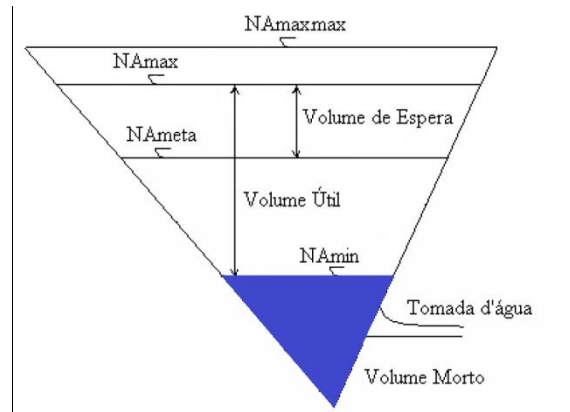


Figura 8 i Nível d'água máximo *maximorum* de um reservatório
 Fonte: Adaptado de LOPES e SANTOS, 2002.

A cota da crista do barramento (C_B) é definida a partir de uma sobrelevação adicional ao nível d'água máximo *maximorum* denominada borda livre, ou *free-board* (F_B), destinada a impedir que as ondas formadas pelo vento ultrapassem a crista da barragem e, ainda, garantir uma segurança adicional a eventuais transbordamentos sobre a crista em condições excepcionais. Na Figura 9 é apresentado o esquema de níveis e volumes característicos de um reservatório.

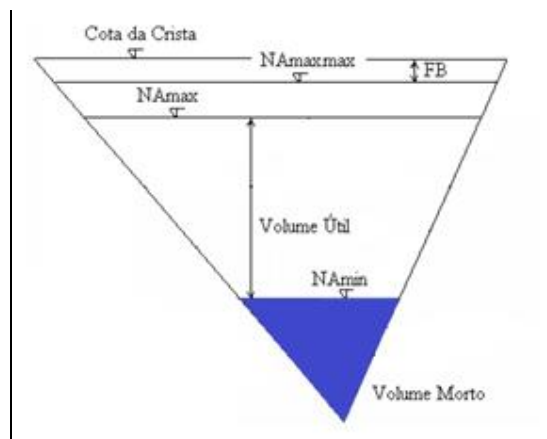


Figura 9 i Níveis e volumes característicos de um reservatório
 Fonte: Adaptado de LOPES e SANTOS, 2002.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO

A bacia hidrográfica do rio São João abrange uma área de 2.160 km² e está totalmente inserida no Estado do Rio de Janeiro, conforme ilustrado na Figura 10. Os municípios inseridos na bacia são: Araruama; Cabo Frio; Cachoeiras de Macacu; Casimiro de Abreu; Rio Bonito; Rio das Ostras; São Pedro da Aldeia e Silva Jardim (NORONHA, 2009).

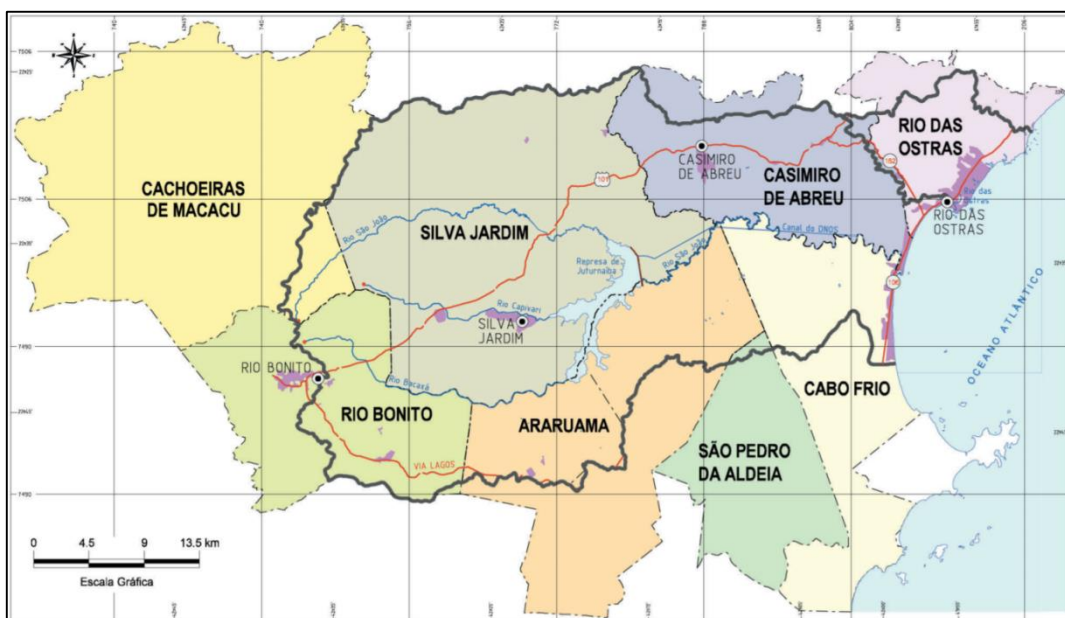


Figura 10 | Bacia hidrográfica do rio São João
Fonte: CILSJ, 2003.

O rio São João nasce na serra do Sambê, nos contrafortes da Serra do Mar, a 700 m de altitude, no município de Cachoeiras de Macacu. Seu estirão, com comprimento total de 150 km, percorre no sentido Nordeste até desaguar no Oceano Atlântico na cidade de Barra de São João. Os principais tributários ao rio São João a montante do reservatório de Juturnaíba são, pela margem esquerda, os rios Águas Claras, Pirineus, Bananeira e Maratuã, e pela margem direita, os rios Gaviões, do Ouro, Salto d'Água e Cambucas. Ao reservatório afluem os rios Capivari e Bacaxá. A jusante do reservatório, o rio São João se desenvolve em declividades variando entre 6% a 1% em uma planície aluvial, com grandes áreas alagadas, recebendo pela

margem direita o rio Morto e pela margem esquerda os rios Aldeia Velha, Lontra e Dourado (COSTA, 1999).

Na parte central da bacia, havia uma lagoa oriunda da contribuição dos rios Capivari e Bacaxá com deságue no rio São João. Esta região se caracteriza como um fundo de vale preenchido por sedimentos de origem fluvial e fluviolagunar e depósitos constituídos por argilas negras turfosas, de espessura variável, alcançando até 10 m. Originalmente, a lagoa possuía um espelho d'água de 5,6 km², com volume de 10 milhões de m³, de formato quase retangular, com cerca de 4 m de profundidade média (CUNHA, 1995).

Destaca-se que a bacia do rio São João é uma unidade de conservação de Mata Atlântica, denominada APA da Bacia do Rio São João/Mico-Leão-Dourado, além disso, a jusante do barramento está localizada a Rebio de Poço das Antas (ICMBio, 2017).

3.2 DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A construção da barragem foi realizada na área ocupada pela antiga lagoa de Juturnaíba, de modo que o espelho d'água e o volume acumulado foram ampliados. Como ilustrado na Figura 11, a seguir, o reservatório formado tem aspecto irregular, podendo-se distinguir quatro braços inundados a partir do seu enchimento: o mais ao norte corresponde ao rio São João; no meio, o rio Capivari; ao sul, o rio Bacaxá, que por sua vez recebe as águas, ao leste, do rio da Onça (CUNHA, 1995).

De acordo com Cunha (1995), a barragem foi projetada em 1972 pelo Ministério do Interior, cabendo ao extinto Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) o gerenciamento e supervisão da obra. A responsabilidade do projeto era da empresa Gallioli Engenharia Ltda., a construção da empresa Queiroz Galvão e a fiscalização da empresa Rodio S.A.. Inicialmente, a barragem foi idealizada para acumular água para o abastecimento domiciliar e industrial da Região dos Lagos, controlar as cheias no rio São João e fornecer água para a irrigação de áreas à jusante do barramento. A obra foi iniciada em janeiro de 1979 e concluída em 1984.

A área de drenagem no eixo da barragem é de 1.376 km², sendo 565,3 km² da contribuição do rio São João, 545,5 km² do rio Bacaxá e 220,4 km² do rio Capivari. A diferença resultante corresponde à área inundada de 43 km², acrescida da contribuição lateral direta no lago, adotada como insignificante (NORONHA, 2009).

As principais características físicas e hidráulicas da barragem e das estruturas civis são relacionadas na Tabela 10, a seguir.

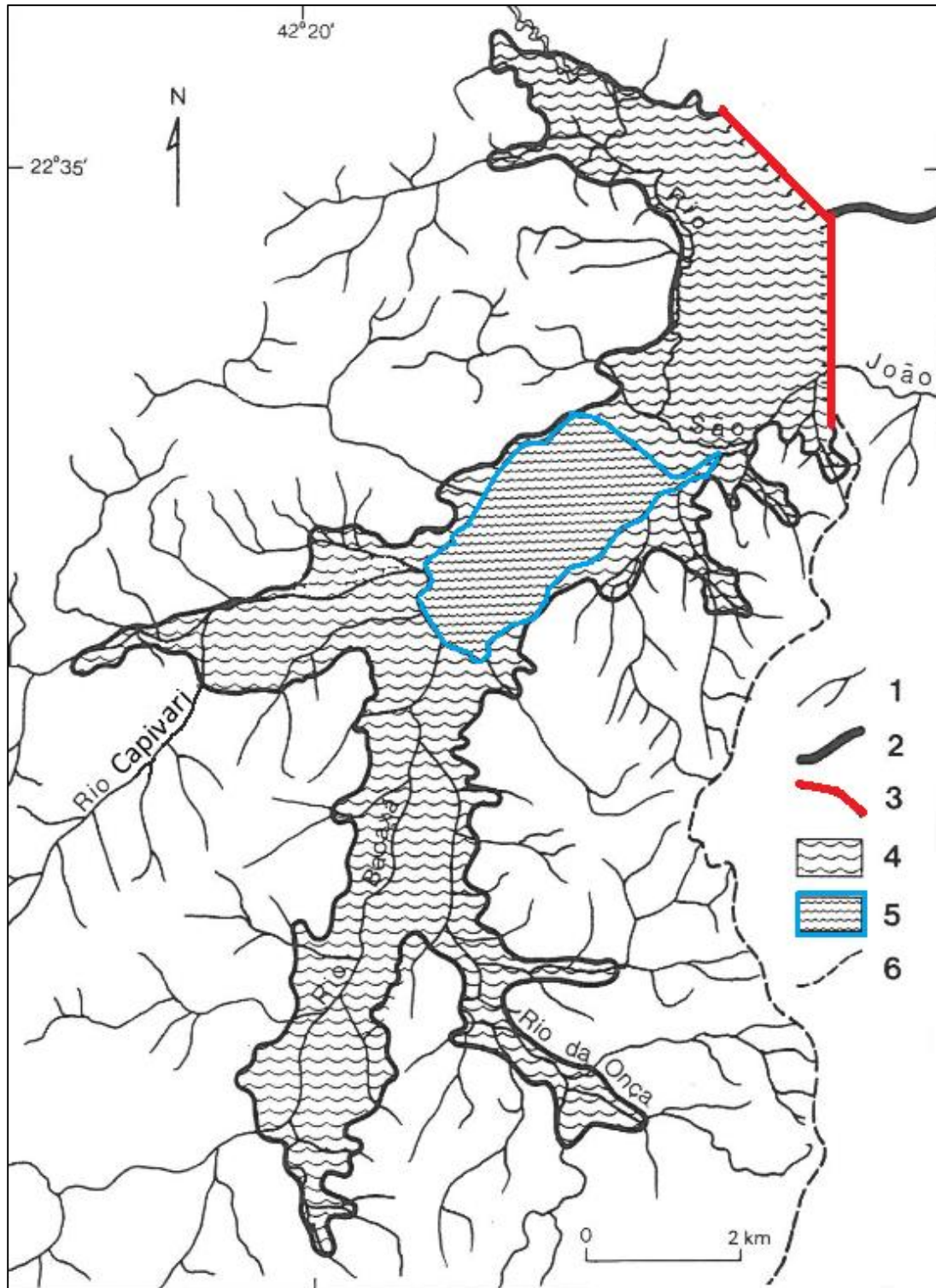


Figura 11 – Localização da Barragem de Juturnaíba e da antiga lagoa. (1) Curso d'água; (2) Novo traçado do rio São João a partir do canal defluente pelo Vertedouro; (3) Eixo do barramento; (4) Reservatório; (5) Antiga lagoa; (6) Divisor de água a montante do barramento.

Fonte: Adaptado de Cunha, 1995.

Tabela 10 – Ficha técnica da barragem e das estruturas civis

Fonte: ¹COHIDRO, 2008; ²CRUZ, 1983; ³DNOS, 1979; ⁴CUNHA, 1995; ⁵PCE, 1997 e ⁶PROLAGOS; 2016.

RESERVATÓRIO⁽¹⁾	
Volume máximo	78,51 x 10 ⁶ m ³
Volume mínimo	0,00 m
Nível d'água máximo <i>maximorum</i>	11,40 m
Nível d'água mínimo	3,00 m
BARRAGEM⁽²⁾	
Tipo	Dique de terra
Comprimento	3.460 m
Cota da crista	12,00 m
VERTEDOIRO^{(3) e (4)}	
Tipo	Labirinto com 4 elementos ⁽³⁾
Comprimento desenvolvido total	710 m ⁽⁴⁾
Largura total	163,5 m ⁽³⁾
Cota da crista	8,40 m ⁽³⁾
Cota do piso	3,00 m ⁽³⁾
Altura	5,40 m ⁽³⁾
Nível d'água máximo <i>maximorum</i> sobre a crista	11,40 m ⁽³⁾
Vazão correspondente ao nível d'água máximo <i>maximorum</i>	5.600 m ³ /s ⁽³⁾
Nível d'água máximo	9,10 m ⁽³⁾
Vazão correspondente ao nível d'água máximo	800 m ³ /s ⁽³⁾
TOMADAS D'ÁGUA LATERAIS COM COMPORTAS TIPO STOP LOGS^{(5) e (6)}	
Lado direito do vertedouro	4 unidades ⁽⁶⁾
Lado esquerdo do vertedouro	4 unidades ⁽⁶⁾
Largura de cada unidade	1,20 m ⁽⁶⁾
Altura de cada unidade	1,20 m ⁽⁶⁾
Nível d'água mínimo de operação	3,00 m ⁽⁵⁾
Nível d'água máximo de operação	8,60 m ⁽⁵⁾

Em resumo, o arranjo consta de um dique de terra, com comprimento total de 3.460 m e de um vertedouro do tipo labirinto (zigue-zague), de quatro elementos com largura total (W) igual a 163,5 m e comprimento desenvolvido total (L) igual a 710 m.

De acordo com Cunha (1995), a ombreira esquerda da barragem está enraizada no Morro das Crioulas enquanto que a ombreira direita está enraizada no Morro do Madureira. No que diz respeito ao vertedouro, de cada lado da sua estrutura foram construídas, em cotas

mais baixas, tomadas d'água controladas por *stop-logs* para os canais de irrigação e que servem, também, como garantia de manutenção de vazões mínimas para o estirão de jusante. A jusante do vertedouro foi construída uma ponte de concreto estrutural de 180 m de comprimento, que serve de ligação das cristas das barragens de terra, como mostrado nas Figuras 12 e 13.

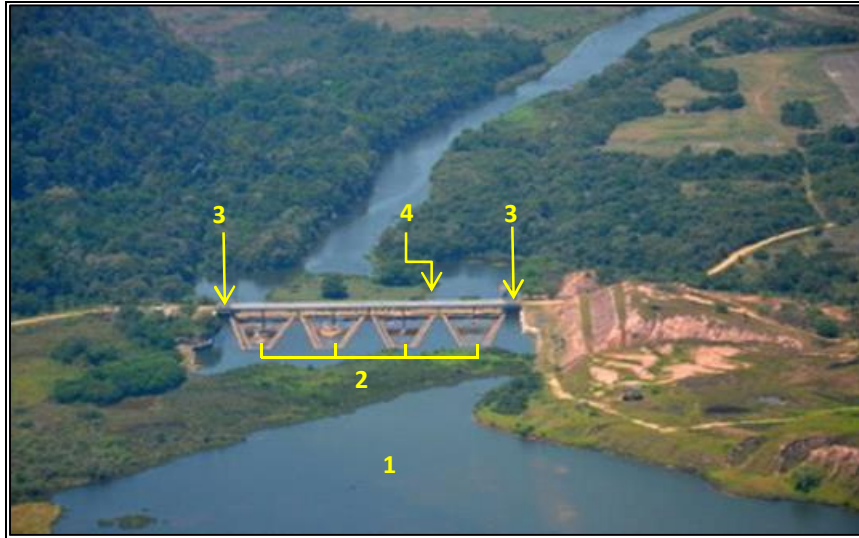


Figura 12 ĩ Vista aérea do reservatório (1), do vertedouro (2), das tomadas d'água laterais (3) e da ponte de interligação (4). Observar o assoreamento a montante e a jusante do vertedouro.

Fonte: Adaptado de Galiotto, 2009.



Figura 13 ĩ Vista por jusante da ponte de interligação. Observar o morro sem cobertura vegetal.

Fonte: Galiotto, 2009.

3.3 ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Em 15 de agosto de 1975, uma equipe técnica do extinto DNOS, composta de engenheiros e geólogos, percorreu o local do futuro empreendimento da barragem de

Juturnaíba com o intuito de investigar as condições de fundações locais e concluíram que o solo era turfoso com camadas de argila sedimentar mole a muito mole. Dadas as condições diferenciadas de fundação ao longo do eixo, foram propostas seções típicas por trecho (CRUZ, 1983), como ilustrado na Figura 14, a seguir.

O trecho I possui 1300 m de comprimento e se estende da ombreira esquerda até a ilha das Crioulas. Como a fundação local é em areia, foi sugerida a abertura de uma trincheira de vedação, entretanto, durante a escavação foram detectados bolsões de argila mole. Por esse motivo, o projeto foi alterado e a geometria da seção da barragem foi modificada sendo a inclinação dos taludes de montante e de jusante igual a 2,5(H):1,0(V). A crista da barragem foi fixada na cota 12,0 m com 10 m de largura. A construção deste trecho teve início em junho de 1979 e terminou em janeiro de 1980. Vale destacar, que em virtude do comportamento apresentado, não houve necessidade de instalação de instrumentação (CRUZ, 1983).

O trecho II, localizado entre as estacas 10 e 35, apresenta talude de montante composto por berma de 45,0 m de extensão, aproximadamente na cota 5,50 m, seguido de talude com inclinação 4(H):1(V) até a cota de coroamento. A crista tem 14,0 m de largura e o talude de jusante tem inclinação 3(H):1(V) até a cota 7,5 m, seguindo-se bermas nas cotas 7,5 m, 6,5 m e 5,5 m, respectivamente, com 30, 20 e 17 metros de comprimento. Vale destacar que a sua construção teve início em maio de 1981, sendo necessária a remoção da fundação, em espessura variável de 3 a 4 m, desde o início da berma de montante até sob a berma de jusante na cota 7,5 m (BORGES, 1991).

O trecho III possui 1480 m de comprimento e se estende da ilha do Madureira até a estaca 40 (Figura 14). Com base nos resultados das sondagens, o trecho foi subdividido nos trechos III-1 e III-2. O primeiro, com fundação em areia, possui seção com taludes de 3,0(H):1,0(V) (Figura 15) e a sua construção teve início em novembro de 1979 e término em agosto de 1980 (CRUZ, 1983).

No trecho III-2, por conta das condições precárias de fundação, principalmente por causa da camada de argila mole da fundação, que variou entre 7 a 10 m de espessura, foi desenvolvido um estudo do comportamento dos solos orgânicos-argila mole através da implantação e ruptura de um aterro experimental, construído no período de fevereiro a abril de 1980, que embasou a tese de doutorado de Coutinho (1986).

De acordo com Coutinho (1986), o aterro experimental foi construído em solo argilo-arenoso a jusante do trecho II. A ruptura do aterro experimental foi projetada para ocorrer pelo talude mais íngreme 2(H):1(V). Até a altura correspondente a 6,40 m, nenhum sinal real externo

de ruptura foi detectado. A deposição da camada seguinte, que elevou a altura para 6,85 m, provocou a ocorrência de deslocamentos, aparecimento de fissuras e cavidades na plataforma do aterro, intumescimento no terreno à frente e danos nos instrumentos. Decidiu-se continuar o carregamento até a altura de 8,85 m, para melhor caracterizar a ruptura, sendo observados grandes deslocamentos e acréscimos no fissuramento do aterro e no terreno à frente, sem, contudo, se conseguir a ruptura generalizada. Em conclusão, não foi possível observar uma separação entre as duas partes do aterro experimental na superfície da plataforma do mesmo.

A escavação das fundações do trecho IV, que está localizado entre as duas ilhas, teve também início em maio de 1981. Foi removido todo o material mole composto de turfas e argila mole, alcançando-se uma fundação em ñareiasò. A construção deste trecho prosseguiu normalmente tendo-se alcançado a crista na cota 12,0 m em novembro de 1981. Já a construção do trecho V, localizado entre as estacas 35 e 40, iniciou em junho de 1982. Um detalhe importante foi a execução da drenagem no pé da barragem, pois em virtude da possibilidade de ocorrência de uma cheia no verão, foi decidido em dezembro de 1982 elevar a barragem no trecho V até a cota 9,0 m. Em fevereiro de 1983, foi decidido altear o trecho V com incrementos máximos de 50 cm de aterro em 3 dias. Nessa ocasião, os recalques do trecho V tinham atingido 60 a 70 cm. Comparativamente, decisão semelhante foi tomada para os trechos III-2 e II, quando os recalques eram da ordem de 70 a 90 cm. Devido à escassez de recursos financeiros, a construção demorou 5 anos (CRUZ, 1983).

As Figuras 14 e 15, a seguir, apresentam uma síntese das seções da barragem de Juturnaíba anteriormente descritas. Entretanto, não foram encontrados nos documentos pesquisados no Arquivo Nacional os desenhos referentes às seções típicas IV e V.

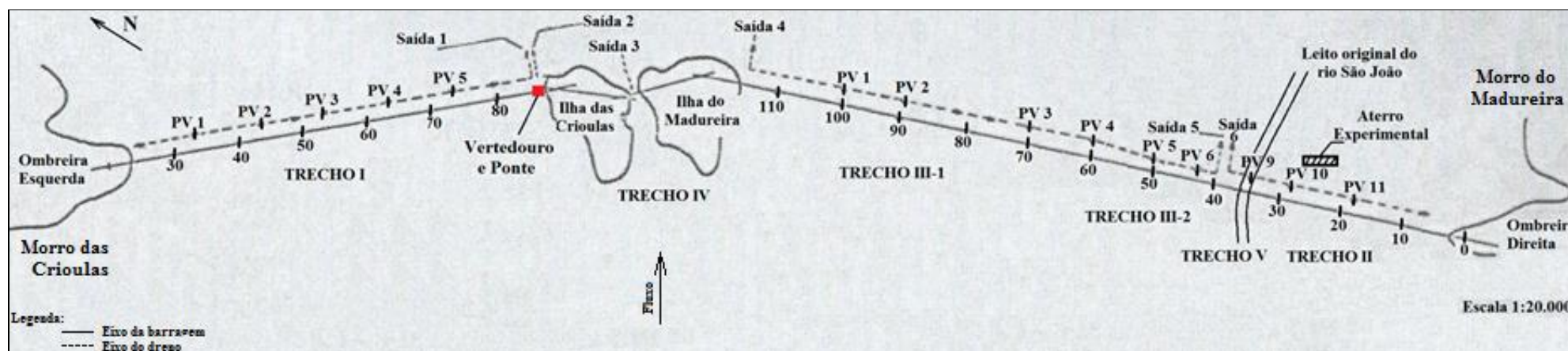


Figura 14 ĩ Eixo da Barragem de Juturnaíba com localização das estacas, do leito do rio São João, dos poços de visita e saídas das drenagens dos poços
 Fonte: Adaptado de CRUZ, 1983.

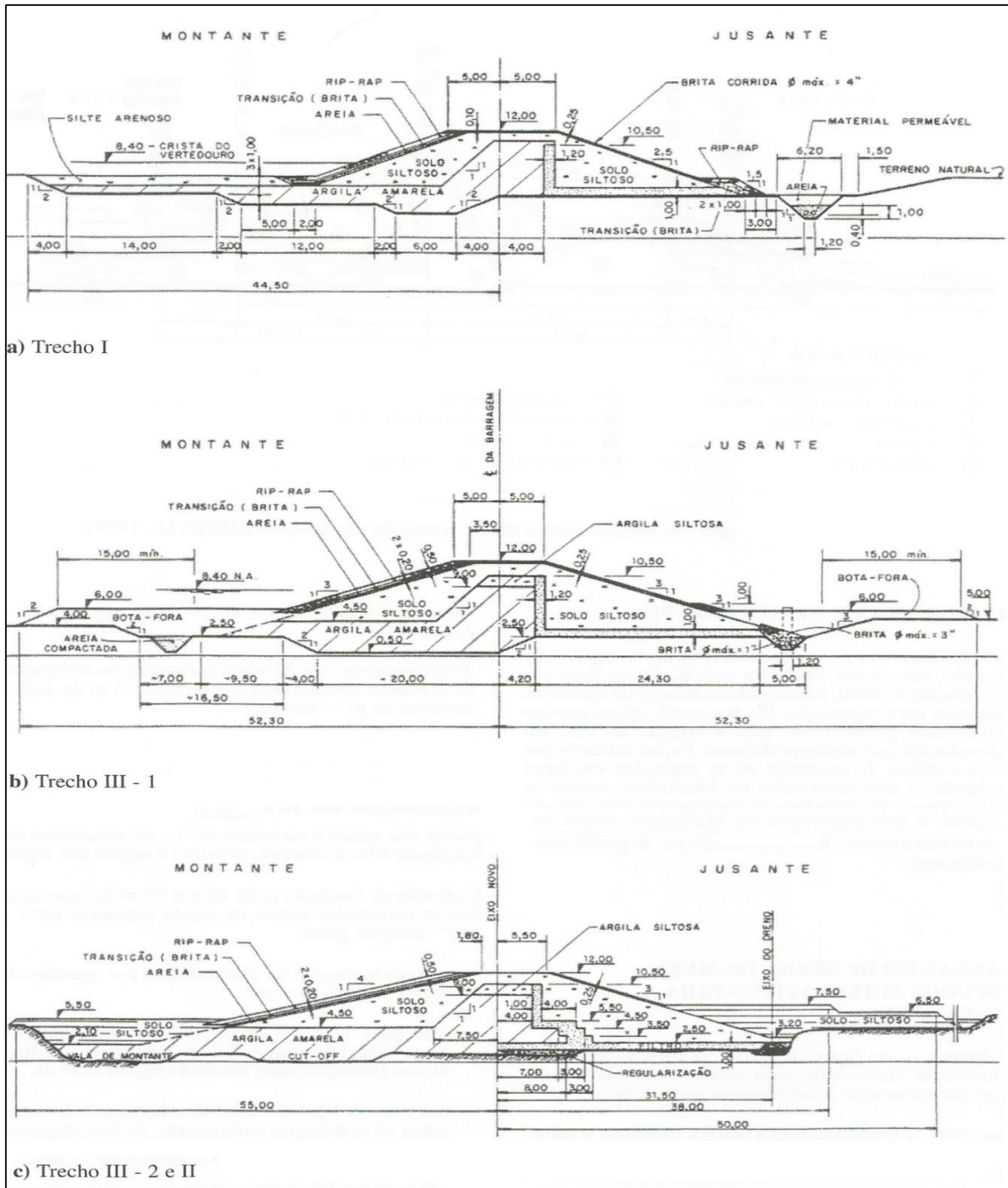


Figura 15 | Seções transversais típicas
Fonte: CRUZ, 2004.

3.4 SITUAÇÃO ATUAL DO EMPREENDIMENTO

Com o intuito de compreender a situação atual do empreendimento, foi realizada no dia 13 de janeiro de 2016, uma visita ao reservatório e barragem de Juturnaíba, com acompanhamento de técnico da Secretaria de Estado do Ambiente (SEA).

O acesso da barragem permite a opção por dois caminhos distintos em estrada de terra, um que leva à crista e o outro que leva ao pé da barragem, Figura 16. Optou-se por seguir em direção à crista da barragem. Nesse acesso, observa-se a presença de placas de órgãos estaduais proibindo a passagem de veículos e de circulação de pessoas não autorizadas, como também a presença barreiras que impedem a passagem de veículos maiores, como caminhões e tratores, conforme apresentado na Figura 17.



Figura 16 ĩ Fazenda de criação de gado próxima ao pé do barramento, na face de jusante



Figura 17 ĩ Placa de proibição de acesso de veículos não autorizados e barreiras

Durante a vistoria, pode-se observar que na área do entorno ao lago desenvolvem-se atividades agropastoris. Na travessia pela crista, foi observada a presença indesejada de animais, com destaque para gado e cupins, Figuras 18 e 19.



Figura 18 ï Gado circulando livremente na crista da barragem



Figura 19 ï Cupinzeiros na crista da barragem

No reservatório, próximo à barragem, existem ilhas flutuantes, como ilustrado na Figura 20, indicativas do processo de assoreamento.



Figura 20 ĩ Ilhas flutuantes no reservatório de Juturnaíba

Ao longo do barramento existem poços de visita, como mostra a Figura 21. Alguns deles se localizam próximo ao pé da barragem, enquanto outros no talude de jusante. Destaca-se que as tampas desses poços de visita estavam danificadas por ferrugem, enquanto outros nem tampas possuíam. Dadas as condições perigosas, não foi possível inspecionar o interior dos poços de visita.



Figura 21 ĩ Poços de visita existentes no talude de jusante da barragem

Seguindo na direção Norte pela crista da barragem, chega-se na Ilha do Madureira, onde foi possível observar a presença de outra fazenda de criação de gado, Figuras 22 e 23, em terreno localizado na margem do reservatório.



Figura 22 ĩ Fazenda de criação de gado na margem do reservatório



Figura 23 ĩ Área de pasto da fazenda, com detalhe do solo erodido

Seguindo por uma estrada de terra, após a Ilha das Crioulas, chega-se ao local das estruturas hidráulicas do barramento, Figura 24.



Figura 24 ĩ Vertedouro labirinto de Juturnaíba

A represa possui um vertedouro labirinto com 4 ciclos e 8 adufas, sendo 4 em cada lado. Observou-se que cada lado do vertedouro também possuiu um canal em concreto, cujo objetivo é desviar o excedente de água, através de um degrau, Figura 25. Esta estrutura complementar possibilitaria a criação de canais adjacentes ao rio São João, que aduziriam a água defluente para irrigação da agricultura local. Porém, os canais de irrigação não existem.



Figura 25 ĩ Canais, de restituição e complementar, do lado esquerdo do vertedouro

As estruturas hidráulicas do lado direito do vertedouro se apresentam danificadas, conforme Figura 26. A estrutura do canal de restituição do lado direito entrou em colapso e é possível observar os pedaços dos blocos de concreto rompidos. Foi possível também constatar a presença de vegetação que ocupou o local onde seria o canal complementar, Figuras 27 a 29. Além disso, verificou-se que as 4 adufas estavam fechadas com as suas respectivas comportas, porém, mesmo assim, havia fluxo de água para jusante, o que indica a má vedação das mesmas, conforme apresentado na Figura 30.



Figura 26 ĩ Estrutura de concreto rompida do lado direito do vertedouro



Figura 27 i Vegetação ao redor da margem direita do vertedouro



Figura 28 i Detalhe dos blocos de concreto rompidos do lado direito do vertedouro



Figura 29 i Estrutura colapsada do lado direito do vertedouro



Figura 30 ĩ Comportas do lado direito do vertedouro com desnível para dissipação de energia

As paredes do canal de restituição do lado esquerdo do vertedouro também se apresentam colapsadas, como mostrado nas Figuras 31 a 33.

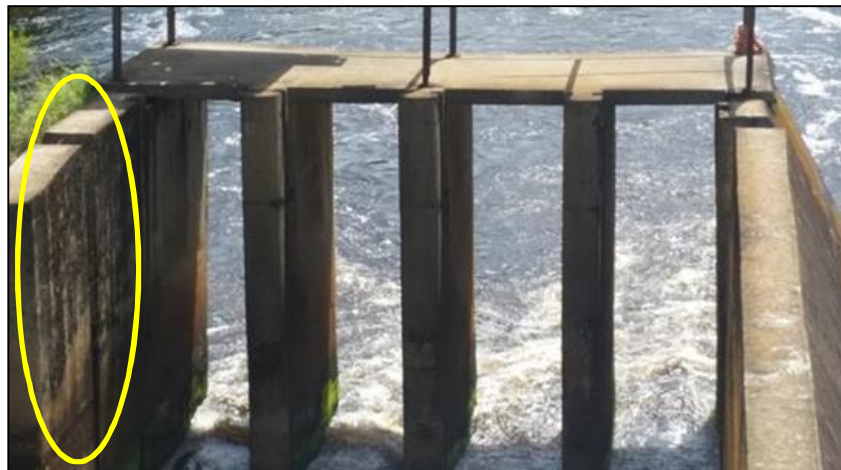


Figura 31 ĩ Vista para jusante do canal de restituição do lado esquerdo do vertedouro



Figura 32 ĩ Colapso do canal de restituição do lado esquerdo do vertedouro



Figura 33 ï Detalhe do rompimento do canal de restituição do lado esquerdo do vertedouro

A estrutura está cedendo para jusante da barragem e um grande bloco de concreto já se desprende e se encontra dentro no rio São João, logo após o vertedouro, Figura 34.



Figura 34 ï Bloco de concreto do canal de restituição que se separou do lado esquerdo do vertedouro

Caso não haja a devida recuperação da estrutura, provavelmente ocorrerá a separação definitiva deste canal principal do corpo da barragem e o comprometimento da estrutura complementar para os canais de irrigação. Outra observação importante é que somente as comportas do lado esquerdo estão em funcionamento. Durante a visita, observou-se a água fluindo pela comporta da extrema direita, Figura 35.



Figura 35 i Comporta da extrema direita do lado esquerdo com detalhe ao fundo do vertedouro

Observou-se da leitura de régua, instalada a montante das comportas do lado esquerdo do vertedouro, um nível d'água igual a 0,495 m, Figura 36. Constatou-se também que 3 das 4 adufas estavam fechadas com as suas respectivas comportas e que havia apenas duas grades de proteção contra material flutuante, na face de montante, como ilustrado na Figura 37. A adufa em operação não possuía grade de proteção.



Figura 36 i Nível d'água a montante das comportas do lado esquerdo do vertedouro



Figura 37 i Detalhe para o gradeamento da face de montante do lado esquerdo do vertedouro

Todavia, observou-se a presença de diversas grades inutilizadas na margem esquerda do rio São João, como mostrado na Figura 38.



Figura 38 i Grades inutilizadas na margem esquerda do rio São João

As estruturas das comportas de ambos os lados do vertedouro estão infestadas de casas de marimbondos e teias de aranhas, como ilustrado na Figura 32, e as escadas que possibilitam o acesso às adufas estão em situação precária.



Figura 39 ï Presença de marimbondos e aranhas nas adufas

Observou-se também a presença de vegetação no vertedouro, indicativo do processo relevante de assoreamento e acúmulo de sedimentos no reservatório, bem como da falta de manutenção das estruturas hidráulicas da barragem, Figuras 40 e 41.



Figura 40 ï Presença de vegetação em cima do vertedouro



Figura 41 ï Detalhe para a vegetação a montante e a jusante da barragem

Nos canais de restituição de ambos os lados do vertedouro foi possível observar as ranhuras para descida dos painéis *stop-logs*, Figura 42 e 43. Entretanto, tais painéis não foram localizados nestas ranhuras e em nenhum outro local próximo da região visitada. Assim, caso haja problema ou necessidade de manutenção das comportas das adufas, a água irá defluir pelos canais de restituição barragem sem nenhum tipo de controle.



Figura 42 i Estrutura para descida dos *stop-logs* do canal de restituição do lado direito



Figura 43 i Estrutura para descida dos *stop-logs* do canal de restituição do lado esquerdo

A jusante do vertedouro existem duas ilhas de sedimentos com a presença de vegetação de porte, Figuras 44 e 45. Essas ilhas, provavelmente, foram formadas pelo assoreamento das margens do rio São João e pelo carreamento de sedimentos e de vegetação que passam pelo vertedouro, Figura 46.



Figura 44 ĩ Ilhas a jusante e próximas das estruturas hidráulicas da barragem



Figura 45 ĩ Presença de árvores de porte na ilha maior



Figura 46 ĩ Passagem de vegetação pelo vertedouro para jusante da barragem

É parte integrante do conjunto das estruturas hidráulicas da barragem de Juturnaíba, uma ponte, que serve de travessia entre ambas as margens do rio São João, Figura 47. A ponte está localizada logo a frente do vertedouro e os seus pilares oferecem obstrução à passagem da água vertida. Na Figura é possível também observar as estruturas de dissipação de energia.



Figura 47 i Vista de jusante da ponte

3.5 DEFINIÇÃO DA CHEIA OU VAZÃO DE PROJETO

Durante o levantamento das informações junto ao Arquivo Nacional, não foram encontrados documentos relacionados à memória de cálculo do dimensionamento da vazão de projeto do vertedouro de Juturnaíba. O único documento disponível se refere ao desenho nº 3479 intitulado “Modelo de Vertedouro em Zig-Zag – Planta – Seções – Detalhes” (DNOS, 1979), cuja cópia encontra-se no **Anexo 1**. As principais características físicas e hidráulicas encontram-se relacionadas na Tabela 1, apresentada previamente.

No desenho consta o detalhe nº10 que mostra a seção transversal do vertedouro, na qual está identificada apenas a vazão de projeto de $5.600 \text{ m}^3/\text{s}$, sem o tempo de recorrência associado. Assim, com o intuito de avaliar o amortecimento desta cheia e sua laminação pelo vertedouro, é necessário reproduzir o pico da cheia de projeto e a hidrógrafa correspondente e associá-la a um tempo de retorno. A Figura 48 apresenta esquematicamente o desenho do detalhe nº10.

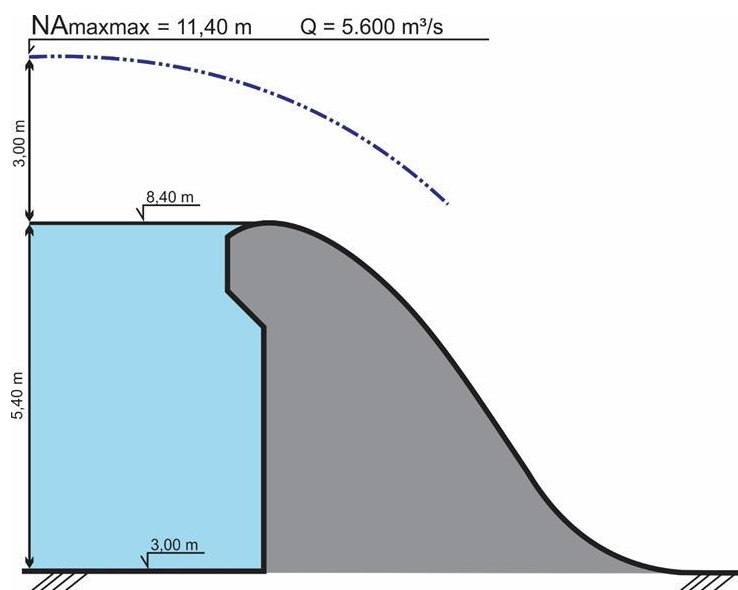


Figura 48 | Representação esquemática da seção transversal do vertedouro
Fonte: Adaptado de DNOS, 1979.

3.5.1 Estimativa das vazões máximas a partir das séries históricas de vazões diárias

A Tabela 11 relaciona os postos fluviométricos inseridos na bacia do rio São João e disponíveis no aplicativo *online* do sistema de informações hidrológicas | HidroWeb | da Agência Nacional de Águas (ANA).

Tabela 11 | Postos fluviométricos inseridos na bacia com histórico de vazões

Código	Nome do Posto	Rio	Área de Drenagem (km ²)	Latitude	Longitude	Período de Observação		Falhas
						Início	Fim	
59180000	Correntezas - Antiga	São João	322,8	-22°32'21"	-42°24'24"	05/1967	10/1992	Sem falhas
59181000	Correntezas - Nova	São João	404,0	-22°32'35"	-42°23'45"	11/1982	12/2009*	01/1983; 1990 a 1991; 03/1998 a 04/2000

* Posto ainda em operação, entretanto os dados estão consistidos pela ANA até dezembro de 2009.

Da análise da Tabela 11, optou-se por selecionar o posto Correntezas | Nova, dado que o posto ainda está em operação apresentando, portanto, série de vazões médias diárias mais recente.

A Tabela 12, a seguir, consolida os valores extraídos do HidroWeb do posto selecionado.

Em seguida, procede-se, com base nas equações (15), (16) e (17), ao cálculo das estatísticas média, desvio-padrão e assimetria. A partir do valor da assimetria, é selecionada a distribuição estatística e estimados os valores de vazões máximas para tempos de recorrência de 2,33, 100 e 10.000 anos.

Além disso, de modo a validar o conceito de Gumbel (1941) à série de vazões históricas do posto Correntezas ã Nova, deve ser feita a comparação entre a vazão média dos máximos anuais com a vazão com TR igual a 2,33 anos.

3.5.2 Estimativa das vazões máximas a partir de curva de regionalização

A barragem e o reservatório de Juturnaíba estão inseridos na região hidrográfica denominada bacias litorâneas do Estado do Rio de Janeiro, ou simplesmente, sub-bacia 59. CPRM (2002) definiu que esta sub-bacia integra uma única região homogênea, exceto os rios Macabu e Guandu, e a equação de regionalização para as vazões máximas é expressa por:

$$Q_{MC} = 0,3865 \cdot A^{1,0259} \quad (31)$$

onde Q_{MC} é a média das vazões máximas anuais, em m^3/s , e A é a área de drenagem, em km^2 .

CPRM (2002) definiu ainda a relação entre a variável adimensionalizada Q_{TR}/Q_{MC} , onde Q_{TR} representa a vazão máxima associada a um TR.

Tabela 12 – Série de vazões máximas mensais e anuais do posto fluviométrico Correntezas - Nova

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Máxima
1982											17,3	41,2	
1983		34,5	126	38,9	43,6	25,8	13,8	7,32	38,2	28,4	33,8	89,4	
1984	73,5	18,3	72,5	41,2	22,8	7,32	21,1	12,9	6,0	18,3	24,6	61,8	73,5
1985	142	60,8	99,7	102	69,5	15,8	9,15	27,1	32,4	21,1	113	28,4	142
1986	55,4	86,1	65,6	51,0	17,3	12,5	17,3	6,65	35,3	21,6	60,8	142	142
1987	88,3	55,4	69,5	24	13,2	33,2	7,89	8,92	10,2	27,3	30,7	39,1	88,3
1988	33,8	205	39,7	62,7	33,8	30,7	20,8	13,5	17,3	39,1	126	119	205
1989	176	47,8	41,4	128	38,6	102	56,3	22,3	29	33,2	39,1	118	176
1990													
1991													
1992	93,9	18,9	14,0	144	12,2	12,2	14,7	12,6	65,6	20,1	90,5	59,7	144
1993	37,2	67,5	72,5	38,3	20,4	27,0	10,1	7,18	35,1	12,9	14,0	47,9	72,5
1994	31,1	10,7	88,3	213	45,0	51,8	15,8	10,1	24,5	61,0	88,9	39,1	213
1995	31,6	162	20,8	20,1	37,5	31,3	18,1	11,2	39,4	30,1	63,6	45,0	162
1996	32,2	31,4	71,5	64,6	11,3	9,26	7,58	9,26	16,7	28,2	72,5	106	106
1997	144	26	28,6	24,6	19,5	11,4	8,12	40,5	18,3	16,4	32,2	75,0	144
1998	170	266											
1999													
2000					23,4	10,8	29,1	13,6	52,6	27,2	29,6	95,6	
2001	197	195	25,3	95,1	20,6	9,85	12,4	8,97	9,85	18,1	32,2	197	197
2002	28,9	91,7	26,7	14,3	24,4	9,79	9,49	7,88	20,1	31,5	59,1	216	216
2003	78,1	32,3	61,7	31,8	14,8	12,5	14,5	32,5	23,3	48,8	140	193	193
2004	212	160	34,2	66,1	26,2	29,9	54,5	17,7	16,3	25,5	241	128	241
2005	137	178	180	180	50,2	46	48,1	25,8	80,2	25,2	265	144	265
2006	103	109	72,0	122	57,2	36,3	26,2	30,4	64,6	50,6	178	57,9	178
2007	56,4	30,5	30,8	30,8	31,1	25,4	12,0	16,4	14,3	52,1	97,9	131	131
2008	148	81,9	94,7	106	57,5	24,6	15,7	19,5	19,5	51,8	126	90,6	148
2009	165	150	88,2	83,4	28	28	14,7	14,9	46,1	74,3	98	131	165
Média	101	92,1	64,7	76,5	31,2	26,2	19,9	16,4	31,1	33,2	86,4	99,8	162

No estudo da CPRM, a maior recorrência calculada corresponde ao valor de 100 anos, que por sua vez, está relacionada a uma razão Q_{TR}/Q_{MC} igual a 2,789. Já para o TR de 2 anos a razão Q_{TR}/Q_{MC} é igual a 0,9119.

Assim, será estimada a vazão com TR igual a 100 anos e comparado o valor da Q_{TR} igual a 2 anos com a vazão com TR igual a 2,33 anos definida no item 3.5.1. A comparação tem por objetivo validar a equação de regionalização de CPRM (2002), considerando-a representativa da bacia hidrográfica do rio São João.

3.5.3 Estimativa das vazões máximas a partir do HUT

Como mencionado anteriormente, as equações de chuvas intensas relativas aos postos pluviométricos, como também as suas respectivas coordenadas, foram extraídas de DER-RJ (1989). A Tabela 13 lista os postos pluviométricos próximos ao empreendimento de Juturnaíba. Para localização destes postos, pode ser utilizada a base de dados do Consórcio Intermunicipal Lagos São João (CILSJ, 2003), ilustrada na Figura 49, a seguir.

Tabela 13 – Dados dos Postos Pluviométricos
Fonte: DER-RJ, 1989.

Nome do Posto Pluviométrico	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período de Observação		Equação Geral
				Início	Fim	
Rio Bonito	22° 38'	42° 36'	60	1936	1978	$i = \frac{1692 \cdot TR^{0,0002}}{t + 20^{0,0002}}$
Palmital	22° 45'	42° 30'	45	1936	1963	$i = \frac{1269 \cdot TR^{0,0002}}{t + 15^{0,0002}}$
Cachoeira de Macacu	22° 39'	42° 39'	150	1942	1980	$i = \frac{726 \cdot TR^{0,0002}}{t + 9^{0,0002}}$
Piler	22°24ô	42°18ô	800	1950	1980	$i = \frac{979 \cdot TR^{0,0002}}{t + 12^{0,0002}}$
Barra de São João	22°35ô	41°59ô	5	1935	1963	$i = \frac{573 \cdot TR^{0,0002}}{t + 5^{0,0002}}$

i representa a intensidade das chuvas, em mm/h, e t a duração do evento, em minutos. Adota-se que a duração do evento deve ser igual ao tempo de concentração (t_c).

Observa-se, da análise da Figura 49, que somente os postos pluviométricos Rio Bonito e Barra de São João estão inseridos na bacia. Para representar a contribuição da área de drenagem à barragem de Juturnaíba, será selecionado o posto Rio Bonito.

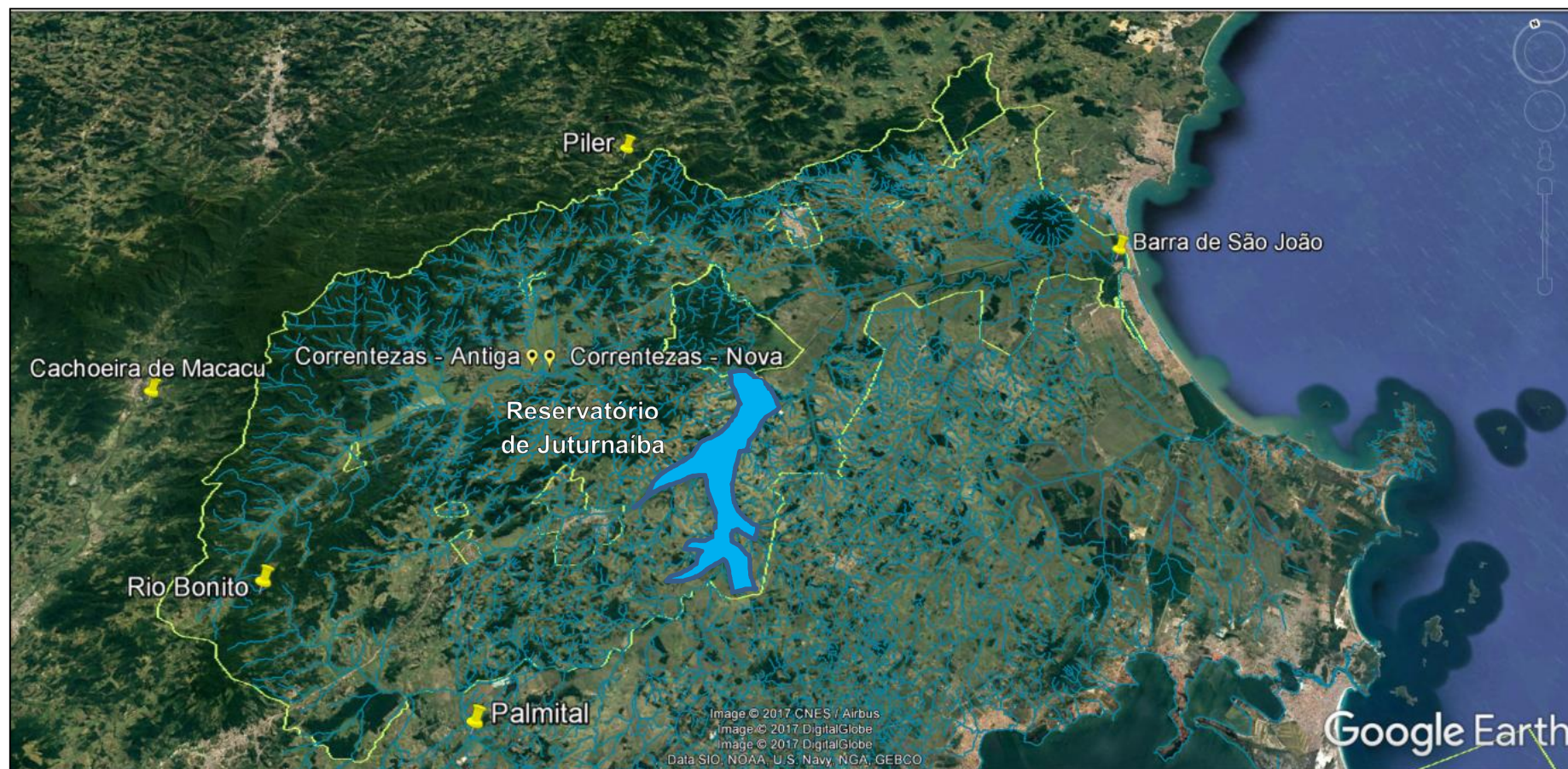


Figura 49 ĩ Localização dos postos pluviométricos e fluviométricos existentes na bacia do rio São João e adjacências
(A linha verde delimita a bacia e as suas unidades de conservação)

Fonte: Adaptado de CILSJ, 2017.

Os dados de entrada para simulação do HUT são: área de drenagem, comprimento do talvegue, desnível, *curve number*, tempo de concentração e intensidade da chuva.

Os valores referentes ao comprimento do talvegue e às cotas das nascentes dos rios São João, Capivari e Bacaxá podem ser extraídos de CILSJ (2003). Vale destacar que o desnível resulta da diferença entre as cotas das nascentes a cota da crista da barragem de Juturnaíba. Já os valores relativos às áreas de drenagem podem ser obtidos de Noronha (2009).

Dada a ausência de informações, é necessário o ajuste do CN. Para tanto, a partir da validação da curva de regionalização da CPRM, é estimada a vazão com recorrência de 100 anos a partir da equação (31) e da relação Q_{TR}/Q_{MC} igual a 2,789. Em seguida, na simulação do HUT, o valor do CN é ajustado, por tentativas, até que o pico de vazão fique próximo ou igual ao valor da Q_{TR} de 100 anos.

O tempo de concentração é calculado pela equação (10) e a intensidade da chuva pela equação geral do posto pluviométrico de Rio Bonito apresentada na Tabela 13.

A simulação do HUT é realizada em planilha eletrônica para os rios São João, Capivari e Bacaxá, para tempos de recorrência de 100 anos e 10.000 anos. Os dados de saída são: as ordenadas do HUT, a precipitação efetiva e o hidrograma final da vazão máxima para o TR correspondente.

Ao final, o valor da Q_{TR} de 10.000 anos pode ser comparado ao valor da vazão de projeto de 5.600 m³/s definido em DNOS (1979).

3.6 CURVAS CARACTERÍSTICAS DO RESERVATÓRIO

Para a laminação das vazões máximas, podem ser utilizadas as curvas Cota *versus* Volume que levam em consideração o processo de depósito de sedimentos no reservatório de Juturnaíba ao longo da sua vida útil, definidas por Noronha (2011, págs. 101 a 103), e, expressas por:

̄ Para o ano de 2008:

$$V = -0,0122741 \cdot C^5 + 0,5856212 \cdot C^4 - 11,1136652 \cdot C^3 + 106,6628723 \cdot C^2 - 506,6508812 \cdot C + 937,8717276 \quad (32)$$

̄ Para o ano de 2018:

$$V = -0,0192063 \cdot C^5 + 0,8865873 \cdot C^4 - 16,2576984 \cdot C^3 + 149,8384127 \cdot C^2 - 684,7180953 \cdot C + 1226,9100001 \quad (33)$$

̄ Para o ano de 2023:

$$V = -0,0161217 \cdot C^5 + 0,7657011 \cdot C^4 - 14,3772751 \cdot C^3 + 135,2726323 \cdot C^2 - 628,5149365 \cdot C + 1140,5700001 \quad (34)$$

̄ Para o ano de 2028:

$$V = -0,0136534 \cdot C^5 + 0,6707209 \cdot C^4 - 12,9274339 \cdot C^3 + 124,2426124 \cdot C^2 - 586,6522461 \cdot C + 1077,2100002 \quad (35)$$

̄ Para o ano de 2048:

$$V = -0,0031958 \cdot C^5 + 0,2644974 \cdot C^4 - 6,6626455 \cdot C^3 + 76,0721693 \cdot C^2 - 401,8508254 \cdot C + 794,4700000 \quad (36)$$

̄ Para o ano de 2088:

$$V = 0,0191402 \cdot C^5 - 0,6060251 \cdot C^4 + 6,8048677 \cdot C^3 - 27,7456415 \cdot C^2 - 2,8423414 \cdot C + 183,3700002 \quad (37)$$

onde V é o volume do reservatório, em m³ e C é a cota do nível d'água correspondente, em m.

A equação (32) representa a condição inicial do reservatório, já as demais curvas são decorrentes da evolução do processo de sedimentação do reservatório.

3.7 LAMINAÇÃO DA CHEIA MÁXIMA PROVÁVEL

Para o processo de laminação da CMP, ou seja, da cheia de projeto com tempo de recorrência de 10.000 anos, utiliza-se a metodologia descrita em Schulz (1976), e apresentada no item 2.6, também denominada como método de Goodrich.

A barragem de Juturnaíba possui 8 comportas de fundo do tipo *stop-log*, sendo 4 do lado direito e 4 do lado esquerdo do vertedouro, com dimensões de 1,20 m de largura e 1,20 m de altura e soleira na elevação 3,00 m (PROLAGOS, 2016).

Com base no exposto, optou-se por considerar dois cenários para a laminação da CMP: comportas completamente fechadas e comportas completamente abertas.

3.7.1 Laminação com comportas completamente fechadas

A Tabela 14 ilustra as etapas de cálculo. Para facilitar o entendimento da metodologia, são criadas etapas de dimensionamento intermediárias, representadas nas colunas (5) e (6). Além disso, as colunas (2) e (3) são ajustadas para a condição de vertedouro do tipo labirinto.

Tabela 14 ĩ Cálculo da função armazenamento do reservatório de Juturnaíba: comportas fechadas

Coluna (1)	Coluna (2)	Coluna (3)	Coluna (4)	Coluna (5)	Coluna (6)	Coluna (7)	Coluna (8)
C (m)	H (m)	Q_w (m ³ /s)	S_v (m ³)	SVT (m ³)	SVTô (m ³ /s)	(2Sv)/t (m ³ /s)	(2Sv/t) + Q_w (m ³ /s)

Na coluna (1) são relacionados os valores das cotas, em m. Nesta pesquisa, optou-se por dar início a simulação na cota 8,40 m, crista do vertedouro até atingir a crista da barragem em 12,0 m. Na coluna (2), são calculados os valores da carga hidráulica sobre o vertedouro (H), em m, ou seja, subtrai-se a cota da crista do vertedouro dos valores da Coluna (1). Na coluna (3), a vazão do vertedouro (Q_w), em m³/s, é estimada a partir da curva de vazão do vertedouro em labirinto, substituindo-se os valores da coluna (2). A variável S_v da coluna (4) representa o volume acumulado no reservatório, em m³, calculado a partir das equações (32) a (37). A variável SVT da coluna (5) representa a volume desacomulado, em m³. Os valores da coluna (6) representam a transformação dos valores da coluna (5) em unidade de vazão, m³/s. A função armazenamento é obtida a partir da relação entre os resultados da coluna (8) com a coluna (3).

A etapa seguinte do processo de laminação resulta da Tabela 15, onde as colunas (9) e (10) se referem ao intervalo de tempo e a vazão afluente ao reservatório, oriunda da hidrógrafa com TR de 10.000 anos gerada pelo HUT. As colunas (11), (12) e (13) são calculadas em conjunto. O primeiro valor a ser calculado, no primeiro intervalo de tempo Δt_i , é o da coluna (12), obtido da soma de $(Q_{afl_TOTAL})_i + (Q_{afl_TOTAL})_{i+1} + (2S_v/t - Q_w)_i$, ressaltando-se que o primeiro valor da coluna (11) é igual a zero. O segundo valor a ser calculado é o da coluna (13), obtido através da substituição do montante resultante da coluna (12) na função armazenamento. O último valor a ser calculado é o da coluna (11) resultante da diferença entre $(2S_v/t - Q_w)_i$ ĩ $(2 Q_{def})_i$. No próximo intervalo de tempo Δt_{i+1} , procede-se da mesma forma, até que se atinja nível d'água do reservatório igual ou próximo da crista do vertedouro. Por último, calcula-se o nível d'água no reservatório, a partir da curva de vazão do vertedouro em labirinto.

Tabela 15 ĩ Cálculo da vazão defluente a cada passo de tempo: comportas fechadas

Coluna (9)	Coluna (10)	Coluna (11)	Coluna (12)	Coluna (13)	Coluna (14)
Δt (horas)	Q_{afl_TOTAL} (m ³ /s)	$2S_v/t - Q_w$ (m ³ /s)	$2S_v/t + Q_w$ (m ³ /s)	Q_{def} (m ³ /s)	N ^A reservatório (m)

3.7.2 Laminação com comportas completamente abertas

Como mencionado anteriormente, o empreendimento de Juturnaíba possui 8 comportas. Em uma situação emergencial, como a de uma onda de cheia, tais comportas, se completamente abertas, poderiam auxiliar a passagem dessa onda de forma mais rápida para jusante, minimizando os riscos de galgamento pela barragem. As curvas de vazão das comportas de fundo da barragem de Juturnaíba em função do nível do reservatório, extraídas de PCE (1997, pág.6), são apresentadas na Figura 50.

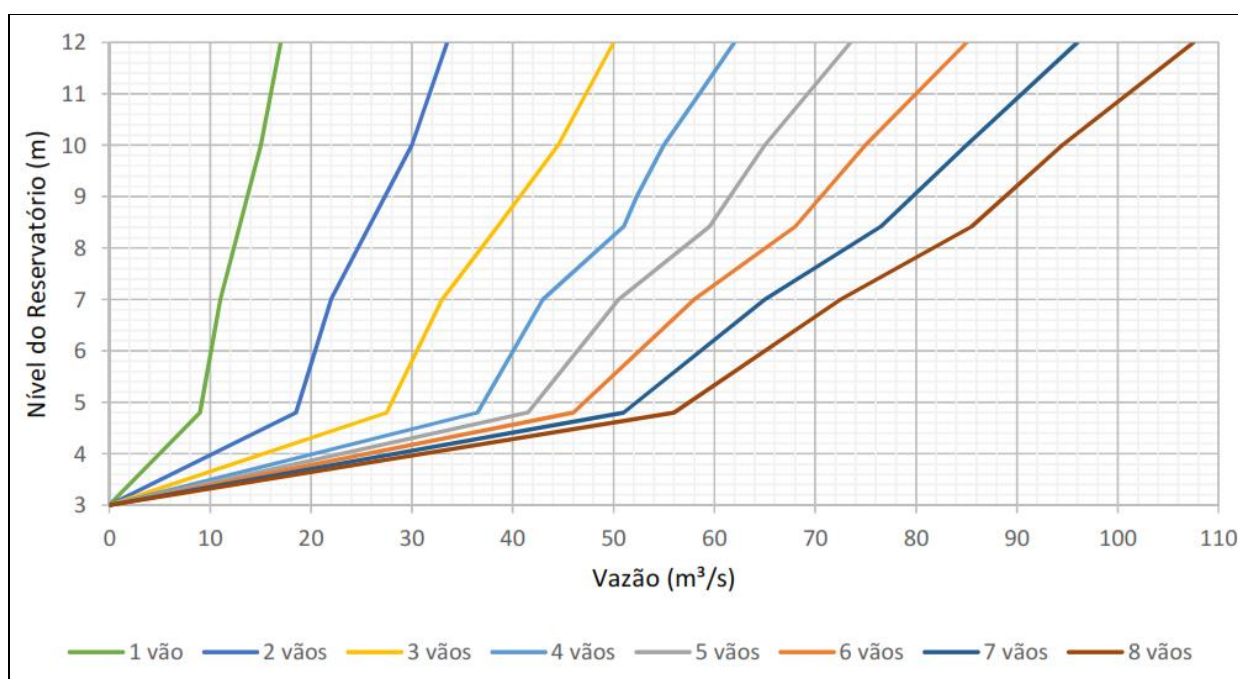


Figura 50 ĩ Curvas de vazão das comportas na condição completamente abertas
Fonte: PCE, 1997.

A Tabela 16 ilustra as etapas de cálculo, que são as mesmas da Tabela 14 acrescidas de duas colunas, uma referente à vazão das comportas (Q_c) e a outra à vazão total vertida, que corresponde a soma da vazão vertida (Q_w) e Q_c .

Tabela 16 ĩ Cálculo da função armazenamento do reservatório de Juturnaíba: comportas fechadas

Coluna (1)	Coluna (2)	Coluna (3)	Coluna (4)	Coluna (5)	Coluna (6)	Coluna (7)	Coluna (8)	Coluna (9)	Coluna (10)
C (m)	H (m)	Q_w (m³/s)	Q_c (m³/s)	Q_{vert_TOTAL} (m³/s)	S_v (m³)	SVT (m³)	SVTô (m³/s)	$(2S_v)/t$ (m³/s)	$(2S_v/t) + Q_{vert_TOTAL}$ (m³/s)

A vazão das 8 comportas (Q_c) foi obtida a partir da curva de operação das comportas, com base na Figura 49. A função armazenamento resulta da relação dos valores da coluna (10) com os da coluna (5).

Na etapa seguinte do processo de laminação, Tabela 17, as colunas (11) e (12) se referem ao intervalo de tempo e a vazão afluyente ao reservatório, oriunda da hidrógrafa com TR de 10.000 anos gerada pelo HUT. Já as colunas (13), (14) e (15) são calculadas em conjunto da mesma forma que as colunas (11), (12) e (13) da Tabela 15. Por último, o nível d'água no reservatório é estimado a partir da curva obtida pela relação entre a coluna (5) e a coluna (1).

Tabela 17 i Cálculo da vazão defluente a cada passo de tempo com comportas

Coluna (11)	Coluna (12)	Coluna (13)	Coluna (14)	Coluna (15)	Coluna (16)
Δt (horas)	Q_{afl_TOTAL} (m^3/s)	$2Sv/t - Q_{vert_TOTAL}$ (m^3/s)	$2Sv/t + Q_{vert_TOTAL}$ (m^3/s)	Q_{def} (m^3/s)	$N_{Reservatório}$ (m)

O processo de laminação da CMP será realizado para os anos 2008, 2018, 2023, 2028, 2048 e 2088.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RISCOS E DOS DANOS POTENCIAIS

Com relação aos critérios do CBDB, relacionados nas Tabelas 1 a 3, a barragem de Juturnaíba pode ser classificada na categoria potencial de risco alto, no que diz respeito às perdas de vidas e econômicas (Tabela 1), uma vez que a jusante da barragem existem áreas extensas de agricultura e pecuária, bem como na foz do rio São João está localizado o 2º distrito de Casimiro de Abreu, denominado Barra de São João, que conta com uma população de cerca de 9.000 habitantes, segundo informações de Barra de São João (2017). Na classificação da dimensão da barragem (Tabela 2), o empreendimento de Juturnaíba pode ser considerado pequeno em relação à altura (de 5 a 15 m), porém grande em relação ao volume armazenado (acima de 50.000.000 m³). Já na classificação pelo dimensionamento do vertedouro (Tabela 3), o risco associado foi considerado como alto, uma vez que independentemente da dimensão da barragem ser média ou grande, a cheia de projeto deve ter recorrência de 10.000 anos, ou seja, igual a 1 CMP.

As Tabelas 4 a 9 apresentam os critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, estabelecidos pela resolução CNRH 143.

Com relação às características técnicas (Tabela 4), a barragem de Juturnaíba alcança a seguinte pontuação: altura (0); comprimento (3); tipo de barragem quanto ao material de construção (3); tipo de fundação (5); idade da barragem (1) e vazão de projeto (3). Ressalta-se que, predominantemente, os solos de fundação da região são do tipo argila mole, argila muito mole e turfa, porém, na classificação em questão não existem tais opções, de modo que foi considerada a pior condição, qual seja solo residual/aluvião. O total de pontos de CT resultou em 15.

No que diz respeito ao estado de conservação (Tabela 5), o empreendimento alcança a seguinte pontuação: confiabilidade das estruturas extravasoras (10); confiabilidade das estruturas de adução (6); percolação (3); deformações e recalques (1); deterioração dos taludes parâmetros (5) e eclusas (0). Vale destacar que em alguns locais não foi possível o acesso durante a visita de campo realizada, entretanto, segundo informações dos técnicos

responsáveis pela fiscalização, não há instrumentação em operação, de modo que não é possível o monitoramento dos deslocamentos e pressões no corpo da barragem. O somatório de pontos de EC foi igual a 25.

No que concerne ao plano de segurança da barragem (Tabela 6), a pontuação alcançada é: existência de documentação (4); estrutura organizacional e qualificação técnica da equipe de segurança da barragem (8); procedimentos de roteiros de inspeções de segurança e de monitoramento (5); regra operacional dos dispositivos de descarga da barragem (0) e relatórios de inspeção de segurança com análise e interpretação (3). Cabe destacar que apenas parte da memória do empreendimento está sob a guarda do Arquivo Nacional, sendo necessária a presença do(s) interessado(s) para consulta documental. O valor total de pontos de PS foi igual a 20.

A pontuação final da categoria de risco corresponde ao somatório dos valores CT, EC e PS e resultou em 60. Destaca-se que se CRI for maior ou igual a 60, ou se a pontuação de EC for maior ou igual a 8, em qualquer parâmetro de análise, implica em que a barragem seja automaticamente classificada em categoria de risco alto com necessidade de providências imediatas pelo responsável do empreendimento (Tabela 7). A barragem de Juturnaíba foi classificada em risco alto.

Com relação ao dano potencial associado (Tabela 9), o empreendimento obteve a seguinte pontuação: volume total do reservatório (3); potencial de perdas de vidas humanas (12); impacto ambiental (5); impacto socioeconômico (8). A pontuação total referente ao DPA resultou em 28, que permite classificar a barragem alto dano potencial associado.

Os resultados permitem inferir que tanto pela classificação do CBDB, quanto pela classificação da Resolução CNRH 143, o potencial de risco associado à barragem de Juturnaíba é alto.

4.2 ESTIMATIVA DAS VAZÕES MÁXIMAS AFLUENTES AO RESERVATÓRIO

Inicialmente foi realizada a comparação entre a $Q_{TR} = 2,33$ anos, calculada a partir da distribuição de probabilidade de Gumbel, com a $Q_{TR} = 2$ anos, estimada a partir de CPRM (2002). Como a diferença percentual ficou abaixo de 3%, foi possível validar a equação de regionalização da CPRM para a bacia do rio São João. Os valores encontrados estão descritos no **Apêndice A**.

Em seguida, procedeu-se ao ajuste do *curve number* e estimativa das vazões com TR de 100 e 10.000 anos. Os hidrogramas finais obtidos pela simulação do HUT encontram-se detalhados nos **Apêndices B e C**, respectivamente. Na Tabela 18, são apresentados os picos das vazões máximas de 100 anos pela equação de regionalização da CPRM, o valor do CN

ajustado para cada sub-bacia, os picos das vazões com TR de 100 anos resultantes da simulação do HUT, a diferença percentual entre as vazões da CPRM e HUT e o pico da vazão com 10.000 anos de recorrência para cada curso d'água.

Tabela 18 – Resultados obtidos da simulação do HUT

Rio	Q_{CPRM} (m ³ /s) TR = 100 anos	Curve Number ajustado	Q_{HUT} (m ³ /s) TR = 100 anos	Diferença Percentual (%)	Q_{HUT} (m ³ /s) TR = 10.000 anos
São João	718,1	60	698,0	2,79	2.777
Capivari	273,2	49	278,3	1,82	1.746
Bacaxá	692,3	54	704,0	1,73	3.772

Na Tabela 19 estão consolidadas as vazões máximas obtidas pela composição dos hidrogramas dos rios São João, Capivari e Bacaxá.

Tabela 19 – Vazões máximas resultantes da composição dos hidrogramas

TR (anos)	Vazão Máxima do HUT (m ³ /s)
100	1.027
10.000	5.587

Considera-se que a metodologia do HUT alcançou os resultados pretendidos, pois as diferenças percentuais na estimativa das vazões com TR igual a 100 anos foram abaixo de 3%.

Além disso, o valor de CN ajustado para cada sub-bacia permitiu alcançar o valor final da CMP de 5.587 m³/s, enquanto que a vazão definida pela empresa Engenharia Galiolli Ltda. (**Anexo 1**) foi estimada como sendo igual a 5.600 m³/s, permitindo deduzir que a sua recorrência é de 10.000 anos, ou seja, o vertedouro de Juturnaíba está dimensionado conforme os critérios de segurança de barragens.

4.2 DEFINIÇÃO DA CURVA DE VAZÃO DO VERTEDOIRO EM LABIRINTO

De acordo com dados de DNOS (1979) e Cunha (1995), o vertedouro em labirinto da barragem de Juturnaíba possui o arranjo esquemático da Figura 51. As suas principais características físicas são: comprimento desenvolvido (L) de 710 m; largura total (W) de 163,5 m; altura (P) de 5,4 m e razão L/W igual a 4,34.

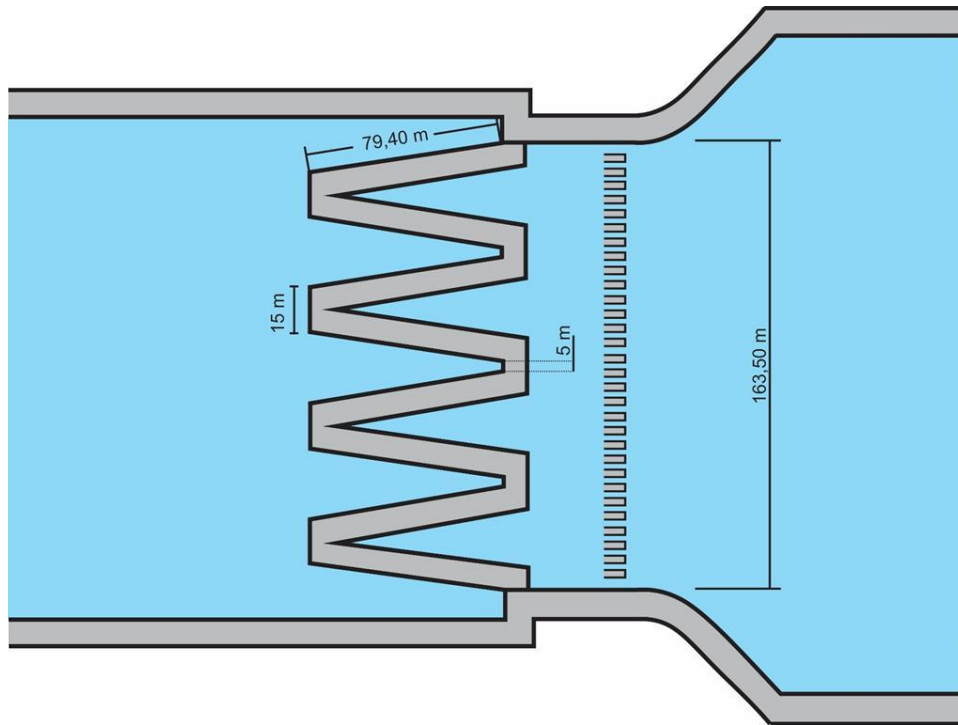


Figura 51 – Arranjo esquemático do vertedouro da barragem de Juturnaíba

Para o cálculo da vazão do vertedouro foi adotado o seguinte procedimento:

- Os valores de μ_w foram obtidos a partir das relações H/P da Figura 5. Cabe destacar que a relação $H/P = 0,6$ não foi utilizada, pois a carga hidráulica sobre o vertedouro resulta em 3,24 m, superior a carga de 3,0 m, correspondente à diferença entre o NA_{maxmax} da vazão de projeto (11,4 m) e a crista do vertedouro (8,4 m).
- Para cada valor de μ_w , foram calculadas, a partir da equação (24), as vazões do vertedouro (Q_w). A Tabela 20 resume os resultados encontrados.

Tabela 20 – Vazão do vertedouro em labirinto

P (m)	H/P	H (m)	μ_w	Q_w (m ³ /s)
5,4	0,2	1,08	2,14	1.739
5,4	0,3	1,62	1,85	2.763
5,4	0,4	2,16	1,64	3.770
5,4	0,5	2,70	1,45	4.659
-	-	3,00 ⁽¹⁾	-	5.600 ⁽¹⁾

(1) Projeto da Empresa Engenharia Gallioli Ltda.

- A partir dos dados da Tabela 20 foi definida a curva de vazão do vertedouro em função da carga hidráulica sobre o vertedouro, como ilustrado na Figura 52.

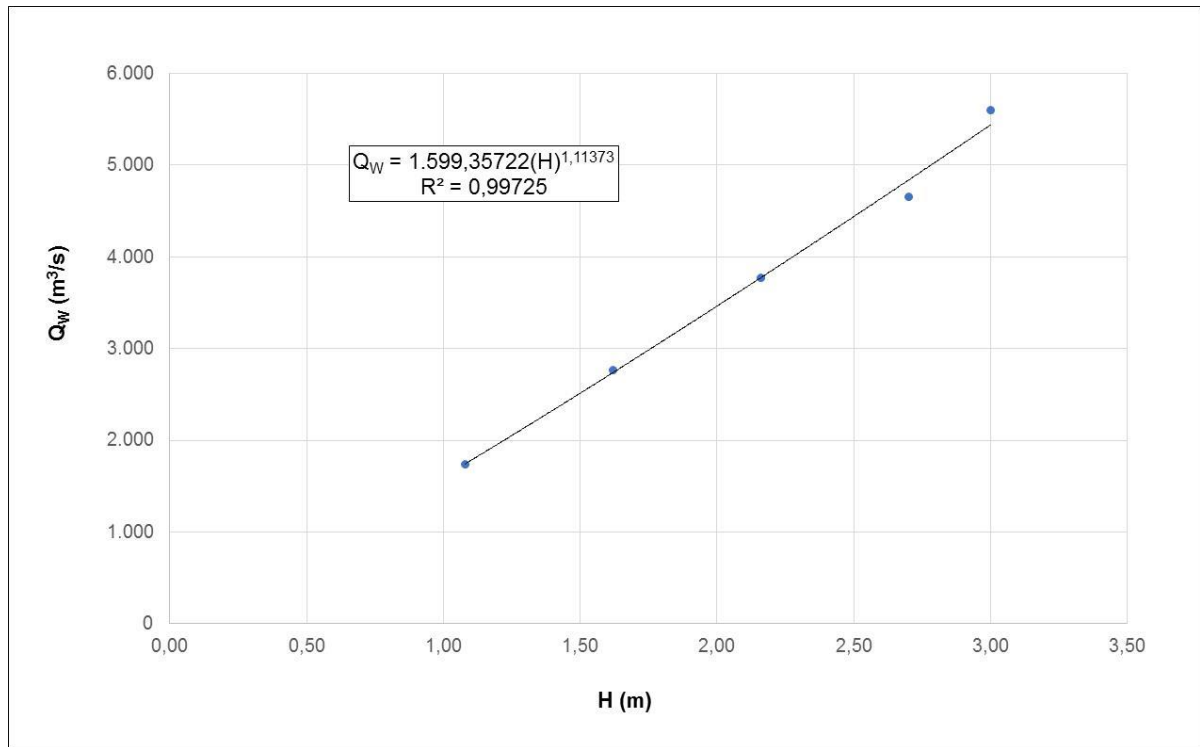


Figura 52 ĩ Curva de vazão do vertedouro em função da carga hidráulica

4.2 DEFINIÇÃO DA CURVA DE OPERAÇÃO DAS COMPORTAS

Com base na Figura 49, foram lidos os valores de vazões para as 8 comportas em operação e extraídos os níveis d'água no reservatório associados, cujos resultados estão consolidados na Tabela 21. A Figura 53 apresenta a curva gerada a partir desses dados.

Tabela 21 ĩ Vazão de operação das 8 comportas abertas

Q _C (m³/s)	NA _{reservatório} (m)	H (m)
0	8,4	4,8
88	8,8	5,2
90	9,2	5,6
96	10,2	6,6
106	11,8	8,2
107	12,0	8,4

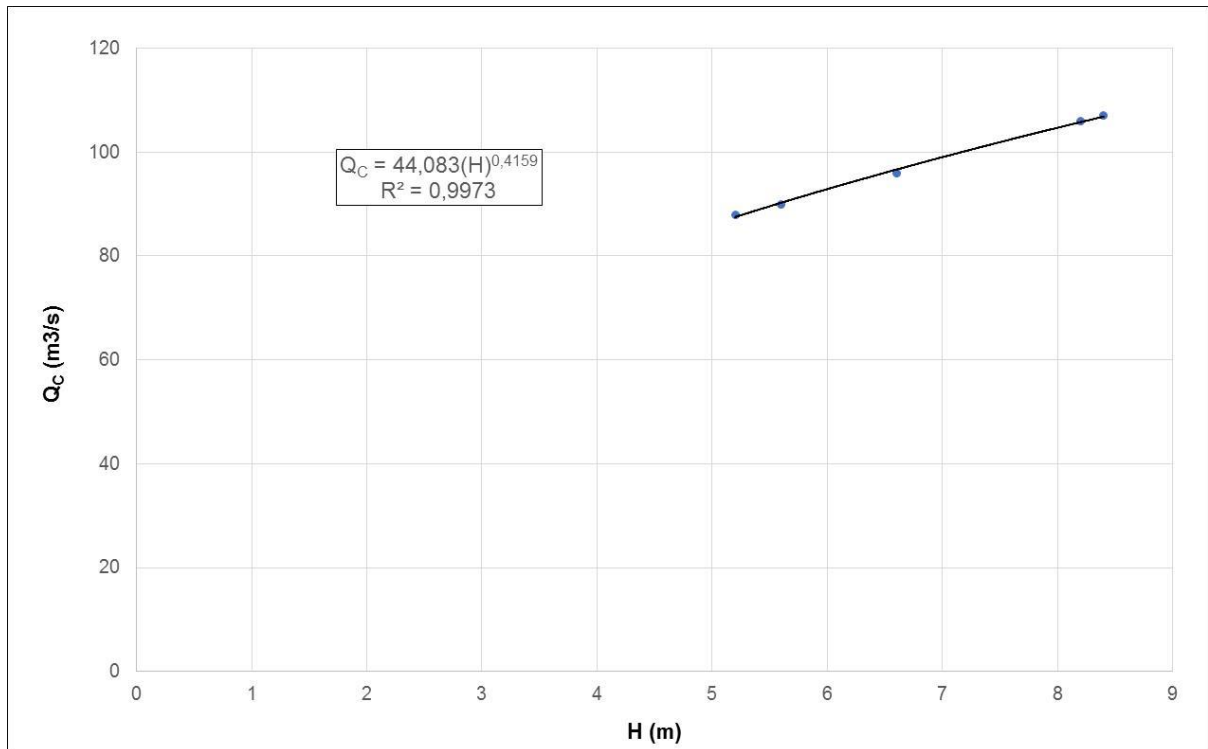


Figura 53 ĩ Curva de operação das comportas

4.3 ESTIMATIVA DO NÍVEL D'ÁGUA NO RESERVATÓRIO

4.3.1 Com comportas completamente fechadas

Com base nos dados da Tabela 20, para cada valor de vazão defluente pelo vertedouro (Q_w) foi associado o valor de nível d'água correspondente, como mostrado na Tabela 22. A curva resultante é apresentada na Figura 54.

Tabela 22 ĩ Vazão de operação das 8 comportas abertas

Q_w (m³/s)	$NA_{\text{reservatório}}$ (m)
0,00	8,40
1.739	9,48
2.763	10,02
3.770	10,56
4.659	11,10
5.600 ⁽¹⁾	11,40 ⁽¹⁾

(1) Projeto da Empresa Engenharia Gallioli Ltda.

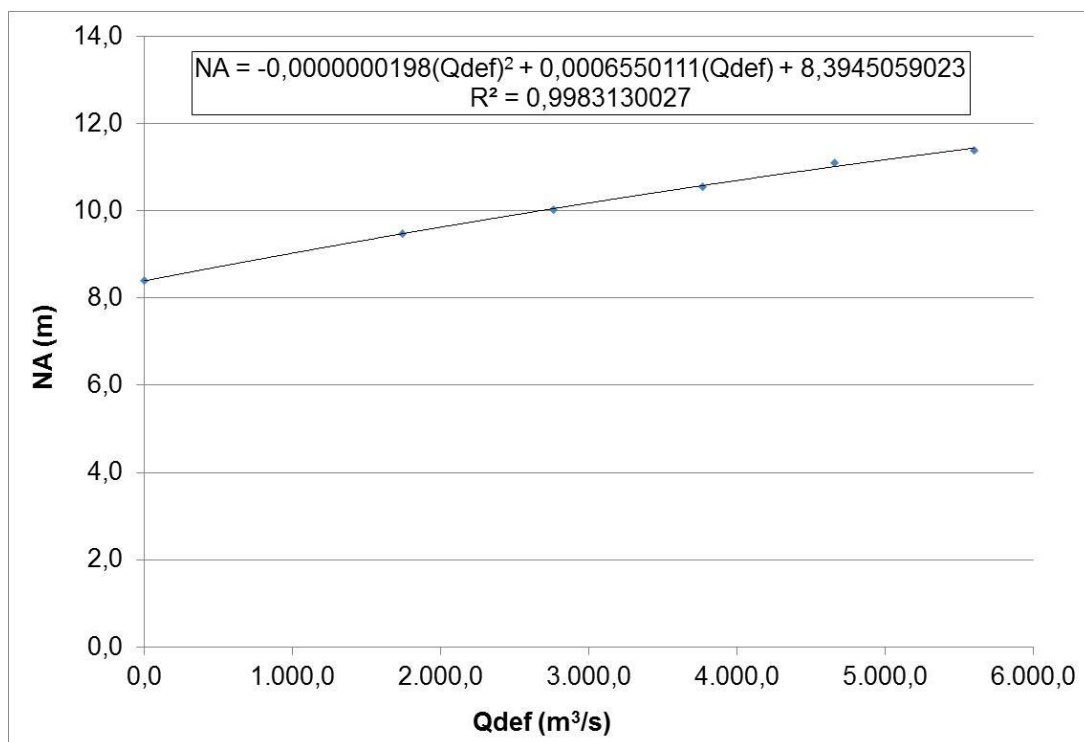


Figura 54 ĩ Curva de vazão defluente *versus* nível d'água no reservatório: sem comportas

4.3.2 Com comportas completamente abertas

Na condição de comportas completamente abertas, foi necessário ajustar uma relação entre a vazão vertida total ($Q_{\text{vertTOTAL}}$) e o nível d'água associado. A Tabela 23 resume os resultados encontrados e a Figura 55 ilustra a curva gerada.

Tabela 23 ĩ Vazão defluente e nível d'água associado

$Q_{\text{vertTOTAL}}$ (m³/s)	$NA_{\text{reservatório}}$ (m)
0,00	8,4
352,46	8,6
663,94	8,8
994,35	9,0
1.337,7	9,2
1.690,9	9,4
2.052,3	9,6
2.420,6	9,8
2.794,9	10,0
4.737,0	11,0
5.743,0	11,5
6.767,5	12,0

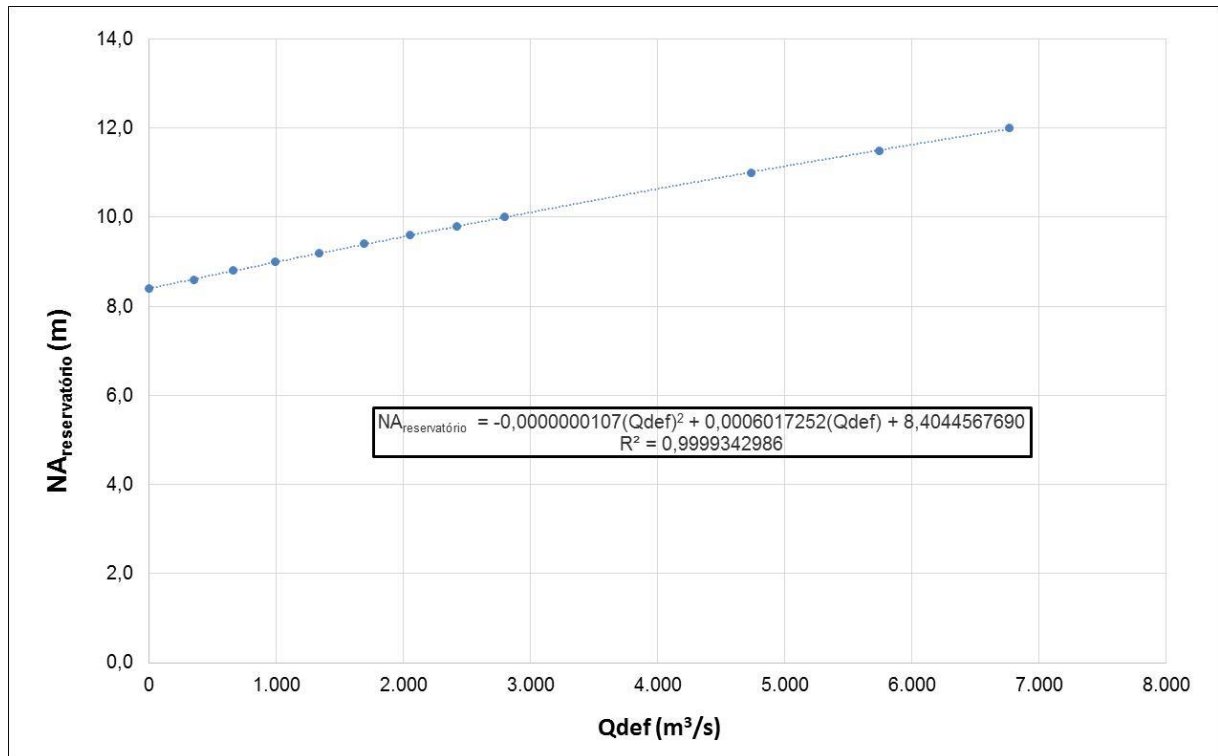


Figura 55 – Curva de vazão defluente *versus* nível d'água no reservatório: com comportas

Ressalta-se que todas as vazões vertidas sejam pelo vertedouro somente (Q_w) ou pelo conjunto vertedouro e comportas ($Q_{vert_{TOTAL}}$) transformam-se em vazões defluentes (Q_{def}).

4.4 LAMINAÇÃO DA VAZÃO DECAMILENAR

Os gráficos e equações das funções armazenamento estão apresentados no **Apêndice D** e os cálculos realizados no processo de laminação da CMP no **Apêndice E**.

Em ambos cenários de comportas totalmente abertas e totalmente fechadas, foi avaliado o efeito de amortecimento para os anos de 2008, 2018, 2023, 2028, 2048 e 2088, levando em consideração a evolução do processo de sedimentação ao longo dos anos no reservatório de Juturnaíba.

As Tabelas 24 e 25 resumem os resultados encontrados. Na primeira, são mostradas as vazões defluentes e na segunda, os níveis d'água máximos alcançados pela passagem da CMP considerando o efeito de amortecimento do reservatório.

Tabela 24 ĩ Resultados da vazão defluente

Laminação de cheia de projeto para TR = 10.000 anos		
Ano	Qdef na condição de comportas fechadas (m ³ /s)	Qdef na condição de comportas abertas (m ³ /s)
2008	2591,70	2623,90
2018	2599,84	2631,70
2023	2622,70	2656,95
2028	2637,05	2672,02
2048	2.711,15	2.891,64
2088	2.913,24	2.973,71

Tabela 25 ĩ Resultados do nível d'água no reservatório

Laminação de cheia de projeto para TR = 10.000 anos		
Ano	NA _{reservatório} na condição de comportas fechadas (m)	NA _{reservatório} na condição de comportas abertas (m)
2008	9,960	9,910
2018	9,970	9,914
2023	9,980	9,928
2028	9,990	9,936
2048	10,030	10,055
2088	10,140	10,099

Da análise da Tabela 25, dado que o nível d'água máximo *maximorum* do reservatório é igual a 11,40 m, como descrito na Tabela 10, no projeto original do vertedouro, provavelmente, por questão de segurança, não foi considerado o efeito de amortecimento, pois conforme os resultados, os níveis d'água máximos do reservatório, a partir da laminação da CMP, variaram entre 9,910 m e 10,140 m, portanto inferiores ao limite de projeto (cota 11,40 m) e à crista da barragem (cota 12,0 m). Assim, pode-se deduzir que não ocorrerá o galgamento da barragem mesmo com a evolução do processo de assoreamento ao longo dos anos.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Durante o levantamento das informações junto ao Arquivo Nacional, foi possível verificar que estão arquivados apenas parte dos documentos referentes ao projeto da barragem, com destaque, principalmente, da ausência dos relatórios de memórias de cálculo, procedimentos e especificações das estruturas hidráulicas e civis. Este fato representa uma dificuldade na recuperação da memória do projeto e na elaboração de um plano de segurança do empreendimento.

Apesar da indisponibilidade de informações detalhadas, foi possível inferir que a vazão de projeto do vertedouro de Juturnaíba corresponde à vazão decamilenar, e, provavelmente, por questão de segurança, não foram considerados os efeitos de amortecimento do reservatório. Por conseguinte, tendo em vista que a crista da barragem está na cota 12,0 m, o risco de galgamento é remoto, mesmo com a evolução do assoreamento, que implica diretamente na redução do volume do reservatório e, consequentemente, na sua capacidade de amortecimento de cheias.

Conclui-se ainda que tanto o potencial quanto a categoria de risco da barragem de Juturnaíba é alto, ressaltando-se ainda que por conta do volume do reservatório, do potencial de perdas de vidas humanas e dos impactos ambientais e sócio-econômicos, os danos potenciais associados também podem ser classificados como altos.

Sugere-se que sejam concentrados esforços em definir ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, através da preparação e treinamento das equipes de Defesa Civil dos municípios do entorno, minimizando os danos sobre o meio ambiente e às populações situadas nos vales a jusante, na eventualidade do rompimento da barragem, uma vez que o galgamento dificilmente ocorrerá.

Nesta pesquisa, não foram abordadas questões sobre a integridade das estruturas civis nem as condições geotécnicas do maciço da barragem. Tendo em vista o estado de conservação deficiente do empreendimento, averiguada em visita de campo realizada em janeiro de 2016, recomenda-se, com urgência, intervenções necessárias e a avaliação da estabilidade dos taludes da barragem de terra.

Recomenda-se também a realização de intervenções nas estruturas de concreto degradadas e recuperação ou instalação de instrumentos que permitam o monitoramento da estabilidade da barragem de terra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, Gilberto Manoel. *Avaliação da viabilidade de implantação de uma microcentral hidrelétrica, para atender consumidores localizados em regiões isoladas*. 2007. 156p. Tese (Doutorado em Agronomia) i Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Relatório de segurança de barragens 2015*. 186p. Brasília: ANA. 2016.
- BARRA DE SÃO JOÃO. *Informações sobre a cidade*. Disponível em: <http://www.barradesaojoao-rj.org/portugues/01_cidade/02_cidade/02_cidade.html>. Acesso em: 29 abr. 2017.
- BORGES, José Bernardino. *Análise do adensamento da fundação da barragem de Juturnaíba*. 1991. 173p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) i Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- BRASIL. Lei 12.334. Política Nacional de Segurança de Barragens. Presidência da República. *Diário Oficial da União*, nº 181, 21 set., Seção 1. Brasília, 2010. pp. 1-3.
- _____. Resolução 143. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, nº 172, 4 set., Seção 1. Brasília, 2012. pp. 149-152.
- CESTÁRI JUNIOR, Euclides. *Estudo de propagação de ondas em planície de inundação para elaboração de plano de ação emergencial de barragens: UHE Três Irmãos estudo de caso*. 2014. 189 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) i Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, SP. 2014.
- CHOW, Ven Te. *Open-channel hydraulics*. Singapore: McGraw-Hill. 2009. 700p.
- CILSJ. Consórcio Intermunicipal Lagos São João i. *Bacias Hidrográficas dos rios São João e das Ostras: águas, terras e conservação ambiental*. Relatório, 192p. 2003. Disponível em: <<http://www.oads.org.br/files/109.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2017.
- _____. *Arquivo Google Earth da Bacia Hidrográfica do Rio São João*. Disponível em: <<http://www.lagossaojoao.org.br/index-1.html>>. Acesso em: 29 abr. 2017.
- COHIDRO. *Serviços de Hidrometria nos rios São João, Capivari e Bacaxá - Levantamentos Batimétricos na Lagoa de Juturnaíba*. Relatório. Rio de Janeiro: COHIDRO Consultoria, Estudos e Projetos Ltda. 2008.
- COSTA, Helder. *Subsídios para gestão dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Macacu, São João, Macaé e Macabu*. 1. ed. Rio de Janeiro: SEMA, 1999.
- COUTINHO, Roberto Quental. *Aterro experimental instrumentado levado à ruptura sobre solos orgânicos-argilas moles da Barragem de Juturnaíba*. 1986. 632p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) i Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil. *Relatório-síntese do trabalho de regionalização de vazões da sub-bacia 59*. 32p. São Paulo, 2002.
- CRUZ, Paulo Teixeira da. *A Barragem de Juturnaíba i Breve história com ilustrações*. Relatório. Rio de Janeiro, 1983. 53p. (Cópia autenticada do Acervo do Arquivo Nacional).

_____. *100 Barragens Brasileiras: Casos Históricos, Materiais de Construção, Projeto*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

CUNHA, Sandra Baptista da. *Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João (Rio de Janeiro-Brasil)*. 1995. 415 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) i Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa. 1995.

DER RJ. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Rio de Janeiro. *Estudo de Chuvas do Estado do Rio de Janeiro*. 61p. Relatório. Rio de Janeiro: DER-RJ, 1989.

DNOS. Departamento Nacional de Obras de Saneamento. *Barragem de Juturnaíba i Modelo de Vertedouro em Zig-Zag i Planta i Seções i Detalhes*. Desenho nº 3479 i Proc. nº 455 i Escala 1:1000. 1979 (Cópia do Acervo do Arquivo Nacional).

ELETOBRAS. Eletrobras Centrais Elétricas Brasileiras SA. *Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores*. 1987. 294p. Manual. Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Engenharia.

_____. *Diretrizes para Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas*. 405p. Manual. Rio de Janeiro: Diretoria de Engenharia. 2000.

ERBISTI, Paulo César Ferreira. *Comportas Hidráulicas*. Rio de Janeiro: Interciência. 2002. 394p.

FERNANDES, Joel da Silva. *Descarregadores com soleira em labirinto: análise dos critérios de dimensionamento*. 2017. 81p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

FONSECA, Paulo Luiz da. *Integração entre modelos de simulação hidrodinâmica e sistemas de informação geográfica i bacias de retenção no controle de cheias urbanas*. 2008. 252p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) i Universidade Federal Fluminense, Niterói.

FONTENELLE, Alexandre de Sousa. *Proposta Metodológica de Avaliação de Riscos em Barragens do Nordeste Brasileiro - Estudo de Caso: Barragens do Estado do Ceará*. 2007. 214p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) i Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

GALIOTTO, Ernesto. *Represa de Juturnaíba i Estoque de abastecimento de água em toda a Região dos Lagos*. Crônica. Disponível em: <<http://www.egaliotto.com.br/2009/>>. Acesso em 19 mar. 2017.

GUMBEL, Emil Julius. The Return Period of Flood Flows. *Ann. Math. Statist.* 12 (1941), nº 2, 163-160. Doi: 10.1214/aoms/1177731747.

ICOLD. International Commission On Large Dams. *Dam Failures Statistical Analysis*. Bulletin 99, Paris. 1995. 76p.

ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. *Unidades de Conservação i Mata Atlântica*. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/mata-atlantica/unidades-de-conservacao-mata-atlantica>>. Acesso em 19 mar. 2017.

KELMAN, Jerson. *Cheias e Aproveitamentos Hidrelétricos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH; Revista Brasileira de Engenharia - RBE, 1987. 175 p.

KOHN, Eduardo. *Vertedor do tipo labirinto*. 2006. 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) i Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

LOPES, João Eduardo Gonçalves; SANTOS, Raquel Chinaglia Pereira. *Capacidade de Reservatórios*. 64p. Apostila, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.leb.esalq.usp.br/disciplinas/Fernando/leb1440/Aula%206/Capacidade%20de%20Reservatorios.pdf>>. Acesso em: 10 de jan. 2017.

MAGALHÃES, Alberto Pinto de. *O Descarregador em Labirinto da Barragem do Dungo*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1981. pp. 499-512.

MELO, José Falcão de; RAMOS, Carlos Matias; MAGALHÃES, Alberto Pinto de. *Descarregadores com Soleira em Labirinto de um ciclo em canais convergentes*. Lisboa, 6º Congresso da água, p.1-13, 2002. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.

NICHELE, Rogério Moraes; JUNG, Jonatan Garrido. Aplicação das matrizes de classificação de risco e dano potencial associado da Lei 12.334 na UHE Itaúba ã Rio Jacuí/RS. In: 15º *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*, 15, 2015, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves: ABGE, 2015. p. 1-10. Disponível em: <<http://cbge2015.hospedagemdesites.ws/trabalhos/trabalhos/284.pdf>>. Acesso em: 10 de jan. 2017.

NORONHA, Gustavo Carneiro de. *Avaliação hídrica do Lago de Juturnaíba como alternativa de abastecimento de água do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro ã COMPERJ*. 2009. 64p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental) ã Laboratório de Tecnologia, Gestão em Negócios e Meio Ambiente, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

NORONHA, Gustavo Carneiro de. *Variação da vazão regularizada em reservatórios em função do volume assoreado, estudo de caso: Lago de Juturnaíba*. 2011. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) ã Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

PCE. Projetos e Consultorias de Engenharia Ltda. *Barragem e Reservatório de Juturnaíba ã Investigações e estudos das condições de segurança e operacionais ã Manual de operação e manutenção ã N° PJ208-RTJUT03*. Relatório. Rio de Janeiro, dezembro de 1997. 23p. Disponível em: < http://www.lagossaojoao.org.br/operacao_barragem_reservatorio_juturnaiba.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2017.

PEREIRA, Geraldo Magela; ROCHA, Othon José; HORA, Antonio Ferreira da. O plano de ação de emergência como ferramenta para redução dos riscos de desastres provocados por rupturas de barragens. In: *I Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres*, 1., 2016, Curitiba: CEPED/PR, UNESPAR e UP, 2016. p. 1-6. Disponível em: <<http://www.defesacivil.uff.br/images/documentos/Congressos/O%20plano%20de%20ao%20de%20emergencia%20como%20ferramenta.%20Magela%20Othon%20e%20Antonio%20da%20Hora%20CBRRD.pdf>>. Acesso em: 02 de fev. 2017.

PORTO, Rodrigo de Melo. *Hidráulica Básica*. São Carlos: EESC/USP, 1998. 540p.

PORTO, Rubem La Laina. *Escoamento Superficial Direto*. In TUCCI; PORTO; BARROS (org.), *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.5). 428p. 1995.

PROLAGOS. *Barragem de Juturnaíba ã Relatório Final*. 81p. Relatório. Rio de Janeiro. 2016.

RAIMUNDO, Ana Paula. *Estruturas hidráulicas utilizadas em reservatórios de controle de cheias*. 2007. 179p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) ã Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

RIO DE JANEIRO (Estado). Secretaria do Ambiente. Instituto Estadual do Ambiente. *Relatório de Vistoria na barragem de Juturnaíba* ï RV 0003/15. Relatório. Rio de Janeiro, 20 de fevereiro de 2015. 6p.

_____. Secretaria do Ambiente. Instituto Estadual do Ambiente. *Relatório de Vistoria conjunta na barragem de Juturnaíba* ï RVC 0010/15. Relatório. Rio de Janeiro, 16 de dezembro de 2015. 9p.

ROCHA, Mônica de Aquino Galeano da Hora; HORA, Mônica de Aquino Galeano Massera da. Crise e escassez da água: A questão da segurança hídrica e a alternativa pela construção de barragens. In: *I Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres*, 1., 2016, Curitiba: CEPED/PR, UNESPAR e UP, 2016. p. 1-7. Disponível em: <<http://www.defesacivil.uff.br/images/documentos/Congressos/Crise%20e%20escassez%20da%20gua%20a%20questo%20da%20segurana%20hdrica.%20Monica%20Rocha%20e%20Monica%20CBRRD.pdf>>. Acesso em: 02 de fev. 2017.

SCHULZ, Edmund Frederick. Problems in Applied Hydrology. *Water Resources Publications*. Colorado, USA. 4th edition. 1976. 500p.

SOUZA, Zulcy de; SANTOS, Afonso Henriques Moreira; BORTONI, Edson da Costa. *Centrais Hidrelétricas: Implantação e Comissionamento*. Rio de Janeiro: Interciência. 484p. 2009.

TDT. Texas Department of Transportation. *Hydraulic Design Manual*. 2016. 505p. Disponível em: <<http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/hyd.pdf>>. Acesso em 05 mai. 2017.

TORRICO, José Jaime Taborga. *Práticas Hidrológicas*. Rio de Janeiro: TRANSCON, 120p. 1975.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. *Hidrologia Ciência e Aplicação*. São Paulo: Edusp/ABRH. 952p. 1993.

_____. *Regionalização de vazões*. Porto Alegre: Editora da UFRGS. 256p. 2002.

USDA-SCS. United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service. National Engineering Handbook. Section 4. Hydrology. Chapter 10: *Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall* and Chapter 21: *Design Hydrographs*. 1972. Disponível em: <<https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/>>. Acesso em: 05 mai. 2017.

VISEU, Maria Teresa; ALMEIDA, António Betâmio de. Gestão do risco nos vales a jusante de barragens. *Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança*, 18, 2011, 33-42. Coimbra, Portugal. Doi: 10.14195/1647-7723_18_3.

ZUFFO, Monica Resio. *Metodologia para avaliação da segurança de barragens*. 2005. 207p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) ï Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. 2005.

Anexo 1

Modelo de Vertedouro em Zig-Zag ã Planta ã seções ã detalhes
março de 1979

Apêndice A

Comparação da $Q_{TR} = 2,33$ anos, calculada a partir da distribuição de probabilidade, com a $Q_{TR} = 2$ anos, estimada a partir da equação de regionalização da CPRM

Série de vazões máximas anuais do posto fluviométrico Correnteças - Nova

Ano	Vazão Máxima Anual (m ³ /s)
1984	73,5
1985	142
1986	142
1987	88,3
1988	205
1989	176
1992	144
1993	72,5
1994	213
1995	162
1996	106
1997	144
2001	197
2002	216
2003	193
2004	241
2005	265
2006	178
2007	131
2008	148
2009	165
Média	162
Tamanho da Série	21
Desvio Padrão	51,9
Assimetria	-0,01

Distribuição de Gumbel:

 $\check{U} = 40,48$ $\mu = 138,65$

TR (anos)	$Q_{TR=2,33}$ (m ³ /s)
2,33	162,1

Equação de regionalização das vazões máximas da CPRM:

$$Q_{TR=2\text{anos}} = 0,9119 \cdot (0,3865 \cdot A^{1,0259})$$

Como a área de drenagem do posto Correnteças ã Nova é igual a 404 km², efetuando-se as devidas substituições, a vazão $Q_{TR=2\text{anos}}$ resulta em 166,3 m³/s. A diferença percentual entre as vazões é inferior a 3%, o que permite validar a equação de regionalização da CPRM para a bacia do rio São João.

Apêndice B

HUT para a vazão $Q_{TR} = 100$ anos para os rios São João, Bacaxá e Capivari

Dados de entrada do HUT

Curso d'água:	Rio São João	
Local:	Barragem de Juturnaíba	
Tempo de Recorrência:	100 anos	
Dado de Entrada	Valor	Unidade
Área de Drenagem	565	km ²
Comprimento do Talvegue	68,0	km
Desnível	788	m
Declividade	0,0116	m/m
Curve Number	60,0	
Retenção Potencial do Solo	169	mm
Duração da Chuva Unitária	1,27	hora
Tempo de Concentração	9,53	hora
Tempo de Ascensão	6,35	hora
Tempo de Base	17,0	hora
Tempo de Recessão	10,6	hora
Vazão de Pico Unitária	18,5	m ³ /s.mm

Chuva efetiva para TR = 100 anos no rio São João na Barragem de Juturnaíba

Tempo (hora)	Intensidade (mm/h)	Chuva Pontual (mm)	Chuva Distribuída (mm)	Chuva Desacumulada (mm)	Chuva Reordenada (mm)	Chuva Acumulada (mm)	Chuva Efetiva (mm)	Chuva Efetiva Desacumulada (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	137,33	68,66	59,36	59,36	1,58	1,58	0,00	0,00
1,00	92,75	92,75	80,19	20,82	1,78	3,36	0,00	0,00
1,50	71,09	106,64	92,20	12,01	2,03	5,39	0,00	0,00
2,00	58,13	116,26	100,51	8,31	2,38	7,77	0,00	0,00
2,50	49,43	123,57	106,84	6,32	2,88	10,65	0,00	0,00
3,00	43,16	129,47	111,93	5,10	3,68	14,33	0,00	0,00
3,50	38,40	134,41	116,20	4,27	5,10	19,43	0,00	0,00
4,00	34,67	138,66	119,88	3,68	8,31	27,74	0,00	0,00
4,50	31,64	142,40	123,11	3,23	20,82	48,57	1,17	1,17
5,00	29,15	145,74	126,00	2,88	59,36	107,93	22,54	21,36
5,50	27,05	148,75	128,61	2,61	12,01	119,94	29,01	6,47
6,00	25,25	151,51	130,99	2,38	6,32	126,27	32,62	3,61
6,50	23,70	154,04	133,18	2,19	4,27	130,54	35,13	2,51
7,00	22,34	156,39	135,21	2,03	3,23	133,77	37,07	1,94
7,50	21,14	158,58	137,11	1,90	2,61	136,38	38,66	1,59
8,00	20,08	160,64	138,88	1,78	2,19	138,57	40,00	1,35
8,50	19,13	162,57	140,56	1,67	1,90	140,46	41,18	1,18
9,00	18,27	164,40	142,14	1,58	1,67	142,14	42,23	1,05
9,50	17,49	166,14	143,64	1,50	1,50	143,64	43,17	0,94

Dados de entrada do HUT

Curso d'água:	Rio Capivari	
Local:	Barragem de Juturnaíba	
Tempo de Recorrência:	100 anos	
Dado de Entrada	Valor	Unidade
Área de Drenagem	220,40	km ²
Comprimento do Talvegue	21,00	km
Desnível	388,00	m
Declividade	0,02	m/m
Curve Number	49,00	
Retenção Potencial do Solo	264,37	mm
Duração da Chuva Unitária	0,43	hora
Tempo de Concentração	3,22	hora
Tempo de Ascensão	2,15	hora
Tempo de Base	5,73	hora
Tempo de Recessão	3,59	hora
Vazão de Pico Unitária	21,34	m ³ /s.mm

Chuva efetiva para TR = 100 anos no rio Capivari na Barragem de Juturnaíba

Tempo (hora)	Intensidade (mm/h)	Chuva Pontual (mm)	Chuva Distribuída (mm)	Chuva Desacumulada (mm)	Chuva Reordenada (mm)	Chuva Acumulada (mm)	Chuva Efetiva (mm)	Chuva Efetiva Desacumulada (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	137,33	68,66	62,17	62,17	3,85	3,85	0,00	0,00
1,00	92,75	92,75	83,98	21,81	5,34	9,19	0,00	0,00
1,50	71,09	106,64	96,56	12,58	8,70	17,90	0,00	0,00
2,00	58,13	116,26	105,27	8,70	21,81	39,71	0,00	0,00
2,50	49,43	123,57	111,89	6,62	62,17	101,88	7,66	7,66
3,00	43,16	129,47	117,23	5,34	12,58	114,46	11,64	3,97
3,50	38,40	134,41	121,70	4,47	6,62	121,08	13,99	2,35
4,00	34,67	138,66	125,55	3,85	4,47	125,55	15,67	1,68

Dados de entrada do HUT

Curso d'água:	Rio Bacaxá	
Local:	Barragem de Juturnaíba	
Tempo de Recorrência:	100 anos	
Dado de Entrada	Valor	Unidade
Área de Drenagem	545,50	km ²
Comprimento do Talvegue	33,70	km
Desnível	788,00	m
Declividade	0,02	m/m
Curve Number	54,00	
Retenção Potencial do Solo	216,37	mm
Duração da Chuva Unitária	0,56	hora
Tempo de Concentração	4,24	hora
Tempo de Ascensão	2,82	hora
Tempo de Base	7,54	hora
Tempo de Recessão	4,72	hora
Vazão de Pico Unitária	40,19	m ³ /s.mm

Chuva efetiva para TR = 100 anos no rio Bacaxá na Barragem de Juturnaíba

Tempo (hora)	Intensidade (mm/h)	Chuva Pontual (mm)	Chuva Distribuída (mm)	Chuva Desacumulada (mm)	Chuva Reordenada (mm)	Chuva Acumulada (mm)	Chuva Efetiva (mm)	Chuva Efetiva Desacumulada (mm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	137,33	68,66	59,47	59,47	3,68	3,68	0,00	0,00
1,00	92,75	92,75	80,33	20,86	5,11	8,79	0,00	0,00
1,50	71,09	106,64	92,36	12,03	8,33	17,12	0,00	0,00
2,00	58,13	116,26	100,69	8,33	20,86	37,98	0,00	0,00
2,50	49,43	123,57	107,03	6,34	59,47	97,45	10,85	10,85
3,00	43,16	129,47	112,13	5,11	12,03	109,48	15,51	4,66
3,50	38,40	134,41	116,41	4,28	6,34	115,82	18,22	2,70
4,00	34,67	138,66	120,10	3,68	4,28	120,10	20,13	1,91

Vazão afluyente para TR = 100 anos resultante da composição dos hidrogramas dos rios São João, Capivari e Bacaxá

Δt (hora)	Qafl Rio São João (m³/s)	Qafl Rio Capivari (m³/s)	Qafl Rio Bacaxá (m³/s)	Qafl_{TOTAL}(m³/s)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	0,0	0,0	0,0	0,0
2,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,5	0,0	38,1	77,2	115,3
3,0	0,0	95,9	187,6	283,5
3,5	0,0	165,4	317,2	482,7
4,0	0,0	243,3	460,5	703,8
4,5	1,7	278,3	603,8	883,7
5,0	34,6	273,0	703,4	1.011,0
5,5	76,8	245,3	704,5	1.026,6
6,0	124,3	202,6	660,4	987,4
6,5	175,5	156,0	588,7	920,2
7,0	229,6	109,4	502,9	841,8
7,5	285,9	62,7	417,1	765,7
8,0	344,2	28,2	331,3	703,7
8,5	404,2	10,6	245,5	660,4
9,0	465,7	2,4	159,8	627,8
9,5	528,6	0,0	74,0	602,6
10,0	591,5		30,9	622,4
10,5	653,6		9,7	663,3
11,0	698,0		0,6	698,7
11,5	685,3		0,0	685,3
12,0	672,5			672,5
12,5	654,5			654,5
13,0	632,1			632,1
13,5	604,8			604,8
14,0	556,7			556,7
14,5	518,8			518,8
15,0	480,9			480,9
15,5	441,6			441,6
16,0	401,4			401,4
16,5	362,4			362,4
17,0	323,6			323,6
17,5	284,9			284,9
18,0	242,3			242,3
18,5	131,7			131,7
19,0	91,6			91,6
19,5	66,9			66,9
20,0	49,1			49,1
20,5	35,5			35,5
21,0	24,7			24,7
21,5	16,2			16,2
22,0	9,4			9,4
22,5	4,1			4,1
23,0	0,0			0,0
Q_{TR} = 100 anos				1026,6

Apêndice C

HUT para a vazão $Q_{TR} = 10.000$ anos para os rios São João, Bacaxá e Capivari

HUT para QTR = 10.000 anos no rio São João na Barragem de Juturnaíba

qt (hora)	Q _{HUT} (m³/s.mm)																							Qaf (m³/s)				
0,0	0,0	0,0																										0,0
0,5	1,5	0,0	0,0																									0,0
1,0	2,9	0,0	0,0	0,0																								0,0
1,5	4,4	0,0	0,0	0,0	0,0																							0,0
2,0	5,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0																						0,0
2,5	7,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0																					0,0
3,0	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0																				0,0
3,5	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0																		0,5
4,0	11,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	4,3	0,0																	5,2
4,5	13,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	8,6	24,7	0,0																34,7
5,0	14,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8	12,9	49,4	123,6	0,0															187,7
5,5	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3	17,1	74,1	247,1	29,8	0,0														370,5
6,0	17,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,8	21,4	98,9	370,7	59,5	16,1	0,0													569,3
6,5	18,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	25,7	123,6	494,2	89,3	32,1	11,0	0,0												779,1
7,0	17,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	30,0	148,3	617,8	119,0	48,2	21,9	8,4	0,0											997,3
7,5	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	34,3	173,0	741,4	148,8	64,2	32,9	16,7	6,8	0,0										1.222,2
8,0	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	38,6	197,7	864,9	178,5	80,3	43,9	25,1	13,6	5,7	0,0									1.452,9
8,5	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	42,9	222,4	988,5	208,3	96,3	54,9	33,5	20,4	11,5	5,0	0,0								1.688,6
9,0	13,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	47,1	247,2	1.112,0	238,1	112,4	65,8	41,8	27,2	17,2	10,0	4,4	0,0							1.928,7
9,5	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	51,4	271,9	1.235,6	267,8	128,4	76,8	50,2	33,9	22,9	14,9	8,8	4,0							2.172,5
10,0	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	53,7	296,6	1.359,2	297,6	144,5	87,8	58,6	40,7	28,7	19,9	13,2	7,9							2.413,7
10,5	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,2	51,1	309,6	1.482,7	327,3	160,5	98,7	66,9	47,5	34,4	24,9	17,6	11,9							2.638,5
11,0	10,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	48,5	294,8	1.547,8	357,1	176,6	109,7	75,3	54,3	40,1	29,9	22,0	15,8							2.776,9
11,5	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,7	46,0	280,0	1.473,8	372,7	192,6	120,7	83,7	61,1	45,9	34,8	26,4	19,8							2.762,2
12,0	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,4	43,4	265,2	1.399,8	354,9	201,1	131,7	92,0	67,9	51,6	39,8	30,8	23,8							2.706,4
12,5	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	40,9	250,4	1.325,8	337,1	191,5	137,4	100,4	74,7	57,3	44,8	35,2	27,7							2.627,4
13,0	6,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,8	38,3	235,6	1.251,9	319,3	181,8	130,9	104,8	81,5	63,1	49,8	39,6	31,7							2.532,0
13,5	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	35,7	220,8	1.177,9	301,5	172,2	124,3	99,8	85,1	68,8	54,7	44,0	35,6							2.424,0
14,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	33,2	206,0	1.103,9	283,7	162,6	117,7	94,8	81,0	71,8	59,7	48,4	39,6							2.305,7
14,5			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	30,6	191,2	1.029,9	265,8	153,0	111,2	89,8	76,9	68,4	62,3	52,9	43,5							2.178,5
15,0				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	28,0	176,4	955,9	248,0	143,4	104,6	84,8	72,9	64,9	59,3	55,2	47,5							2.043,7
15,5					0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	25,5	161,6	881,9	230,2	133,8	98,0	79,8	68,8	61,5	56,4	52,5	49,6							1.902,0
16,0						0,0	0,0	0,0	2,2	22,9	146,8	807,9	212,4	124,2	91,4	74,7	64,7	58,1	53,4	49,9	47,2							1.755,9
16,5							0,0	0,0	1,9	20,3	132,0	733,9	194,6	114,6	84,9	69,7	60,7	54,6	50,4	47,3	44,9							1.609,7
17,0								0,0	1,8	17,8	117,2	659,9	176,7	105,0	78,3	64,7	56,6	51,2	47,4	44,6	42,5							1.462,0
17,5									0,0	102,4	586,0	158,9	95,3	71,7	59,7	52,5	47,8	44,4	42,0	40,1								1.300,9
18,0											0,0	512,0	141,1	85,7	65,2	54,7	48,5	44,4	41,5	39,3	37,7							1.070,1
18,5												0,0	123,3	76,1	58,6	49,7	44,4	40,9	38,5	36,7	35,4							503,6
19,0													0,0	66,5	52,0	44,7	40,3	37,5	35,5	34,1	33,0							343,6
19,5														0,0	45,5	39,7	36,3	34,1	32,5	31,4	30,6							250,0
20,0															0,0	34,7	32,2	30,6	29,6	28,8	28,3							184,1
20,5																0,0	28,1	27,2	26,6	26,2	25,9							133,9
21,0																	0,0	23,8	23,6	23,5	23,5							94,4
21,5																		0,0	20,6	20,9	21,1							62,6
22,0																			0,0	18,2	18,8							37,0
22,5																				0,0	16,4							16,4
23,0																				0,0	0,0							0,0
Q _{TR} = 10.000 ANOS																							2.776,9					

HUT para QTR = 10.000 anos no rio Capivari na Barragem de Juturnaíba										
Δt (hora)	Q _{HUT} (m ³ /s.mm)									Q _{af} (m ³ /s)
0,00	0,00	0,00								0,00
0,50	4,97	0,00	0,00							0,00
1,00	9,94	0,00	0,00	0,00						0,00
1,50	14,91	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00
2,00	19,88	0,00	0,00	0,00	16,79	0,00				16,79
2,50	19,25	0,00	0,00	0,00	33,58	295,02	0,00			328,60
3,00	16,27	0,00	0,00	0,00	50,38	590,04	85,31	0,00		725,73
3,50	13,30	0,00	0,00	0,00	67,17	885,05	170,63	47,12	0,00	1.169,97
4,00	10,32	0,00	0,00	0,00	65,05	1.180,07	255,94	94,23	32,58	1.627,88
4,50	7,35	0,00	0,00	0,00	54,99	1.142,81	341,26	141,35	65,17	1.745,57
5,00	4,37	0,00	0,00	0,00	44,94	966,15	330,48	188,46	97,75	1.627,79
5,50	1,40	0,00	0,00	0,00	34,88	789,49	279,39	182,51	130,34	1.416,62
6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,83	612,84	228,31	154,30	126,22	1.146,49
6,50		0,00	0,00	0,00	14,77	436,18	177,22	126,09	106,71	860,97
7,00			0,00	0,00	4,72	259,52	126,14	97,87	87,20	575,45
				0,00	0,00	82,86	75,05	69,66	67,69	295,26
					0,00	0,00	23,96	41,45	48,18	113,59
						0,00	0,00	13,23	28,66	41,90
							0,00	0,00	9,15	9,15
								0,00	0,00	0,00
Q _{TR} = 10.000 ANOS										1.745,6

HUT para QTR = 10.000 anos no rio Bacaxá na Barragem de Juturnaíba

[illegible]

Vazão afluyente para TR = 10.000 anos resultante da composição dos hidrogramas dos rios São João, Capivari e Bacaxá

qt (hora)	Qafl Rio São João (m³/s)	Qafl Rio Capivari (m³/s)	Qafl Rio Bacaxá (m³/s)	Qafl_{TOTAL} (m³/s)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	0,0	0,0	0,0	0,0
2,0	0,0	16,8	39,5	56,3
2,5	0,0	328,6	543,3	871,9
3,0	0,0	725,7	1.174,1	1.899,8
3,5	0,5	1.170,0	1.874,5	3.044,9
4,0	5,2	1.627,9	2.622,8	4.255,9
4,5	34,7	1.745,6	3.348,8	5.129,0
5,0	187,7	1.627,8	3.771,8	5.587,2
5,5	370,5	1.416,6	3.642,9	5.430,0
6,0	569,3	1.146,5	3.343,4	5.059,2
6,5	779,1	861,0	2.944,9	4.585,0
7,0	997,3	575,4	2.496,8	4.069,5
7,5	1.222,2	295,3	2.048,7	3.566,2
8,0	1.452,9	113,6	1.600,6	3.167,1
8,5	1.688,6	41,9	1.152,5	2.883,0
9,0	1.928,7	9,2	704,4	2.642,3
9,5	2.172,5	0,0	278,2	2.450,7
10,0	2.413,7		110,4	2.524,1
10,5	2.638,5		34,1	2.672,6
11,0	2.776,9		2,2	2.779,1
11,5	2.762,2		0,0	2.762,2
12,0	2.706,4			2.706,4
12,5	2.627,4			2.627,4
13,0	2.532,0			2.532,0
13,5	2.424,0			2.424,0
14,0	2.305,7			2.305,7
14,5	2.178,5			2.178,5
15,0	2.043,7			2.043,7
15,5	1.902,0			1.902,0
16,0	1.755,9			1.755,9
16,5	1.609,7			1.609,7
17,0	1.462,0			1.462,0
17,5	1.300,9			1.300,9
18,0	1.070,1			1.070,1
18,5	503,6			503,6
19,0	343,6			343,6
19,5	250,0			250,0
20,0	184,1			184,1
20,5	133,9			133,9
21,0	94,4			94,4
21,5	62,6			62,6
22,0	37,0			37,0
22,5	16,4			16,4
23,0	0,0			0,0
Q_{TR} = 10.000 ANOS				5.587,2

Apêndice D

Curvas da função armazenamento para os anos de 2008 a 2088

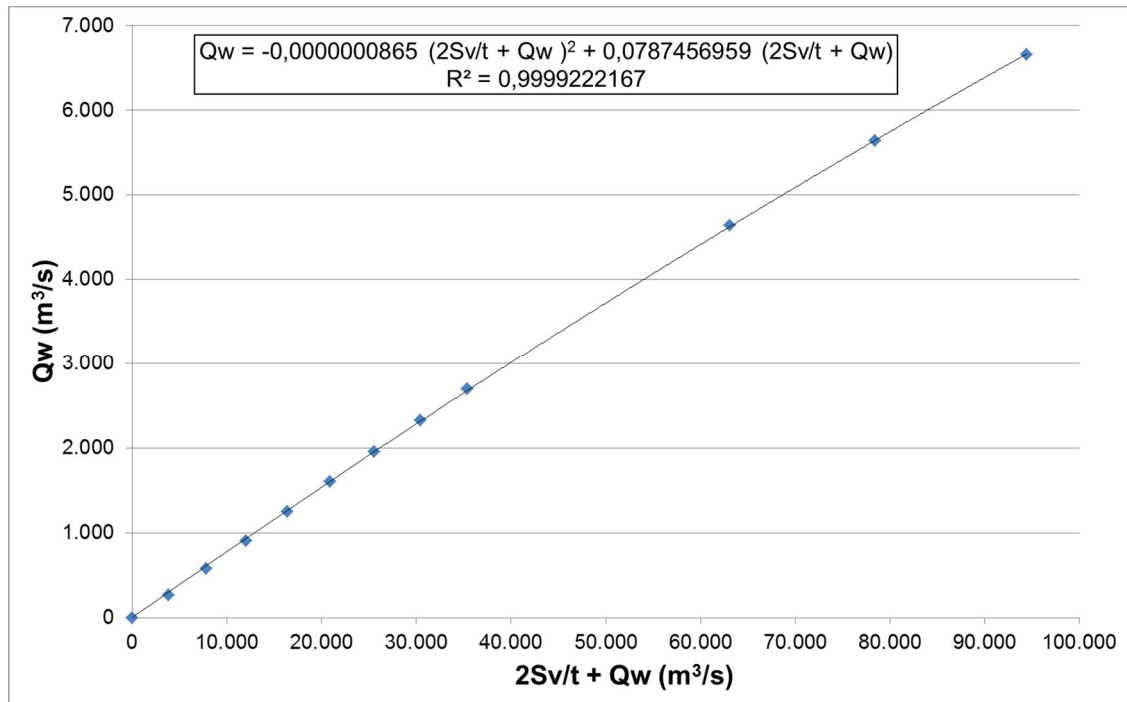


Figura B1 - Função Armazenamento versus Vazão no vertedouro para o ano 2008: sem comportas

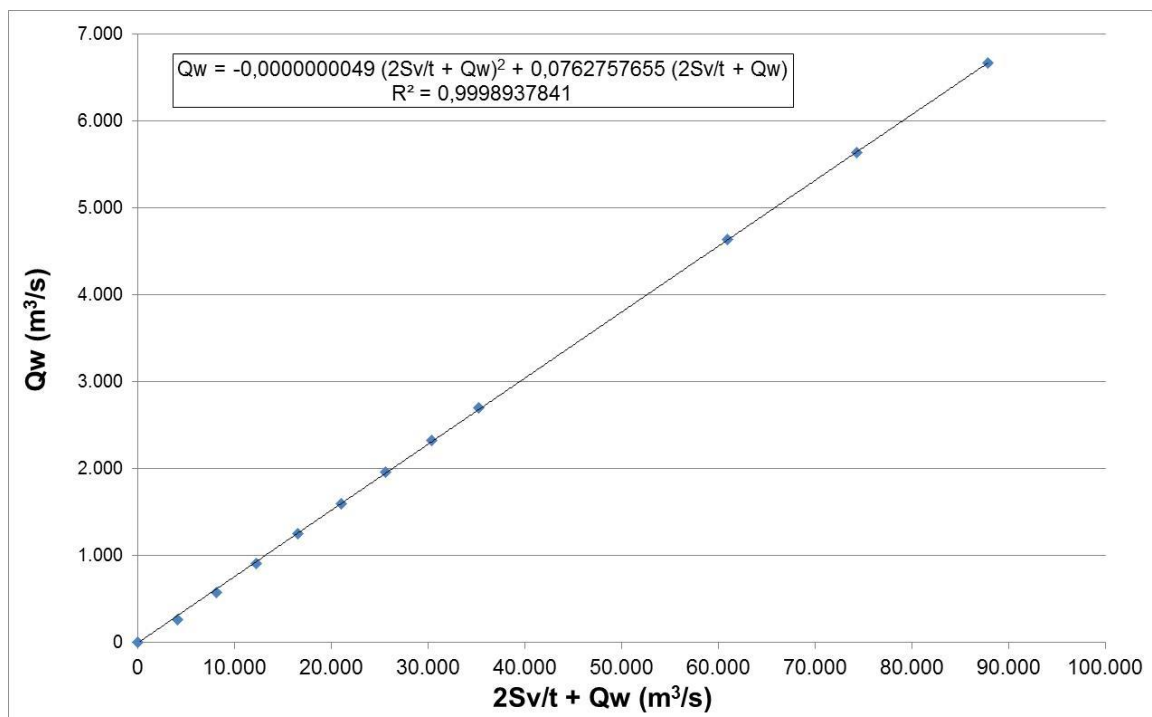


Figura B2 - Função Armazenamento versus Vazão no vertedouro para o ano 2018: sem comportas

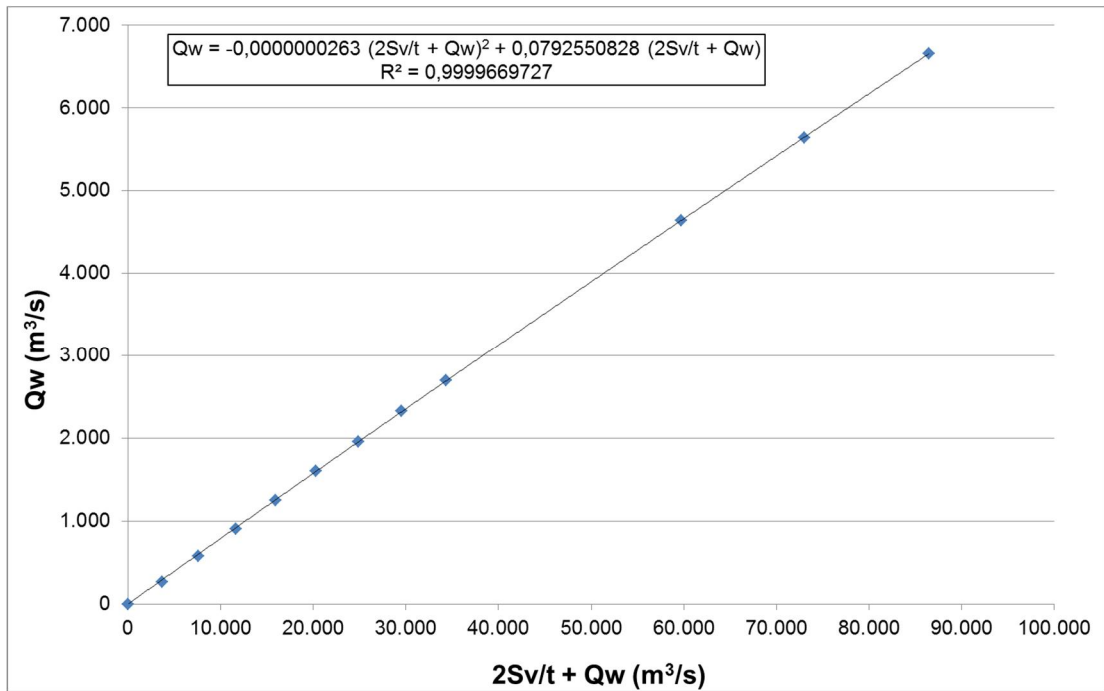


Figura B3 - Função Armazenamento versus Vazão no vertedouro para o ano 2023: sem comportas

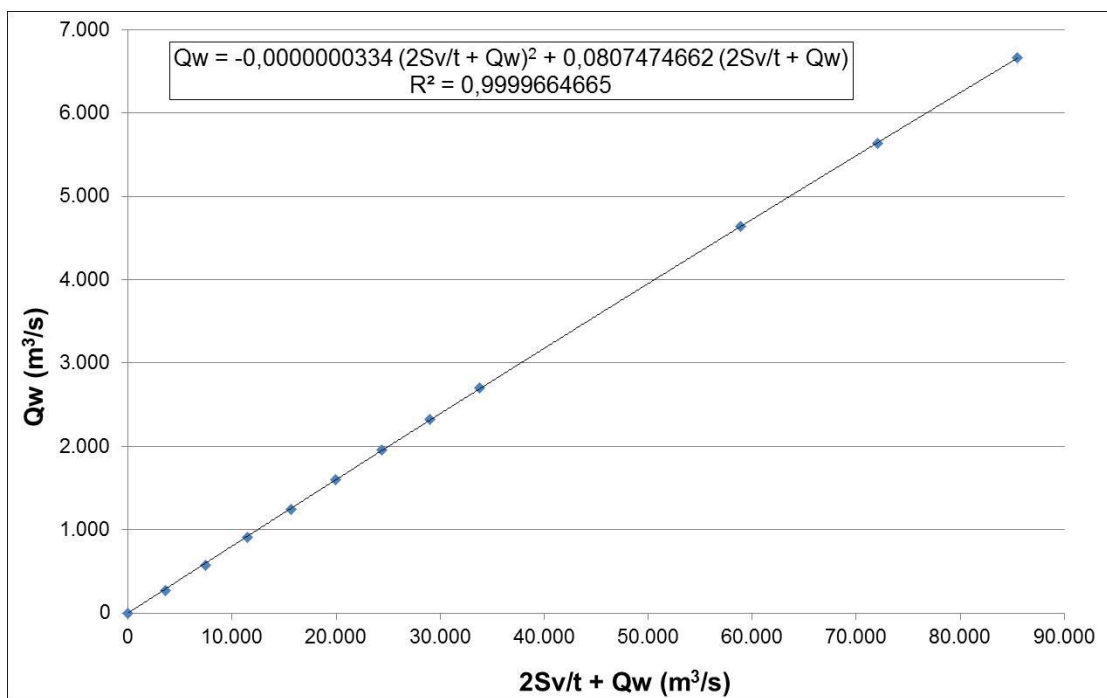


Figura B4 - Função Armazenamento versus Vazão no vertedouro para o ano 2028: sem comportas

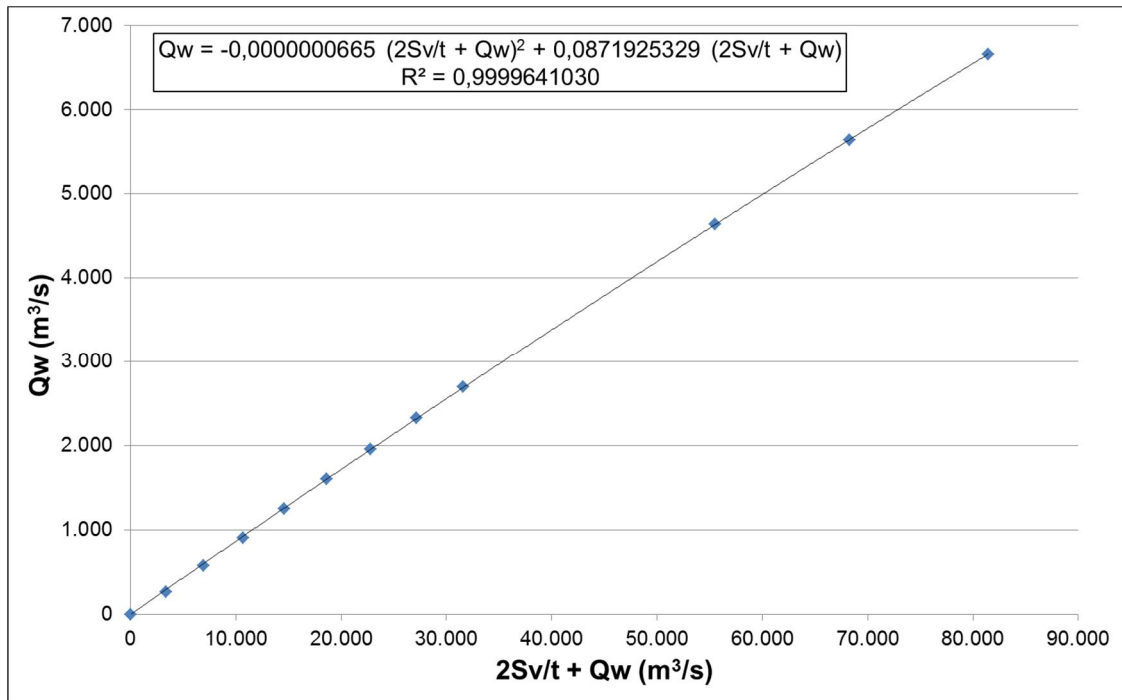


Figura B5 - Função Armazenamento versus vazão no vertedouro para o ano 2048: sem comportas

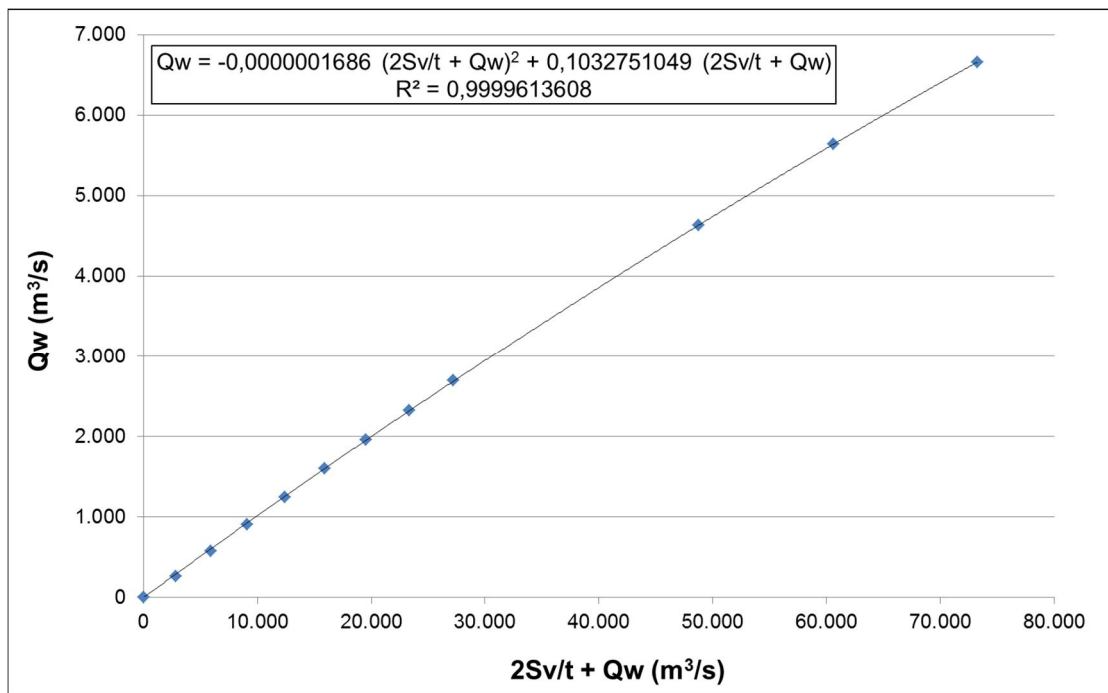


Figura B6 - Função Armazenamento versus vazão no vertedouro para o ano 2088: sem comportas

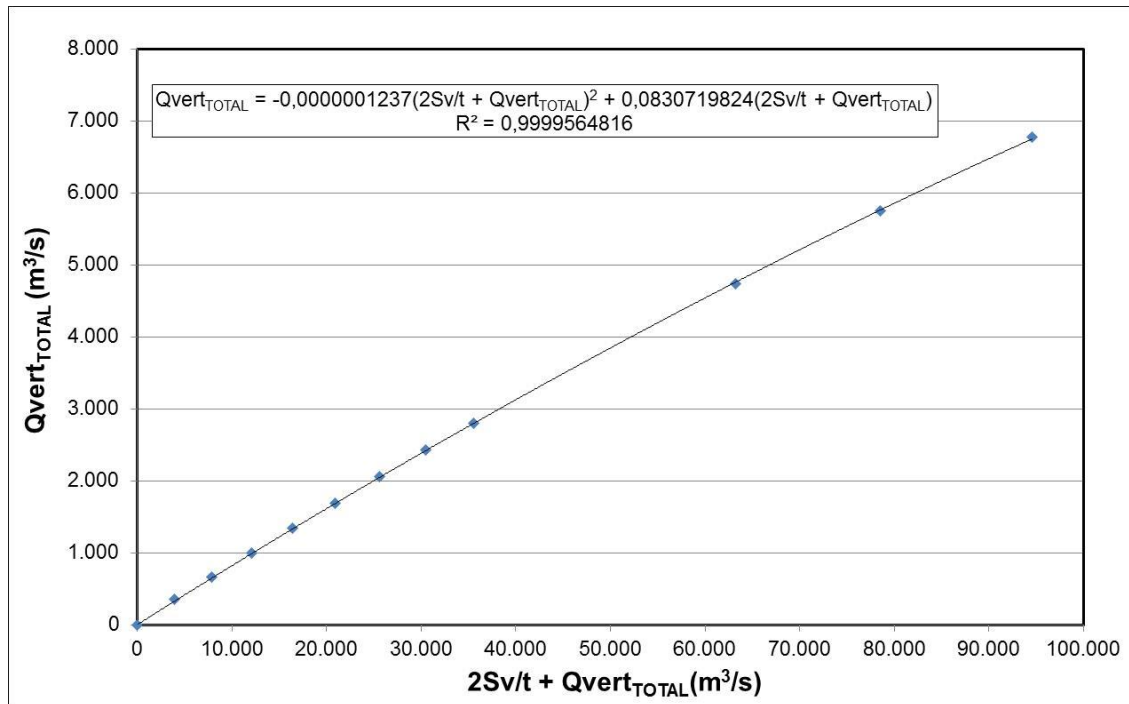


Figura B7 - Função Armazenamento versus Vazão no vertedouro para o ano 2008: com comportas

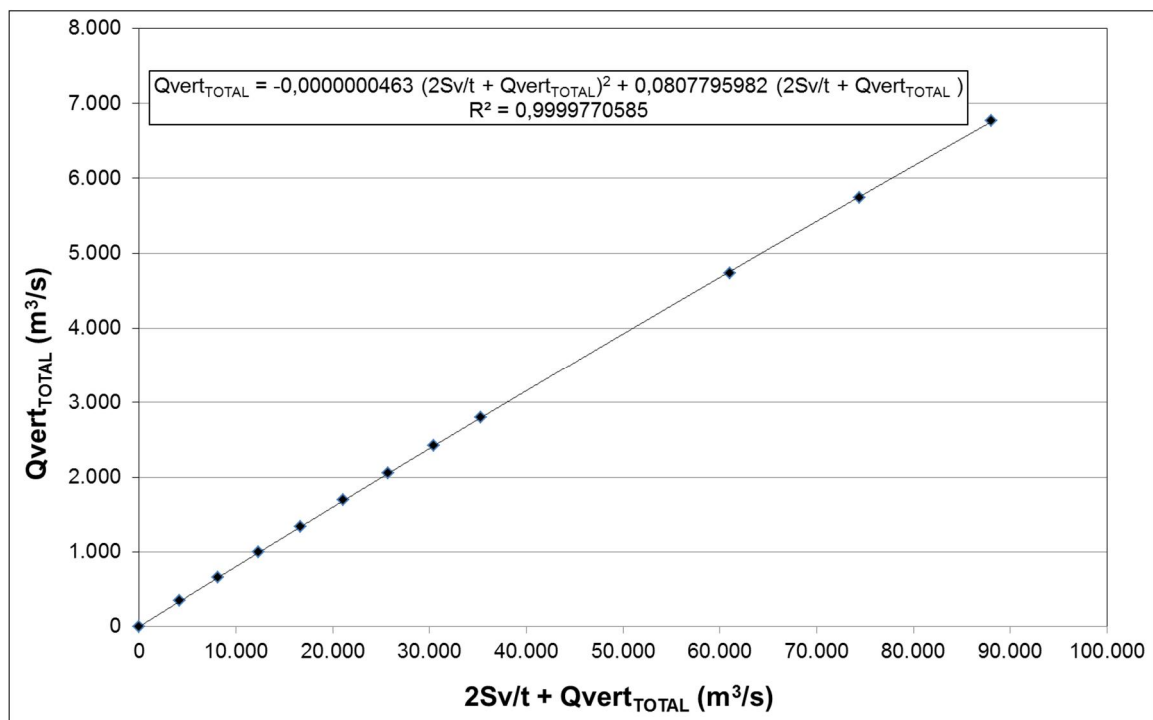


Figura B8 - Função Armazenamento versus Vazão no vertedouro para o ano 2018: com comportas

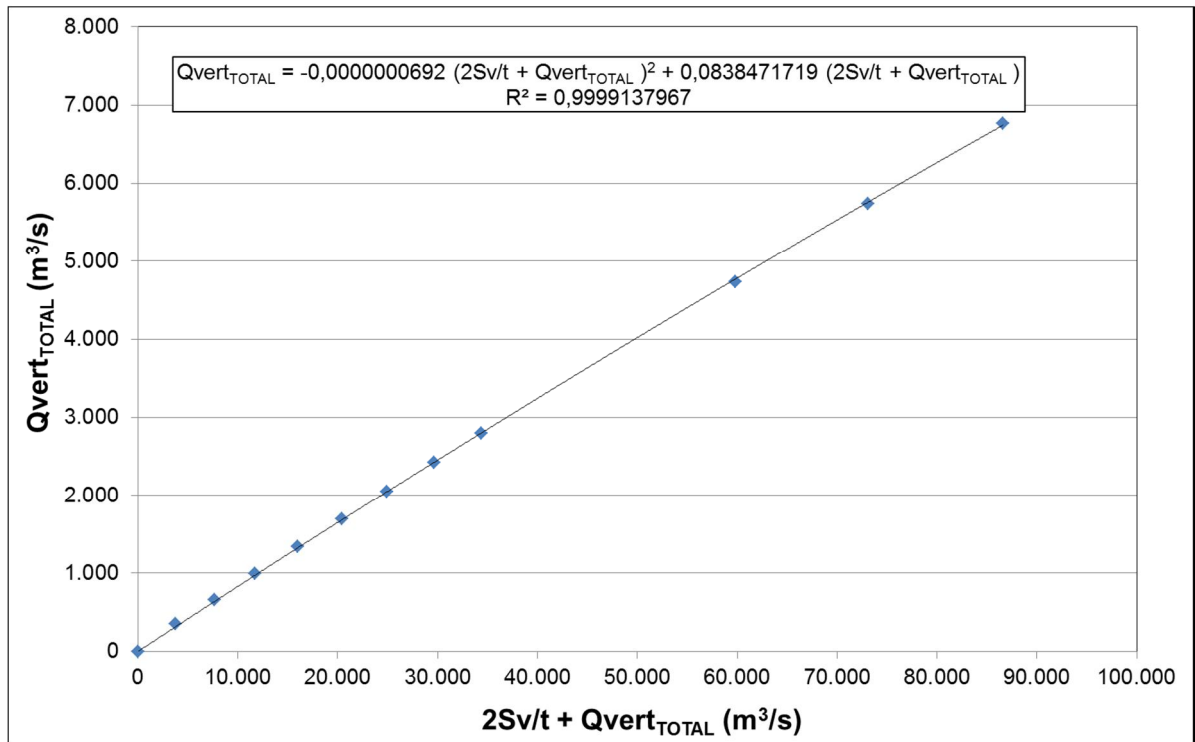


Figura B9 - Função Armazenamento versus Vazão no vertedouro para o ano 2023: com comportas

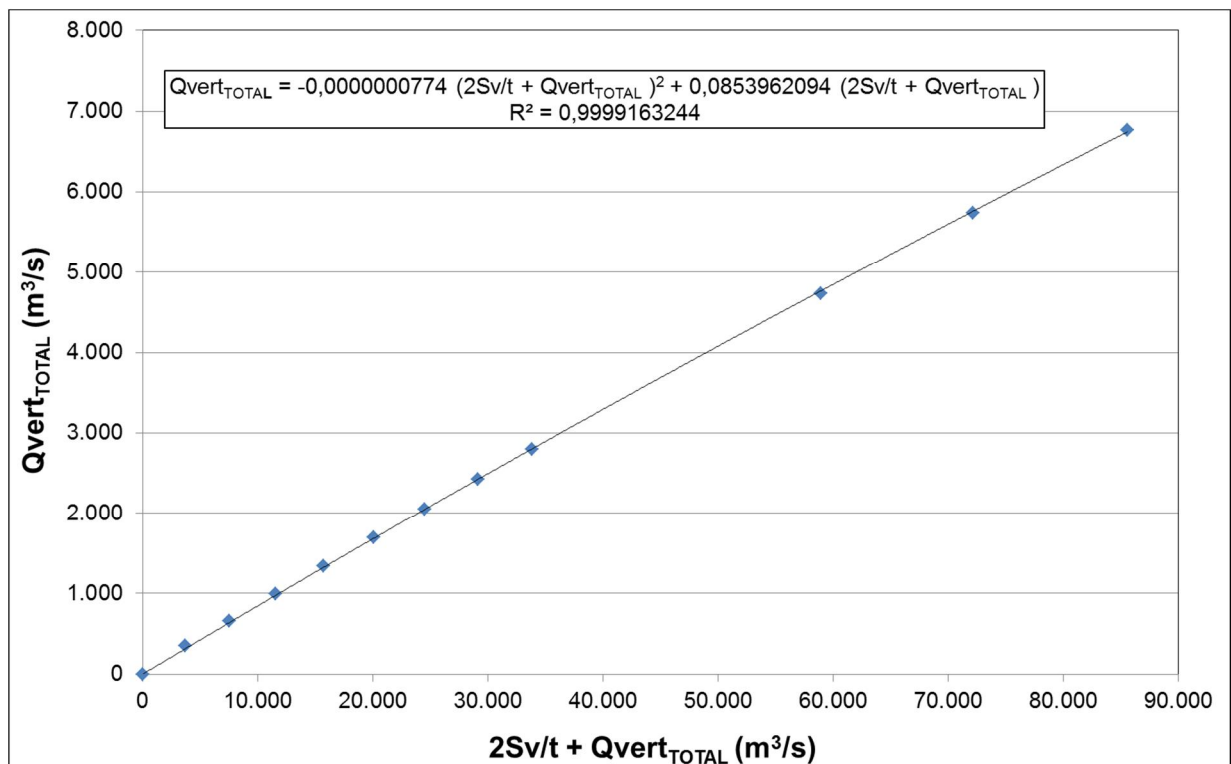


Figura B10 - Função Armazenamento versus Vazão no vertedouro para o ano 2028: com comportas

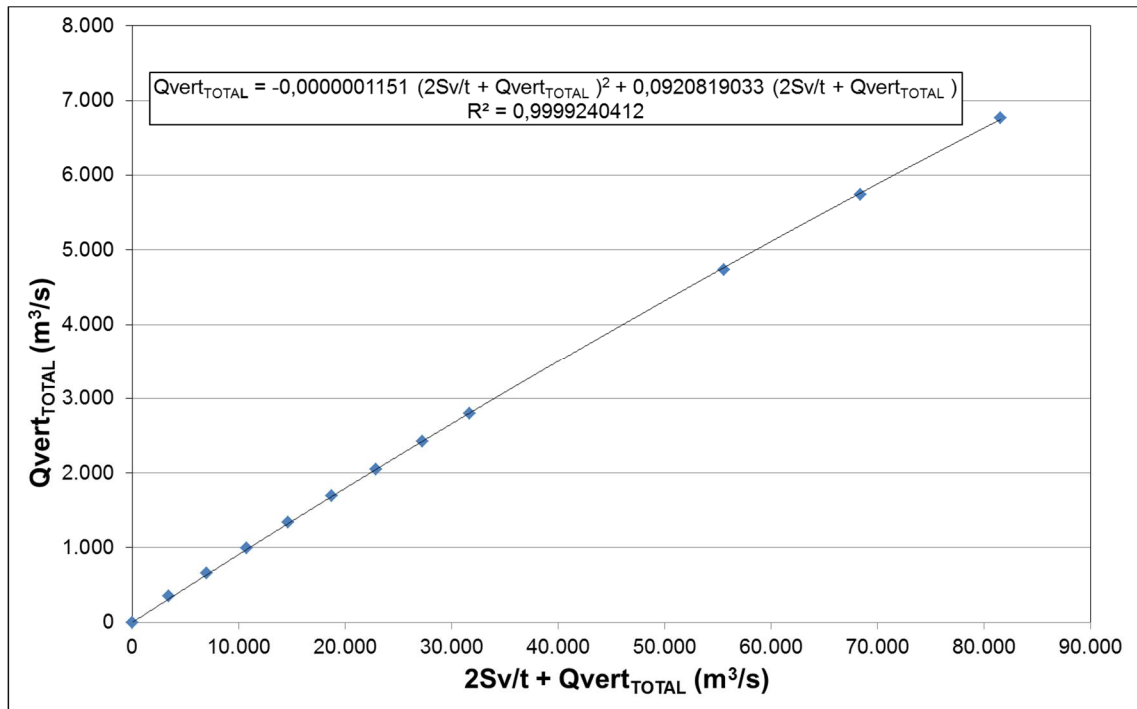


Figura B11 - Função Armazenamento versus vazão no vertedouro para o ano 2048: com comportas

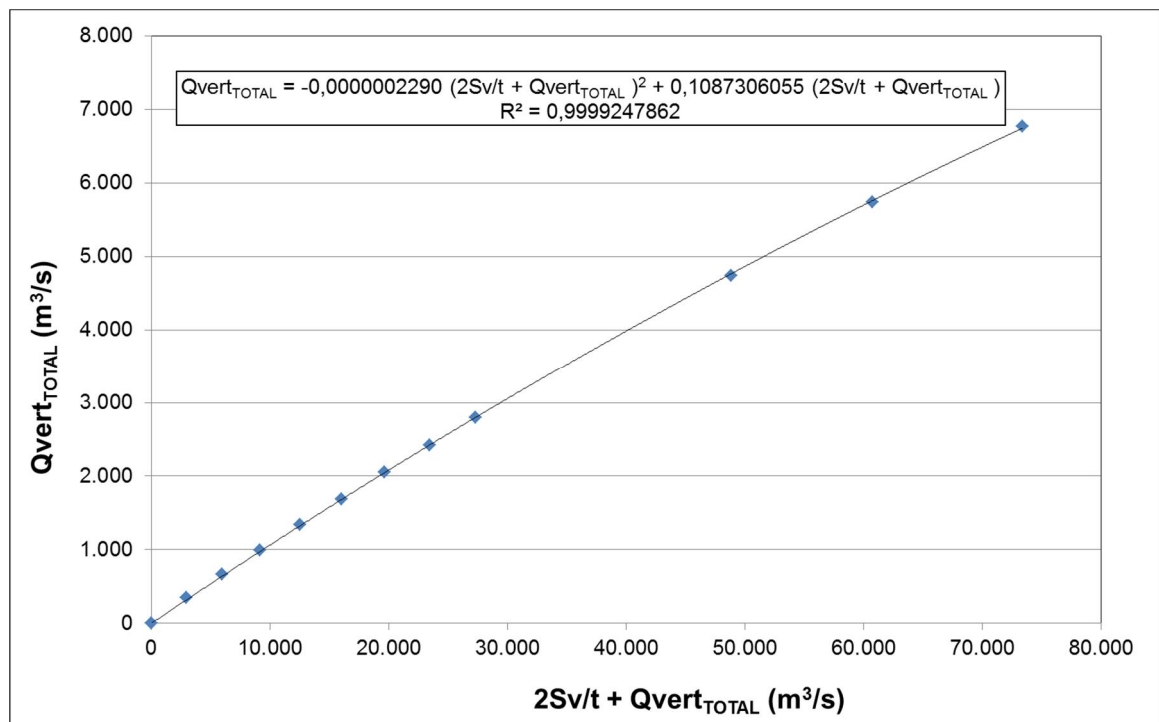


Figura B12 - Função Armazenamento versus vazão no vertedouro para o ano 2088: com comportas

Apêndice E

Laminação de Cheia de Projeto para TR = 10.000 anos

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2008: sem comportas i 1º etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	S _v (m³)	SVT (m³)	SVT' (m³/s)	(2S _v)/t (m³/s)	(2S _v /t) + Q _w (m³/s)
8,40	0,00	0,00	23.345.489	0,00	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	26.535.677	3.190.188	886,16	3.544,7	3.811,0
8,80	0,40	576,4	29.864.884	6.519.395	1.810,9	7.243,8	7.820,2
9,00	0,60	905,5	33.331.885	9.986.396	2.774,0	11.096	12.001
9,20	0,80	1.247,4	36.937.201	13.591.712	3.775,5	15.102	16.349
9,40	1,00	1.599,4	40.682.637	17.337.148	4.815,9	19.263	20.863
9,60	1,20	1.959,4	44.570.799	21.225.310	5.895,9	23.584	25.543
9,80	1,40	2.326,4	48.604.632	25.259.143	7.016,4	28.066	30.392
10,00	1,60	2.699,5	52.786.946	29.441.457	8.178,2	32.713	35.412
11,00	2,60	4.635,7	75.955.112	52.609.623	14.614	58.455	63.091
11,50	3,10	5.638,8	88.847.358	65.501.869	18.195	72.780	78.419
12,00	3,60	6.660,6	102.353.651	79.008.162	21.947	87.787	94.447

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2008: sem comportas i 2º etapa

Δt (hora)	Q _{afL} TOTAL (m³/s)	(2S _v /dt) - Q _w (m³/s)	(2S _v /dt) + Q _w (m³/s)	Q _{def} (m³/s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	47,45	56,32	4,43	8,40
3	1.899,82	1.688,74	2.003,59	157,43	8,50
4	4.255,88	6.619,65	7.844,44	612,39	8,79
5	5.587,25	13.916,92	16.462,78	1.272,93	9,20
6	5.059,24	20.799,25	24.563,40	1.882,08	9,56
7	4.069,54	25.369,57	29.928,03	2.279,23	9,79
8	3.167,14	27.654,97	32.606,26	2.475,65	9,90
9	2.642,26	28.387,74	33.464,37	2.538,31	9,93
10	2.524,10	28.464,38	33.554,10	2.544,86	9,94
11	2.779,13	28.646,75	33.767,61	2.560,43	9,95
12	2.706,42	28.958,29	34.132,30	2.587,01	9,96
13	2.532,00	29.013,32	34.196,71	2.591,70	9,96
14	2.305,66	28.717,97	33.850,98	2.566,51	9,95
15	2.043,67	28.048,63	33.067,30	2.509,33	9,92
16	1.755,87	27.007,82	31.848,17	2.420,18	9,87
17	1461,98	25.623,43	30.225,68	2.301,12	9,80
18	1070,05	23.858,36	28.155,47	2.148,56	9,72
19	343,62	21.402,38	25.272,03	1.934,82	9,59
20	184,09	18.559,49	21.930,09	1.685,30	9,45
21	94,39	15.932,54	18.837,97	1.452,71	9,31
22	37,02	13.578,65	16.063,95	1.242,65	9,18
23	0,00	11.503,39	13.615,68	1.056,14	9,07
24	0,00	9.714,60	11.503,39	894,40	8,97
25	0,00	8.200,96	9.714,60	756,82	8,88

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2018: sem comportas ã 1ª etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	S _v (m³)	SVT (m³)	SVT' (m³/s)	(2S _v)/t (m³/s)	(2S _v /t) + Q _w (m³/s)
8,40	0,00	0,00	22.089.991	0	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	25.557.964	3.467.973	963,3	3.853	4.120
8,80	0,40	576,4	28.845.488	6.755.497	1.876,5	7.506	8.083
9,00	0,60	905,5	32.281.852	10.191.861	2.831,1	11.324	12.230
9,20	0,80	1247,4	35.857.516	13.767.524	3.824,3	15.297	16.545
9,40	1,00	1599,4	39.562.939	17.472.947	4.854	19.414	21.014
9,60	1,20	1959,4	43.388.581	21.298.590	5.916	23.665	25.625
9,80	1,40	2326,4	47.324.903	25.234.912	7.010	28.039	30.365
10,00	1,60	2699,5	51.362.364	29.272.373	8.131	32.525	35.224
11,00	2,60	4635,7	72.732.861	50.642.870	14.067	56.270	60.906
11,50	3,10	5638,8	83.904.197	61.814.205	17.171	68.682	74.321
12,00	3,60	6660,6	95.200.840	73.110.849	20.309	81.234	87.895

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2018: sem comportas ã 2ª etapa

Δt (hora)	Q _{afl} TOTAL (m³/s)	(2S _v /dt) - Q _w (m³/s)	(2S _v /dt) + Q _w (m³/s)	Q _{def} (m³/s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	47,73	56,32	4,30	8,40
3	1.899,82	1.698,21	2.003,87	152,83	8,50
4	4.255,88	6.656,39	7.853,92	598,76	8,78
5	5.587,25	13.985,17	16.499,53	1.257,18	9,19
6	5.059,24	20.880,00	24.631,65	1.875,83	9,56
7	4.069,54	25.439,72	30.008,78	2.284,53	9,79
8	3.167,14	27.702,04	32.676,41	2.487,19	9,91
9	2.642,26	28.410,22	33.511,44	2.550,61	9,94
10	2.524,10	28.465,47	33.576,58	2.555,56	9,94
11	2.779,13	28.628,41	33.768,70	2.570,15	9,95
12	2.706,42	28.921,23	34.113,96	2.596,37	9,97
13	2.532,00	28.959,98	34.159,65	2.599,84	9,97
14	2.305,66	28.652,95	33.797,64	2.572,34	9,95
15	2.043,67	27.978,41	33.002,28	2.511,94	9,92
16	1.755,87	26.940,07	31.777,94	2.418,94	9,87
17	1461,98	25.566,20	30.157,92	2.295,86	9,80
18	1070,05	23.819,54	28.098,23	2.139,35	9,71
19	343,62	21.390,09	25.233,21	1.921,56	9,59
20	184,09	18.578,91	21.917,80	1.669,44	9,44
21	94,39	15.984,15	18.857,39	1.436,62	9,30
22	37,02	13.659,65	16.115,56	1.227,95	9,17
23	0,00	11.609,07	13.696,68	1.043,81	9,06
24	0,00	9.839,41	11.609,07	884,83	8,96
25	0,00	8.339,34	9.839,41	750,03	8,88

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2023: sem comportas i 1º etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	S _v (m³)	SVT (m³)	SVT' (m³/s)	(2S _v)/t (m³/s)	(2S _v /t) + Q _w (m³/s)
8,40	0,00	0,00	22.089.991	0	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	25.161.943	3.071.952	853,3	3.413,3	3.679,6
8,80	0,40	576,4	28.390.195	6.300.204	1.750,1	7.000,2	7.576,7
9,00	0,60	905,5	31.765.732	9.675.740	2.687,7	10.751	11.656
9,20	0,80	1247,4	35.279.540	13.189.548	3.663,8	14.655	15.902
9,40	1,00	1599,4	38.922.605	16.832.613	4.675,7	18.703	20.302
9,60	1,20	1959,4	42.685.913	20.595.921	5.721,1	22.884	24.844
9,80	1,40	2326,4	46.560.450	24.470.459	6.797,3	27.189	29.516
10,00	1,60	2699,5	50.537.202	28.447.211	7.902,0	31.608	34.307
11,00	2,60	4635,7	71.638.695	49.548.704	13.764	55.054	59.690
11,50	3,10	5638,8	82.711.089	60.621.098	16.839	67.357	72.996
12,00	3,60	6660,6	93.943.456	71.853.464	19.959	79.837	86.498

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2023: sem comportas i 2º etapa

Δt (hora)	Q _{afL} TOTAL (m³/s)	(2S _v /dt) - Q _w (m³/s)	(2S _v /dt) + Q _w (m³/s)	Q _{def} (m³/s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	47,39	56,32	4,46	8,40
3	1.899,82	1.686,16	2.003,53	158,68	8,50
4	4.255,88	6.602,09	7.841,87	619,89	8,80
5	5.587,25	13.852,71	16.445,22	1.296,25	9,22
6	5.059,24	20.647,39	24.499,19	1.925,90	9,59
7	4.069,54	25.102,98	29.776,17	2.336,59	9,82
8	3.167,14	27.268,52	32.339,67	2.535,58	9,93
9	2.642,26	27.892,28	33.077,92	2.592,82	9,96
10	2.524,10	27.876,00	33.058,64	2.591,32	9,96
11	2.779,13	27.977,89	33.179,23	2.600,67	9,97
12	2.706,42	28.218,05	33.463,44	2.622,70	9,98
13	2.532,00	28.212,15	33.456,47	2.622,16	9,98
14	2.305,66	27.868,54	33.049,82	2.590,64	9,96
15	2.043,67	27.165,61	32.217,87	2.526,13	9,93
16	1.755,87	26.107,29	30.965,14	2.428,93	9,87
17	1461,98	24.722,04	29.325,14	2.301,55	9,80
18	1070,05	22.973,10	27.254,08	2.140,49	9,71
19	343,62	20.552,50	24.386,77	1.917,13	9,58
20	184,09	17.762,16	21.080,21	1.659,03	9,43
21	94,39	15.198,13	18.040,64	1.421,25	9,29
22	37,02	12.912,01	15.329,54	1.208,76	9,16
23	0,00	10.905,30	12.949,04	1.021,87	9,05
24	0,00	9.182,96	10.905,30	861,17	8,95
25	0,00	7.731,80	9.182,96	725,58	8,86

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2028: sem comportas ã 1ª etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	S _v (m³)	SVT (m³)	SVT' (m³/s)	(2S _v)/t (m³/s)	(2S _v /t) + Q _w (m³/s)
8,40	0,00	0,00	21.746,387	0,00	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	24.759,996	3.013,609	837,11	3.348,5	3.614,8
8,80	0,40	576,4	27.927,866	6.181,479	1.717,08	6.868,3	7.444,7
9,00	0,60	905,5	31.241,545	9.495,158	2.637,54	10.550	11.456
9,20	0,80	1247,4	34.692,579	12.946,192	3.596,16	14.385	15.632
9,40	1,00	1599,4	38.272,516	16.526,129	4.590,59	18.362	19.962
9,60	1,20	1959,4	41.972,902	20.226,515	5.618,48	22.474	24.433
9,80	1,40	2326,4	45.785,284	24.038,897	6.677,47	26.710	29.036
10,00	1,60	2699,5	49.701,210	27.954,823	7.765,23	31.061	33.760
11,00	2,60	4635,7	70.538,125	48.791,738	13.553,26	54.213	58.849
11,50	3,10	5638,8	81.517,854	59.771,467	16.603,19	66.413	72.052
12,00	3,60	6660,6	92.695,657	70.949,269	19.708,13	78.833	85.493

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2028: sem comportas ã 2ª etapa

Δt (hora)	Q _{afL} _{TOTAL} (m³/s)	(2S _v /dt) - Q _w (m³/s)	(2S _v /dt) + Q _w (m³/s)	Q _{def} (m³/s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	47,22	56,32	4,55	8,40
3	1.899,82	1.680,10	2.003,36	161,63	8,50
4	4.255,88	6.574,46	7.835,80	630,67	8,80
5	5.587,25	13.784,24	16.417,59	1.316,68	9,23
6	5.059,24	20.525,16	24.430,72	1.952,78	9,60
7	4.069,54	24.923,72	29.653,94	2.365,11	9,84
8	3.167,14	27.035,75	32.160,40	2.562,33	9,95
9	2.642,26	27.612,89	32.845,16	2.616,13	9,98
10	2.524,10	27.557,34	32.779,25	2.610,95	9,97
11	2.779,13	27.625,89	32.860,57	2.617,34	9,98
12	2.706,42	27.837,35	33.111,44	2.637,05	9,99
13	2.532,00	27.807,28	33.075,77	2.634,24	9,99
14	2.305,66	27.444,14	32.644,94	2.600,40	9,97
15	2.043,67	26.726,51	31.793,47	2.533,48	9,93
16	1.755,87	25.658,49	30.526,04	2.433,78	9,88
17	1461,98	24.268,66	28.876,34	2.303,84	9,80
18	1070,05	22.520,50	26.800,70	2.140,10	9,71
19	343,62	20.107,19	23.934,17	1.913,49	9,58
20	184,09	17.330,91	20.634,90	1.651,99	9,43
21	94,39	14.786,28	17.609,39	1.411,56	9,28
22	37,02	12.523,42	14.917,69	1.197,13	9,16
23	0,00	10.542,54	12.560,45	1.008,95	9,04
24	0,00	8.847,39	10.542,54	847,57	8,94
25	0,00	7.423,81	8.847,39	711,79	8,86

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2048: sem comportas ã 1ª etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m ³ /s)	S _v (m ³)	SVT (m ³)	SVT' (m ³ /s)	(2S _v)/t (m ³ /s)	(2S _v /t) + Q _w (m ³ /s)
8,40	0,00	0,00	20.384.664	0,00	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	23.167.356	2.782.692	773,0	3.091,9	3.358,2
8,80	0,40	576,4	26.095.963	5.711.299	1.586,5	6.345,9	6.922,3
9,00	0,60	905,5	29.164.238	8.779.574	2.438,8	9.755,1	10.661
9,20	0,80	1247,4	32.365.933	11.981.269	3.328,1	13.313	14.560
9,40	1,00	1599,4	35.694.801	15.310.137	4.252,8	17.011	18.611
9,60	1,20	1959,4	39.144.593	18.759.930	5.211,1	20.844	22.804
9,80	1,40	2326,4	42.709.063	22.324.399	6.201,2	24.805	27.131
10,00	1,60	2699,5	46.381.962	25.997.298	7.221,5	28.886	31.585
11,00	2,60	4635,7	66.154.228	45.769.564	12.714	50.855	55.491
11,50	3,10	5638,8	76.754.263	56.369.600	15.658	62.633	68.272
12,00	3,60	6660,6	87.700.074	67.315.410	18.699	74.795	81.456

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2048: sem comportas ã 2ª etapa

Δt (hora)	Q _{af} _{TOTAL} (m ³ /s)	(2S _v /dt) - Q _w (m ³ /s)	(2S _v /dt) + Q _w (m ³ /s)	Q _{def} (m ³ /s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	46,50	56,32	4,91	8,40
3	1.899,82	1.653,94	2.002,64	174,35	8,51
4	4.255,88	6.455,87	7.809,65	676,89	8,83
5	5.587,25	13.492,03	16.299,00	1.403,49	9,28
6	5.059,24	20.006,61	24.138,52	2.065,95	9,67
7	4.069,54	24.167,52	29.135,39	2.483,94	9,90
8	3.167,14	26.058,95	31.404,20	2.672,63	10,01
9	2.642,26	26.446,06	31.868,35	2.711,15	10,03
10	2.524,10	26.232,60	31.612,42	2.689,91	10,02
11	2.779,13	26.168,72	31.535,83	2.683,55	10,01
12	2.706,42	26.267,50	31.654,27	2.693,38	10,02
13	2.532,00	26.143,78	31.505,93	2.681,07	10,01
14	2.305,66	25.706,40	30.981,44	2.637,52	9,99
15	2.043,67	24.934,61	30.055,73	2.560,56	9,95
16	1.755,87	23.833,15	28.734,14	2.450,50	9,89
17	1461,98	22.431,04	27.051,00	2.309,98	9,81
18	1070,05	20.692,76	24.963,07	2.135,15	9,71
19	343,62	18.316,40	22.106,43	1.895,02	9,57
20	184,09	15.605,21	18.844,11	1.619,45	9,41
21	94,39	13.147,36	15.883,69	1.368,16	9,26
22	37,02	10.986,60	13.278,77	1.146,08	9,12
23	0,00	9.117,43	11.023,63	953,10	9,01
24	0,00	7.538,55	9.117,43	789,44	8,90
25	0,00	6.231,49	7.538,55	653,53	8,82

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2088: sem comportas ã 1º etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	S _v (m³)	SVT (m³)	SVT' (m³/s)	(2S _v)/t (m³/s)	(2S _v /t) + Q _w (m³/s)
8,40	0,00	0,00	17.663.894	0,00	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	19.985.525	2.321.631	644,9	2.579,6	2.846,0
8,80	0,40	576,4	22.436.198	4.772.304	1.325,6	5.302,6	5.879,0
9,00	0,60	905,5	25.013.966	7.350.072	2.041,7	8.166,7	9.072,2
9,20	0,80	1.247,4	27.716.883	10.052.988	2.792,5	11.170	12.417
9,40	1,00	1.599,4	30.543.001	12.879.107	3.577,5	14.310	15.909
9,60	1,20	1.959,4	33.490.373	15.826.479	4.396,2	17.585	19.544
9,80	1,40	2.326,4	36.557.054	18.893.159	5.248,1	20.992	23.319
10,00	1,60	2.699,5	39.741.094	22.077.200	6.132,6	24.530	27.230
11,00	2,60	4.635,7	57.353.563	39.689.669	11.025	44.100	48.735
11,50	3,10	5.638,8	67.165.747	49.501.853	13.751	55.002	60.641
12,00	3,60	6.660,6	77.608.004	59.944.110	16.651	66.605	73.265

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2088: sem comportas ã 2º etapa

Δt (hora)	Q _{af} _{TOTAL} (m³/s)	(2S _v /dt) - Q _w (m³/s)	(2S _v /dt) + Q _w (m³/s)	Q _{def} (m³/s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	44,69	56,32	5,82	8,40
3	1899,82	1588,91	2000,83	205,96	8,53
4	4255,88	6165,18	7744,61	789,71	8,90
5	5587,25	12788,21	16008,31	1610,05	9,40
6	5059,24	18779,44	23434,69	2327,63	9,82
7	4069,54	22406,40	27908,22	2750,91	10,05
8	3167,14	23816,61	29643,09	2913,24	10,14
9	2642,26	23802,71	29626,01	2911,65	10,14
10	2524,10	23268,48	28969,07	2850,29	10,11
11	2779,13	22945,49	28571,71	2813,11	10,09
12	2706,42	22831,17	28431,04	2799,94	10,08
13	2532,00	22537,49	28069,59	2766,05	10,06
14	2305,66	21973,51	27375,16	2700,82	10,02
15	2043,67	21119,49	26322,84	2601,67	9,97
16	1755,87	19981,39	24919,03	2468,82	9,90
17	1461,98	18588,91	23199,24	2305,16	9,80
18	1070,05	16908,84	21120,95	2106,06	9,69
19	343,62	14651,19	18322,51	1835,66	9,54
20	184,09	12121,39	15178,90	1528,76	9,35
21	94,39	9890,52	12399,87	1254,67	9,19
22	37,02	7985,76	10021,93	1018,08	9,05
23	0,00	6387,38	8022,79	817,70	8,92
24	0,00	5081,83	6387,38	652,78	8,82
25	0,00	4040,88	5081,83	520,47	8,74

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2008: com comportas ã 1º etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	Q _C (m³/s)	Q _{vert} TOTAL (m³/s)	Sv (m³)	SVT (m³)	SVT' (m³/s)	(2Sv)/t (m³/s)	(2Sv/t) + Q _{vert} TOTAL (m³/s)
8,40	0,00	0,00	0,00	0,00	23.345.489	0,00	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	86,1	352,46	26.535.677	3.190.188	886,16	3.544,7	3.897,12
8,80	0,40	576,4	87,5	663,94	29.864.884	6.519.395	1.810,9	7.243,8	7.907,71
9,00	0,60	905,5	88,9	994,35	33.331.885	9.986.396	2.774,0	11.096	12.090,34
9,20	0,80	1.247,4	90,2	1.337,7	36.937.201	13.591.712	3.775,5	15.102	16.439,58
9,40	1,00	1.599,4	91,6	1.690,9	40.682.637	17.337.148	4.815,9	19.263	20.954,43
9,60	1,20	1.959,4	92,9	2.052,3	44.570.799	21.225.310	5.895,9	23.584	25.635,99
9,80	1,40	2.326,4	94,2	2.420,6	48.604.632	25.259.143	7.016,4	28.066	30.486,31
10,00	1,60	2.699,5	95,4	2.794,9	52.786.946	29.441.457	8.178,2	32.713	35.507,61
11,00	2,60	4.635,7	101,3	4.737,0	75.955.112	52.609.623	14.614	58.455	63.192,16
11,50	3,10	5.638,8	104,1	5.743,0	88.847.358	65.501.869	18.195	72.780	78.522,83
12,00	3,60	6.660,6	106,8	6.767,5	102.353.651	79.008.162	21.947	87.787	94.554,32

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2008: com comportas ã 2º etapa

Δt (hora)	Q _{af} TOTAL (m³/s)	(2Sv/dt) - Q _{vert} TOTAL (m³/s)	(2Sv/dt) + Q _{vert} TOTAL (m³/s)	Q _{def} (m³/s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	46,96	56,32	4,68	8,41
3	1.899,82	1.671,29	2.003,10	165,91	8,50
4	4.255,88	6.541,74	7.827,00	642,63	8,79
5	5.587,25	13.729,04	16.384,87	1.327,91	9,18
6	5.059,24	20.472,68	24.375,53	1.951,43	9,54
7	4.069,54	24.900,14	29.601,46	2.350,66	9,76
8	3.167,14	27.052,99	32.136,83	2.541,92	9,86
9	2.642,26	27.669,69	32.862,40	2.596,36	9,89
10	2.524,10	27.647,28	32.836,04	2.594,38	9,89
11	2.779,13	27.744,59	32.950,51	2.602,96	9,90
12	2.706,42	27.982,35	33.230,15	2.623,90	9,91
13	2.532,00	27.974,37	33.220,77	2.623,20	9,91
14	2.305,66	27.626,87	32.812,04	2.592,58	9,89
15	2.043,67	26.916,51	31.976,20	2.529,85	9,86
16	1.755,87	25.846,18	30.716,05	2.434,93	9,81
17	1461,98	24.444,20	29.064,03	2.309,92	9,74
18	1070,05	22.674,33	26.976,24	2.150,95	9,65
19	343,62	20.229,48	24.088,00	1.929,26	9,53
20	184,09	17.415,10	20.757,19	1.671,04	9,38
21	94,39	14.831,35	17.693,58	1.431,11	9,24
22	37,02	12.532,18	14.962,76	1.215,29	9,12
23	0,00	10.519,99	12.569,20	1.024,61	9,01
24	0,00	8.799,54	10.519,99	860,23	8,91
25	0,00	7.356,70	8.799,54	721,42	8,83

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2018: com comportas ï 1º etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	Q _C (m³/s)	Qvert _{TOTAL} (m³/s)	Sv (m³)	SVT (m³)	SVT (m³/s)	(2Sv)/t (m³/s)	(2Sv/t) + Qvert _{TOTAL} (m³/s)
8,40	0,00	0,00	0,00	0,00	22.089.991	0	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	85,97	352,34	25.557.964	3.467.973	963,3	3.853	4.205,6
8,80	0,40	576,4	87,38	663,81	28.845.488	6.755.497	1.876,5	7.506	8.169,9
9,00	0,60	905,5	88,76	994,21	32.281.852	10.191.861	2.831,1	11.324	12.318,5
9,20	0,80	1247,4	90,11	1.337,53	35.857.516	13.767.524	3.824,3	15.297	16.634,8
9,40	1,00	1599,4	91,43	1.690,79	39.562.939	17.472.947	4.854	19.414	21.105,2
9,60	1,20	1959,4	92,73	2.052,17	43.388.581	21.298.590	5.916	23.665	25.717,3
9,80	1,40	2326,4	94,00	2.420,44	47.324.903	25.234.912	7.010	28.039	30.459,2
10,00	1,60	2699,5	95,24	2.794,72	51.362.364	29.272.373	8.131	32.525	35.319,6
11,00	2,60	4635,7	101,16	4.736,84	72.732.861	50.642.870	14.067	56.270	61.006,7
11,50	3,10	5638,8	103,94	5.742,78	83.904.197	61.814.205	17.171	68.682	74.425,2
12,00	3,60	6660,6	106,62	6.767,27	95.200.840	73.110.849	20.309	81.234	88.001,5

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2018: com comportas ï 2º etapa

Δt (hora)	Qaf _{TOTAL} (m³/s)	(2Sv/dt) - Qvert _{TOTAL} (m³/s)	(2Sv/dt) + Qvert _{TOTAL} (m³/s)	Qdef (m³/s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	47,22	56,32	4,55	8,41
3	1.899,82	1.680,07	2.003,36	161,64	8,50
4	4.255,88	6.575,52	7.835,77	630,13	8,78
5	5.587,25	13.791,03	16.418,65	1.313,81	9,18
6	5.059,24	20.544,71	24.437,51	1.946,40	9,54
7	4.069,54	24.961,00	29.673,49	2.356,24	9,76
8	3.167,14	27.091,85	32.197,69	2.552,92	9,87
9	2.642,26	27.685,99	32.901,25	2.607,63	9,90
10	2.524,10	27.644,69	32.852,35	2.603,83	9,90
11	2.779,13	27.725,41	32.947,92	2.611,26	9,90
12	2.706,42	27.947,56	33.210,96	2.631,70	9,91
13	2.532,00	27.926,46	33.185,98	2.629,76	9,91
14	2.305,66	27.570,18	32.764,12	2.596,97	9,89
15	2.043,67	26.856,97	31.919,51	2.531,27	9,86
16	1.755,87	25.790,69	30.656,50	2.432,91	9,81
17	1461,98	24.399,87	29.008,54	2.304,34	9,73
18	1070,05	22.647,97	26.931,90	2.141,97	9,64
19	343,62	20.227,88	24.061,64	1.916,88	9,52
20	184,09	17.442,22	20.755,59	1.656,68	9,37
21	94,39	14.886,84	17.720,70	1.416,93	9,24
22	37,02	12.612,80	15.018,25	1.202,73	9,11
23	0,00	10.620,94	12.649,82	1.014,44	9,00
24	0,00	8.915,48	10.620,94	852,73	8,91
25	0,00	7.482,46	8.915,48	716,51	8,83

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2023: com comportas ã 1º etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	Q _c (m³/s)	Q _{vert} TOTAL (m³/s)	S _v (m³)	SVT (m³)	SVT' (m³/s)	(2Sv)/t (m³/s)	(2Sv/t) + Q _{vert} TOTAL (m³/s)
8,40	0,00	0,00	0,00	0,00	22.089.991	0	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	85,97	352,34	25.161.943	3.071.952	853,3	3.413,3	3.765,6
8,80	0,40	576,4	87,38	663,81	28.390.195	6.300.204	1.750,1	7.000,2	7.664,0
9,00	0,60	905,5	88,76	994,21	31.765.732	9.675.740	2.687,7	10.751	11.745,0
9,20	0,80	1247,4	90,11	1337,53	35.279.540	13.189.548	3.663,8	14.655	15.992,6
9,40	1,00	1599,4	91,43	1690,79	38.922.605	16.832.613	4.675,7	18.703	20.393,7
9,60	1,20	1959,4	92,73	2052,17	42.685.913	20.595.921	5.721,1	22.884	24.936,5
9,80	1,40	2326,4	94,00	2420,44	46.560.450	24.470.459	6.797,3	27.189	29.609,8
10,00	1,60	2699,5	95,24	2794,72	50.537.202	28.447.211	7.902,0	31.608	34.402,7
11,00	2,60	4635,7	101,16	4736,84	71.638.695	49.548.704	13.764	55.054	59.791,0
11,50	3,10	5638,8	103,94	5742,78	82.711.089	60.621.098	16.839	67.357	73.099,6
12,00	3,60	6660,6	106,62	6767,27	93.943.456	71.853.464	19.959	79.837	86.604,4

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2023: com comportas ã 2º etapa

Δt (hora)	Q _{af} TOTAL (m³/s)	(2Sv/t) - Q _{vert} TOTAL (m³/s)	(2Sv/t) + Q _{vert} TOTAL (m³/s)	Q _{def} (m³/s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	46,87	56,32	4,72	8,41
3	1.899,82	1.667,68	2.003,01	167,67	8,51
4	4.255,88	6.519,91	7.823,38	651,73	8,79
5	5.587,25	13.656,11	16.363,04	1.353,47	9,20
6	5.059,24	20.308,93	24.302,60	1.996,83	9,56
7	4.069,54	24.621,11	29.437,71	2.408,30	9,79
8	3.167,14	26.655,89	31.857,79	2.600,95	9,90
9	2.642,26	27.166,92	32.465,29	2.649,19	9,92
10	2.524,10	27.055,86	32.333,27	2.638,71	9,92
11	2.779,13	27.077,57	32.359,09	2.640,76	9,92
12	2.706,42	27.249,23	32.563,12	2.656,95	9,93
13	2.532,00	27.185,73	32.487,65	2.650,96	9,92
14	2.305,66	26.795,18	32.023,39	2.614,11	9,90
15	2.043,67	26.055,99	31.144,50	2.544,26	9,87
16	1.755,87	24.972,29	29.855,53	2.441,62	9,81
17	1461,98	23.572,80	28.190,14	2.308,67	9,74
18	1070,05	21.821,52	26.104,84	2.141,66	9,64
19	343,62	19.413,50	23.235,19	1.910,85	9,52
20	184,09	16.652,21	19.941,21	1.644,50	9,37
21	94,39	14.131,18	16.930,69	1.399,75	9,23
22	37,02	11.898,99	14.262,59	1.181,80	9,10
23	0,00	9.954,13	11.936,01	990,94	8,99
24	0,00	8.298,59	9.954,13	827,77	8,90
25	0,00	6.916,50	8.298,59	691,05	8,82

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2028: com comportas i 1º etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	Q _C (m³/s)	Q _{vertTOTAL} (m³/s)	S _v (m³)	SVT (m³)	SVT' (m³/s)	(2S _v)/t (m³/s)	(2S _v /t) + Q _{vertTOTAL} (m³/s)
8,40	0,00	0,00	0,00	0,00	21.746.387	0,00	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	85,97	352,34	24.759.996	3.013.609	837,11	3.348,5	3.700,8
8,80	0,40	576,4	87,38	663,81	27.927.866	6.181.479	1.717,08	6.868,3	7.532,1
9,00	0,60	905,5	88,76	994,21	31.241.545	9.495.158	2.637,54	10.550	11.544,4
9,20	0,80	1247,4	90,11	1337,53	34.692.579	12.946.192	3.596,16	14.385	15.722,2
9,40	1,00	1599,4	91,43	1690,79	38.272.516	16.526.129	4.590,59	18.362	20.053,2
9,60	1,20	1959,4	92,73	2052,17	41.972.902	20.226.515	5.618,48	22.474	24.526,1
9,80	1,40	2326,4	94,00	2420,44	45.785.284	24.038.897	6.677,47	26.710	29.130,3
10,00	1,60	2699,5	95,24	2794,72	49.701.210	27.954.823	7.765,23	31.061	33.855,6
11,00	2,60	4635,7	101,16	4736,84	70.538.125	48.791.738	13.553,26	54.213	58.949,9
11,50	3,10	5638,8	103,94	5742,78	81.517.854	59.771.467	16.603,19	66.413	72.155,5
12,00	3,60	6660,6	106,62	6767,27	92.695.657	70.949.269	19.708,13	78.833	85.599,8

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2028: com comportas i 2º etapa

Δt (hora)	Q _{afI} _{TOTAL} (m³/s)	(2S _v /t) - Q _{vertTOTAL} (m³/s)	(2S _v /t) + Q _{vertTOTAL} (m³/s)	Q _{def} (m³/s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	46,70	56,32	4,81	8,41
3	1.899,82	1.661,39	2.002,84	170,72	8,51
4	4.255,88	6.491,45	7.817,10	662,82	8,80
5	5.587,25	13.586,06	16.334,58	1.374,26	9,21
6	5.059,24	20.184,71	24.232,55	2.023,92	9,58
7	4.069,54	24.439,99	29.313,49	2.436,75	9,81
8	3.167,14	26.421,87	31.676,68	2.627,40	9,91
9	2.642,26	26.887,23	32.231,27	2.672,02	9,94
10	2.524,10	26.738,12	32.053,59	2.657,73	9,93
11	2.779,13	26.727,86	32.041,35	2.656,75	9,93
12	2.706,42	26.872,24	32.213,41	2.670,58	9,94
13	2.532,00	26.786,02	32.110,66	2.662,32	9,93
14	2.305,66	26.377,40	31.623,68	2.623,14	9,91
15	2.043,67	25.624,99	30.726,73	2.550,87	9,87
16	1.755,87	24.533,07	29.424,53	2.445,73	9,81
17	1461,98	23.130,49	27.750,92	2.310,22	9,74
18	1070,05	21.381,51	25.662,52	2.140,51	9,64
19	343,62	18.982,37	22.795,18	1.906,40	9,51
20	184,09	16.236,83	19.510,08	1.636,63	9,36
21	94,39	13.736,84	16.515,31	1.389,23	9,22
22	37,02	11.529,43	13.868,25	1.169,41	9,09
23	0,00	9.611,70	11.566,46	977,38	8,98
24	0,00	7.984,40	9.611,70	813,65	8,89
25	0,00	6.630,59	7.984,40	676,90	8,81

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2048: com comportas ï 1º etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	Q _C (m³/s)	Q _{vert} TOTAL (m³/s)	S _v (m³)	SVT (m³)	SVT' (m³/s)	(2S _v)/t (m³/s)	(2S _v /t) + Q _{vert} TOTAL (m³/s)
8,40	0,00	0,00	0,00	0,00	20.384.664	0,00	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	85,97	352,34	23.167.356	2.782.692	773,0	3.091,9	3.444,22
8,80	0,40	576,4	87,38	663,81	26.095.963	5.711.299	1.586,5	6.345,9	7.009,70
9,00	0,60	905,5	88,76	994,21	29.164.238	8.779.574	2.438,8	9.755,1	10.749,29
9,20	0,80	1247,4	90,11	1337,53	32.365.933	11.981.269	3.328,1	13.313	14.650,05
9,40	1,00	1599,4	91,43	1690,79	35.694.801	15.310.137	4.252,8	17.011	18.702,05
9,60	1,20	1959,4	92,73	2052,17	39.144.593	18.759.930	5.211,1	20.844	22.896,53
9,80	1,40	2326,4	94,00	2420,44	42.709.063	22.324.399	6.201,2	24.805	27.225,33
10,00	1,60	2699,5	95,24	2794,72	46.381.962	25.997.298	7.221,5	28.886	31.680,61
11,00	2,60	4635,7	101,16	4736,84	66.154.228	45.769.564	12.714	50.855	55.591,91
11,50	3,10	5638,8	103,94	5742,78	76.754.263	56.369.600	15.658	62.633	68.375,67
12,00	3,60	6660,6	106,62	6767,27	87.700.074	67.315.410	18.699	74.795	81.562,17

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2048: com comportas ï 2º etapa

Δt (hora)	Q _{af} TOTAL (m³/s)	(2S _v /t) - Q _{vert} TOTAL (m³/s)	(2S _v /t) + Q _{vert} TOTAL (m³/s)	Q _{def} (m³/s)	NA reservatório (m)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2	56,32	45,95	56,32	5,19	8,41
3	1.899,82	1.632,45	2.002,09	184,82	8,52
4	4.255,88	6.339,90	7.788,16	724,13	8,83
5	5.587,25	13.142,41	16.183,03	1.520,31	9,29
6	5.059,24	19.277,57	23.788,90	2.255,66	9,71
7	4.069,54	22.989,17	28.406,35	2.708,59	9,96
8	3.167,14	24.449,04	30.225,86	2.888,41	10,05
9	2.642,26	24.475,17	30.258,44	2.891,64	10,05
10	2.524,10	23.980,37	29.641,53	2.830,58	10,02
11	2.779,13	23.693,22	29.283,60	2.795,19	10,00
12	2.706,42	23.609,11	29.178,77	2.784,83	10,00
13	2.532,00	23.343,29	28.847,53	2.752,12	9,98
14	2.305,66	22.808,22	28.180,95	2.686,36	9,94
15	2.043,67	21.986,33	27.157,55	2.585,61	9,89
16	1.755,87	20.883,98	25.785,87	2.450,94	9,81
17	1461,98	19.529,43	24.101,84	2.286,20	9,72
18	1070,05	17.886,50	22.061,46	2.087,48	9,61
19	343,62	15.660,03	19.300,17	1.820,07	9,46
20	184,09	13.146,22	16.187,74	1.520,76	9,29
21	94,39	10.910,87	13.424,70	1.256,92	9,14
22	37,02	8.980,62	11.042,28	1.030,83	9,01
23	0,00	7.338,20	9.017,65	839,72	8,90
24	0,00	5.974,38	7.338,20	681,91	8,81
25	0,00	4.865,89	5.974,38	554,24	8,73

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2088: com comportas ã 1º etapa

C (m)	H (m)	Q _w (m³/s)	Q _C (m³/s)	Q _{vert} _{TOTAL} (m³/s)	S _v (m³)	SVT (m³)	SVT' (m³/s)	(2S _v)/t (m³/s)	(2S _v /t) + Q _{vert} _{TOTAL} (m³/s)
8,40	0,00	0,00	0,00	0,00	17.663.894	0,00	0,00	0,00	0,00
8,60	0,20	266,4	85,97	352,34	19.985.525	2.321.631	644,9	2.579,6	2.931,93
8,80	0,40	576,4	87,38	663,81	22.436.198	4.772.304	1.325,6	5.302,6	5.966,37
9,00	0,60	905,5	88,76	994,21	25.013.966	7.350.072	2.041,7	8.166,7	9.160,96
9,20	0,80	1.247,4	90,11	1.337,5	27.716.883	10.052.988	2.792,5	11.170	12.507,52
9,40	1,00	1.599,4	91,43	1.690,8	30.543.001	12.879.107	3.577,5	14.310	16.000,91
9,60	1,20	1.959,4	92,73	2.052,2	33.490.373	15.826.479	4.396,2	17.585	19.637,14
9,80	1,40	2.326,4	94,00	2.420,4	36.557.054	18.893.159	5.248,1	20.992	23.412,84
10,00	1,60	2.699,5	95,24	2.794,7	39.741.094	22.077.200	6.132,6	24.530	27.324,95
11,00	2,60	4.635,7	101,16	4.736,8	57.353.563	39.689.669	11.025	44.100	48.836,47
11,50	3,10	5.638,8	103,94	5.742,8	67.165.747	49.501.853	13.751	55.002	60.744,84
12,00	3,60	6.660,6	106,62	6.767,3	77.608.004	59.944.110	16.651	66.605	73.371,83

Laminação da cheia de projeto para TR = 10.000 anos para o ano de 2088: com comportas ã 2º etapa

Δt (hora)	Q _{af} _{TOTAL} (m³/s)	(2S _v /t) - Q _{vert} _{TOTAL} (m³/s)	(2S _v /t) + Q _{vert} _{TOTAL} (m³/s)	Q _{def} (m³/s)	NA reservatório (m)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40
2,00	56,32	44,07	56,32	6,12	8,41
3,00	1899,82	1567,08	2000,21	216,57	8,53
4,00	4255,88	6070,69	7722,78	826,04	8,89
5,00	5587,25	12569,17	15913,82	1672,33	9,38
6,00	5059,24	18414,00	23215,66	2400,83	9,79
7,00	4069,54	21900,73	27542,78	2821,02	10,02
8,00	3167,14	23190,00	29137,42	2973,71	10,10
9,00	2642,26	23078,32	28999,40	2960,54	10,09
10,00	2524,10	22467,93	28244,68	2888,37	10,05
11,00	2779,13	22085,24	27771,16	2842,96	10,03
12,00	2706,42	21923,36	27570,79	2823,71	10,02
13,00	2532,00	21593,04	27161,78	2784,37	10,00
14,00	2305,66	21003,00	26430,70	2713,85	9,96
15,00	2043,67	20133,56	25352,33	2609,39	9,90
16,00	1755,87	18990,91	23933,09	2471,09	9,83
17,00	1461,98	17605,12	22208,77	2301,82	9,73
18,00	1070,05	15943,83	20137,16	2096,66	9,62
19,00	343,62	13720,90	17357,50	1818,30	9,46
20,00	184,09	11243,08	14248,61	1502,77	9,28
21,00	94,39	9076,86	11521,56	1222,35	9,12
22,00	37,02	7244,67	9208,27	981,80	8,98
23,00	0,00	5722,49	7281,69	779,60	8,87
24,00	0,00	4493,07	5722,49	614,71	8,77
25,00	0,00	3525,25	4493,07	483,91	8,69