CESAN
qualidade em saneamento



CONTRATO 0190/2022
OF Nº E-GPJ-016-001-2022

MUNICÍPIO DE DOMINGOS MARTINS

IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU

PROJETO GERAL

RELATÓRIO FINAL DO PROJETO BÁSICO

A-062-000-00-0-RT-0087

Interteche CONSULTORES S.A.

Julho / 2023

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
RELATÓRIO FINAL DO PROJETO BÁSICO

3	ALTERAÇÃO DE CÓDIGO	GERAL	RM	JUL/23
2	ALTERAÇÃO DE CAPA	GERAL	RM	JUL/23
1	ATENDENDO A COMENTÁRIOS CESAN	GERAL	RM	MAR/23
0	VERSÃO APROVADA	GERAL	RM	MAR/23
B	REVISÃO GERAL	GERAL	RM	FEV/23
A	EMISSÃO INICIAL	GERAL	RM	JAN/23
Nº	Descrição	Prep.	Aprov.	Data
REVISÕES				

Intertechne CONSULTORES S.A.

CESAN
qualidade em saneamento

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
PROJETO BÁSICO

Elaborado por	GERAL	Monica Carvalho Gerente do Projeto
Verificado por	ACFS	
Supervisor	RM	José F. Pinheiro Machado
Data	JAN/23	Resp. Técnico CREA PR 20532/D

CÓDIGO INTERTECHNE	Rev.
22AL-BI-4-GE-G00-00-G-00-RT-0005	3

CÓDIGO DO CLIENTE	Rev.
A-062-000-00-0-RT-0087	3

JOSE FRANCO PINHEIRO MACHADO:56752890978

Assinado de forma digital por JOSE FRANCO PINHEIRO MACHADO:56752890978
Dados: 2023.07.24 17:20:51 -03'00'

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
RELATÓRIO FINAL DO PROJETO BÁSICO

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 4
1.1. OBJETIVO 4
1.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS 4
2. ESTUDOS BÁSICOS 5
2.1. CARTOGRAFIA E TOPOGRAFIA 5
2.2. HIDROLOGIA E SEDIMENTOLOGIA 7
2.2.1.1 Caracterização Fisiográfica 8
2.2.1.2 Climatologia 9
2.2.1.3 Vazões Médias 11
2.2.1.4 Vazões Máximas Anuais 14
2.2.1.5 Vazões Máximas Sazonais 17
2.3. CURVAS-CHAVES NOS LOCAIS DE INTERESSE 18
2.4. ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS 19
2.4.1 GEOLOGIA REGIONAL 19
2.4.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCAIS 22
2.4.3 CARACTERÍSTICAS DAS FUNDAÇÕES 24
2.4.4 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA E CONDUTIVIDADE DOS MATERIAIS 24
3. ESTUDOS FINAIS 25
3.1. ARRANJO GERAL DO PROJETO 25
3.2. DESVIO DO RIO 26
3.3. BARRAGEM DE TERRA 30
3.4. VERTEDOURO 33
3.4.1 GEOMETRIA DO VERTEDOURO 33
3.4.2 CAPACIDADE DE DESCARGA 34
3.4.3 CALHA DO VERTEDOURO 36
3.4.4 BACIA DE DISSIPAÇÃO 38
3.4.5 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS 43
3.5. ESTUDOS DE RESERVATÓRIO 44
3.5.1 CURVA COTA-ÁREA-VOLUME 44
3.5.2 ENCHIMENTO 45
3.6. DESCARGA DE FUNDO 47
3.7. TOMADA PARA OUTROS USOS 48

3.8. CASA DE COMANDO 49
3.9. GUARITA 49
3.10. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E MECÂNICOS 50
3.10.1 Comportas Vagão da Estrutura de Desvio 50
3.10.2 Comportas Ensecadeira da Estrutura de Desvio 50
3.10.3 Válvula e Tubulação de Vazão Sanitária durante Enchimento do Reservatório 51
3.10.4 Comportas Vagão do Sistema de Vazão Sanitária 52
3.10.5 Grades do Sistema de Vazão Sanitária 53
3.10.6 Conduto do Sistema de Vazão Sanitária (Direita Hidráulica) 53
3.10.7 Conduto do Sistema de Vazão Sanitária (Esquerda Hidráulica) 55
3.10.8 Grades da tomada d'água de adução 57
3.10.9 Comporta Ensecadeira da Tomada d'água de Adução 58
3.10.10 Comporta Vagão da Tomada d'água de Adução 58
3.10.11 Ponte Rolante da Tomada de Água de Desvio 59
3.10.12 Plataforma de Transporte de Painéis de Comporta da Estrutura de Desvio 60
3.10.13 Talha em Monovia da Tomada d'água de Adução 60
3.10.14 Sistemas Auxiliares Mecânicos 60
3.10.15 Sistema de Alimentação Elétrica 61
3.10.16 Transformador de Serviços Auxiliares 61
3.10.17 Gerador Diesel 62
3.10.18 Sistema de alimentação ininterrupta 62
4. LISTA DE QUANTIDADES 62

BARRAGEM DOS IMIGRANTES DO RIO JUCU
RELATÓRIO FINAL DO PROJETO BÁSICO

1. INTRODUÇÃO

1.1. OBJETIVO

O presente relatório tem por finalidade apresentar o Projeto Básico da Barragem dos Imigrantes elaborado pela INTERTECHNE CONSULTORES S.A, entre outubro de 2022 e janeiro de 2023, no âmbito do contrato 0190/2022.

As soluções de engenharia formuladas para o empreendimento estão apresentadas nos volumes que contemplam os estudos efetuados para o Projeto Básico, assim como os dados básicos utilizados resultantes de investigações e levantamentos de campo e escritório.

Os trabalhos foram desenvolvidos de forma a definir, com a devida acurácia, o detalhamento das obras civis e dos equipamentos eletromecânicos necessários para implantação do Projeto. Estes detalhamentos, consolidados no presente relatório, permitirão o planejamento e implantação da Barragem dos Imigrantes dentro dos critérios de segurança das estruturas e dos equipamentos eletromecânicos, atendendo também à obrigatoriedade legal da legislação em vigor.

O Anexo I – Documentos do Projeto Básico, apresenta a lista dos documentos que compõem o Projeto Básico da Barragem dos Imigrantes.

1.2. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

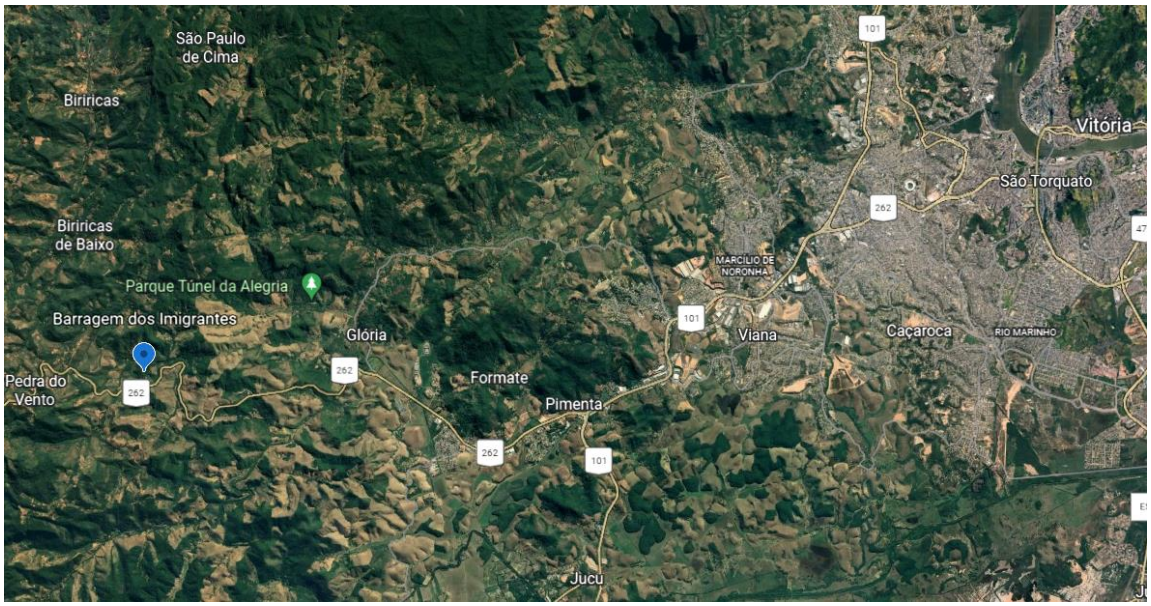
Localizada no braço norte do rio Jucu, a Barragem dos Imigrantes se encontra no estado do Espírito Santo. Pode-se observar que o local do aproveitamento dista cerca de 35 km em linha reta de Vitória, capital do Estado do Espírito Santo. O acesso ao local do barramento pode ser realizado a partir do aeroporto de Vitória, trafegando-se ao longo de 50 km, dos quais 26 km pela BR-101, 9 km em trecho coincidente das BR-101 / BR-262 e, os 15 km finais, pela BR-262. A Figura 1.1 apresenta o mapa de localização com a posição do empreendimento na cor azul.

As coordenadas geográficas do ponto central do leito do Rio Jucu são:

-Latitude ..... 7.746.090 m S

-Longitude ..... 336.480 m E

Figura 1.1 – Localização e Acesso a Barragem dos Imigrantes



2. ESTUDOS BÁSICOS

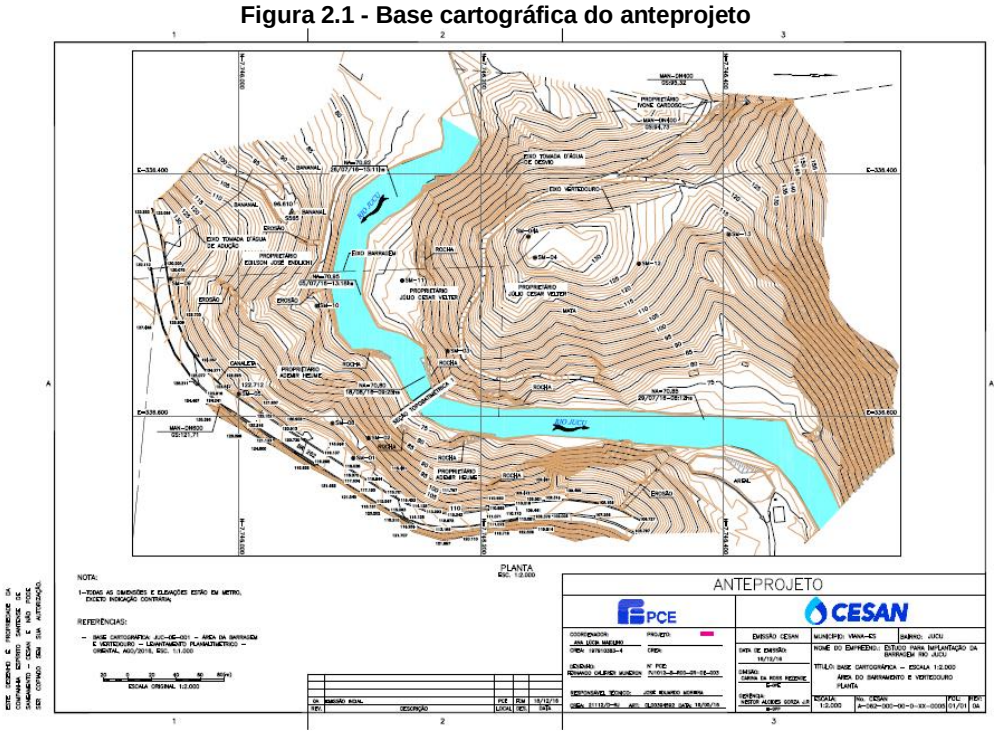
2.1. CARTOGRAFIA E TOPOGRAFIA

Sobre a base cartográfica do projeto, não se conta na documentação existente, com um relatório de cartografia a partir de onde é possível identificar as informações a respeito dos levantamentos, contendo os marcos de referência, *DATUM* utilizado, métodos de transporte de coordenadas e fixação das bases, entre outras informações cartográficas relevantes. Entre os documentos disponibilizados para constam os seguintes materiais:

Desenho A-062-000-00-0-XX-0005

Esse desenho se refere à base cartográfica da área do barramento e vertedouro em planta na escala 1:2.000. O levantamento é datado de 2016 e foi utilizado para a concepção do anteprojeto, estando restrito a área do barramento e com curvas de nível equidistantes em 1 m.

Figura 2.1 - Base cartográfica do anteprojeto

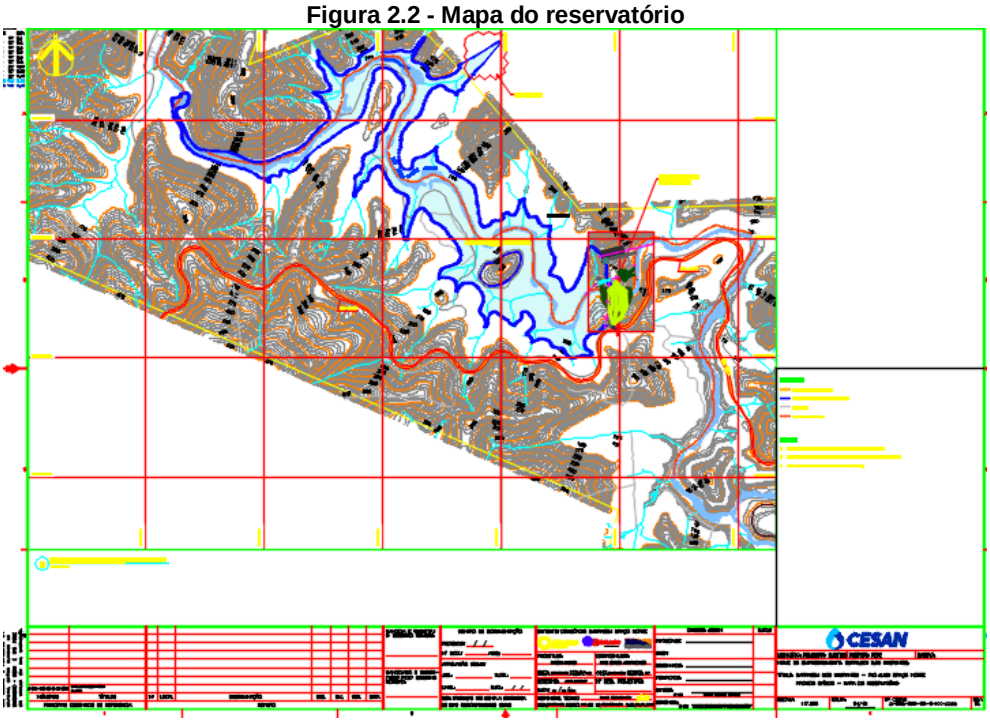


Fonte: Desenho A-062-000-00-0-XX-0005

Desenho A-062-000-00-0-XX-0099

Esse desenho se refere à base cartográfica da área do reservatório. O levantamento é datado de 2018 e foi utilizado para o desenvolvimento do projeto básico, contemplando toda a área do aproveitamento e com curvas de nível equidistantes em 5 m.

Figura 2.2 - Mapa do reservatório



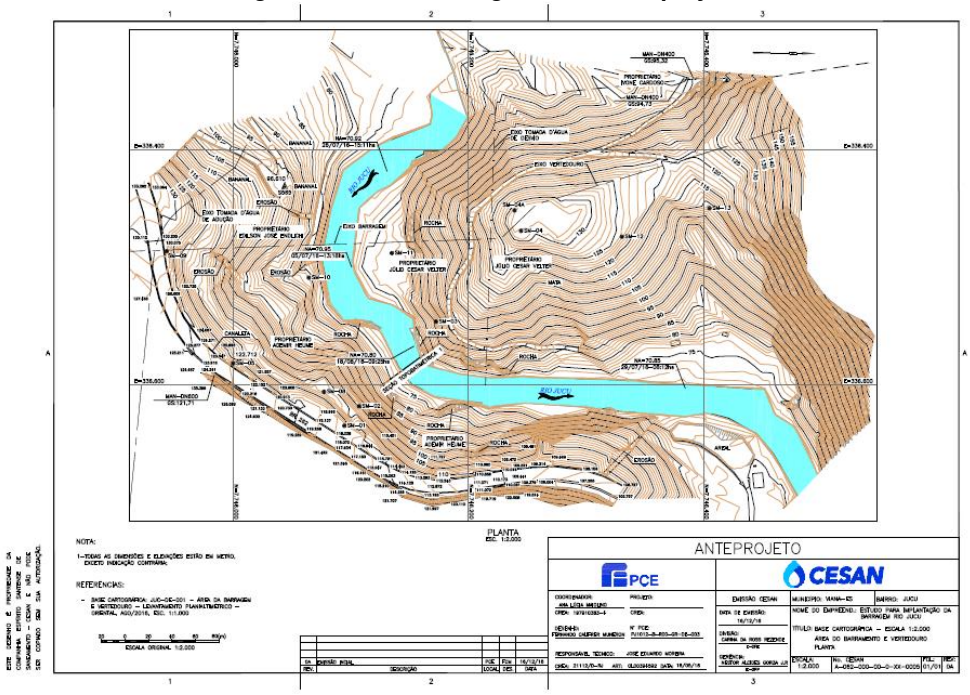
Fonte: Desenho A-062-000-00-0-XX-0099

Desenho A-062-000-00-0-XX-0100

Esse desenho se refere à base cartográfica da área do barramento e vertedouro. O levantamento é datado de 2018 e foi utilizado no desenvolvimento do projeto básico, estando restrito a área do barramento e com curvas de nível equidistantes em 1 m.

Cabe ressaltar que essa base cartográfica é idêntica àquela do desenho A-062-000-00-0-XX-0005.

Figura 2.3 - Base cartográfica do anteprojeto



Fonte: Desenho A-062-000-00-0-XX-0100

No desenho A-062-000-00-0-XX-0104-0A do projeto básico é apresentada a área do reservatório com a indicação da locação de 14 seções topobatimétricas. As seções, entretanto, não foram disponibilizadas.

Sendo assim o desenho adotado para a base cartográfica do projeto foi o Desenho A-062-000-00-0-XX-0100, por ele se mostrar mais consistente e detalhado, atendendo as necessidades para confecção de base cartográfica para o Projeto Básico, que está apresentada no documento A-062-000-00-1-XX-0001 da Intertechne.

O sistema de referência utilizado foi o Sistema Geodésico de referência SIRGAS 2000 – Fuso 24S, MC 39°WGr, sistema de projeção UTM Universal Transversa de Mercator.

2.2. HIDROLOGIA E SEDIMENTOLOGIA

Os estudos hidrológicos aqui apresentados trazem, além da caracterização fisiográfica e climatológica da bacia hidrográfica da Barragem Imigrantes, a caracterização do regime de vazões médias e máximas na seção do barramento.

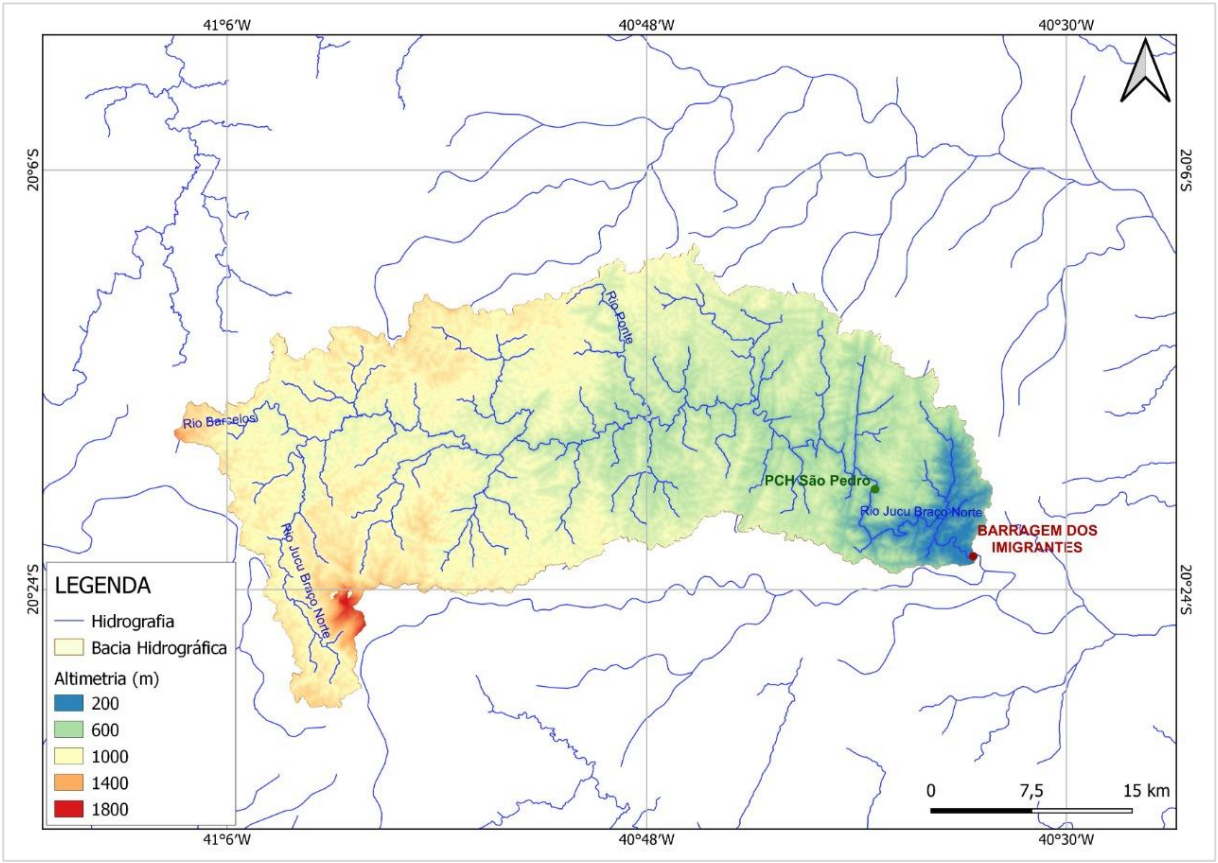
O regime de vazões medias mensais foi determinado por ocasião do Projeto Básico apresentado pela Poente, em 2018, e tem suas principais premissas e resultados aqui reproduzidos. Os estudos de vazões máximas anuais e sazonais foram atualizados, contemplando atualizações dos dados locais disponibilizados pela ANA, conforme apresentado no item 3.4

2.2.1.1 Caracterização Fisiográfica

O rio Jucu Braço Norte faz parte da bacia do rio Jucu, que compõe a Sub-Bacia 57 (Litorâneas do Espírito Santo) que, por sua vez, é parte da Bacia 5 (Bacia Hidrográfica do Atlântico – Trecho Leste) da hidrografia brasileira, segundo a divisão da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Na seção do barramento, o rio Jucu Braço Norte possui área de aproximadamente 1.132 km², a qual apresenta-se inteiramente inserida no estado do Espírito Santo. Apresenta suas nascentes na região serrana deste estado, mais especificamente na região de Pedra Azul, em Domingos Martins. Na região da divisa entre os municípios de Viana e Domingos Martins o rio Jucu Braço Norte se junta ao rio Jucu Braço Sul e, juntos, passam a formar o rio Jucu. Esse desagua no Oceano Atlântico no município de Vila Velha, e junto ao rio Santa Maria da Vitória é o responsável pelo abastecimento de água da Grande Vitória. A montante do barramento, é possível verificar a existência da PCH São Pedro.

A Figura 2.4 apresenta a hipsometria da bacia da Barragem dos Imigrantes, bem como a localização do empreendimento hidrelétrico a montante.

Figura 2.4 – Hipsometria da Bacia Hidrográfica da Barragem dos Imigrantes e Localização do Empreendimento Hidrelétrico a Montante



A Tabela 2.1 apresenta os principais parâmetros geométricos da bacia hidrográfica do rio Jucu Braço Norte, na seção da Barragem dos Imigrantes.

Tabela 2.1 – Parâmetros Geométricos da Bacia do rio Jucu Braço Norte na seção da Barragem dos Imigrantes

Parâmetro	Índice	Unidade	Valor
Área de drenagem	A	km²	1.132
Comprimento do Talvegue Principal	L	km	125,9
Perímetro	P	km	260,8
Comprimento Total dos Cursos d'Água	LT	km	525,8
Comprimento Reto entre Nascente e Exutória	L_t	km	49,0
Elevação da Nascente	H_n	m	1.009,0
Elevação no Barramento	H_f	m	84,0

A partir dos parâmetros geométricos apresentados, foram determinados os principais índices fisiográficos e morfológicos da bacia hidrográfica em estudo, os quais propiciam um melhor entendimento do seu comportamento hidrológico. Esses índices são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Índices Fisiográficos e Morfológicos da Bacia do rio Jucu Braço Norte na seção da Barragem dos Imigrantes

Índice	Equação	Unidade	Valor
Índice de Conformação ou Fator de	$K_f = A / L^2$	-	0,07
Índice de Compacidade	$K_c = 0,28 (P / A^{1/2})$	-	2,17
Densidade de Drenagem	$D_d = LT / A$	km/km²	0,46
Extensão Média do Escoamento	$l = A / 4 LT$	km	0,538
Sinuosidade do Curso D'Água	$S = L / L_t$	-	2,57
Declividade Média	$i = (H_n – H_f) L$	m/km	7,35
Tempo de Concentração	$Tc = 0,95 (L^3 / H)^{0,385}$	horas	18,25

2.2.1.2 Climatologia

Para a caracterização climatológica geral da bacia foram utilizadas as informações disponibilizadas pelo Clima-Date.org para o município de Domingos Martins. Essas informações se baseiam em dados do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)* que, por sua vez, utilizou dados coletados entre 1991 e 2021.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a bacia do rio Jucu Braço Norte apresenta clima do tipo Cfa (clima temperado úmido com verão quente).

Apresenta-se a seguir a caracterização da bacia do rio Jucu Braço Norte em relação aos principais parâmetros climatológicos, tendo-se como referência os valores determinados para o município onde essa bacia se insere.

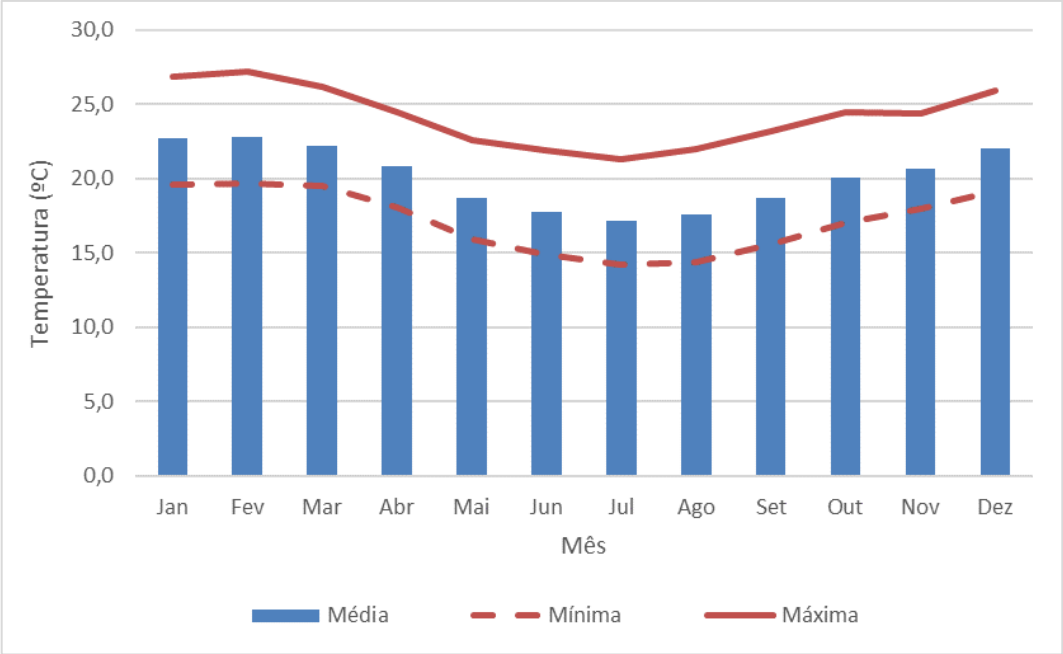
A Tabela 2.3 apresenta os parâmetros considerados; e a Figura 2.5 a Figura 2.8 apresentam as mesmas informações em forma gráfica.

Tabela 2.3 – Parâmetros Climatológicos – Domingos Martins

Parâmetro	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Temp. média (°C)	22,7	22,8	22,2	20,8	18,7	17,8	17,2	17,6	18,7	20,1	20,7	22,0	20,1
Temp. mínima (°C)	19,6	19,7	19,5	18,1	15,9	14,9	14,2	14,4	15,6	17,0	18,0	19,2	17,2
Temp. máxima (°C)	26,9	27,2	26,2	24,5	22,6	21,9	21,3	22,0	23,2	24,5	24,4	25,9	24,2
Precipitação (mm)	191,0	143,0	204,0	136,0	75,0	47,0	51,0	57,0	90,0	154,0	273,0	293,0	1714,0
Umidade (%)	79%	78%	82%	84%	82%	83%	82%	80%	79%	79%	83%	82%	81%
Horas de sol (h)	7,3	7,5	6,7	5,8	5,6	5,6	5,4	5,3	5,2	5,4	5,2	6,5	6,0

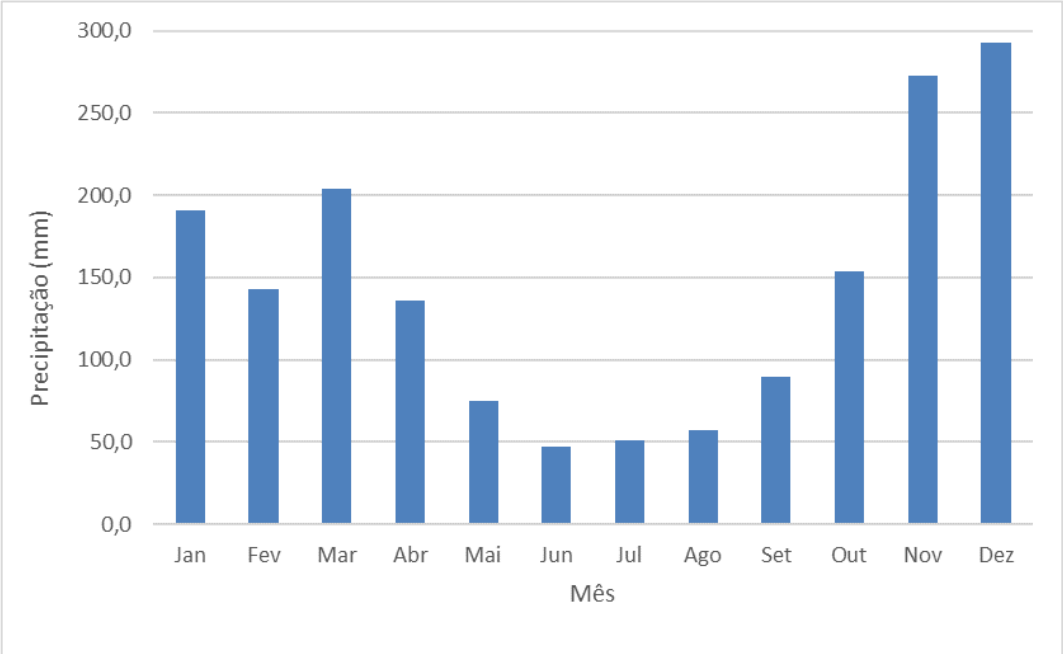
Verifica-se nos valores apresentados que a temperatura média é de 20,1°C, variando de 17,2°C em julho a 22,8°C em fevereiro. O período de temperaturas mais elevadas é dezembro a março, e o período de temperaturas mais baixas é junho a agosto.

Figura 2.5 – Temperaturas Médias Mensais (°C)



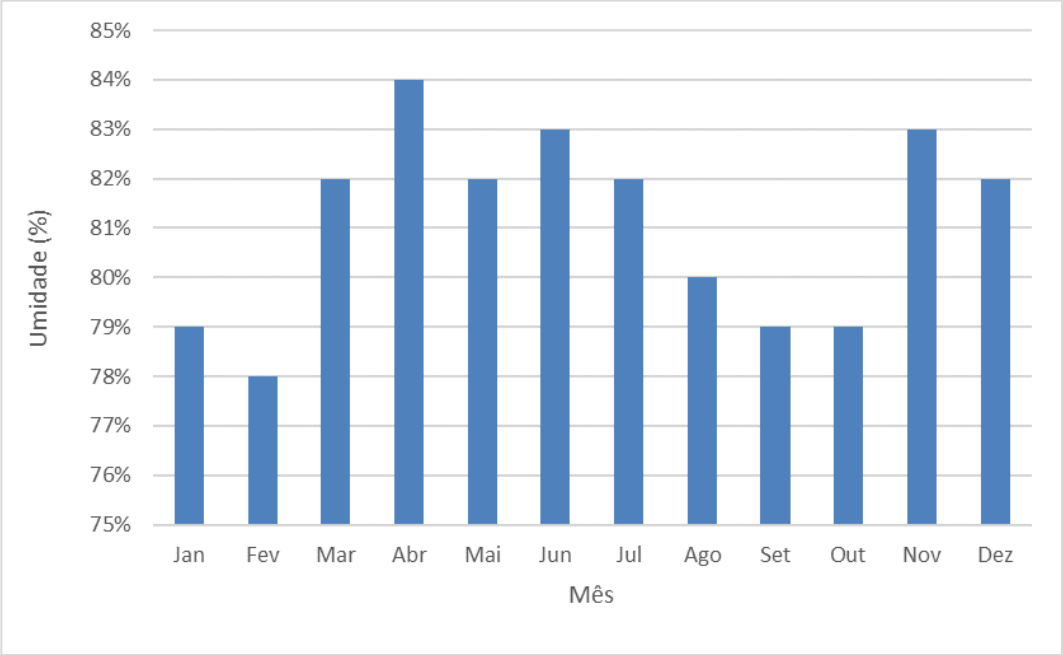
A bacia do rio Jucu Braço Norte apresenta uma sazonalidade pluviométrica definida, sendo os meses mais chuvosos novembro e dezembro, e o período mais seco julho a agosto, sendo que o mês mais seco possui uma diferencia de precipitação de 246 mm em relação ao mês mais chuvoso, conforme apresentado na Figura 2.6. A bacia apresenta uma pluviosidade média anual de 1.714 mm.

Figura 2.6 – Precipitações Médias Mensais (mm)



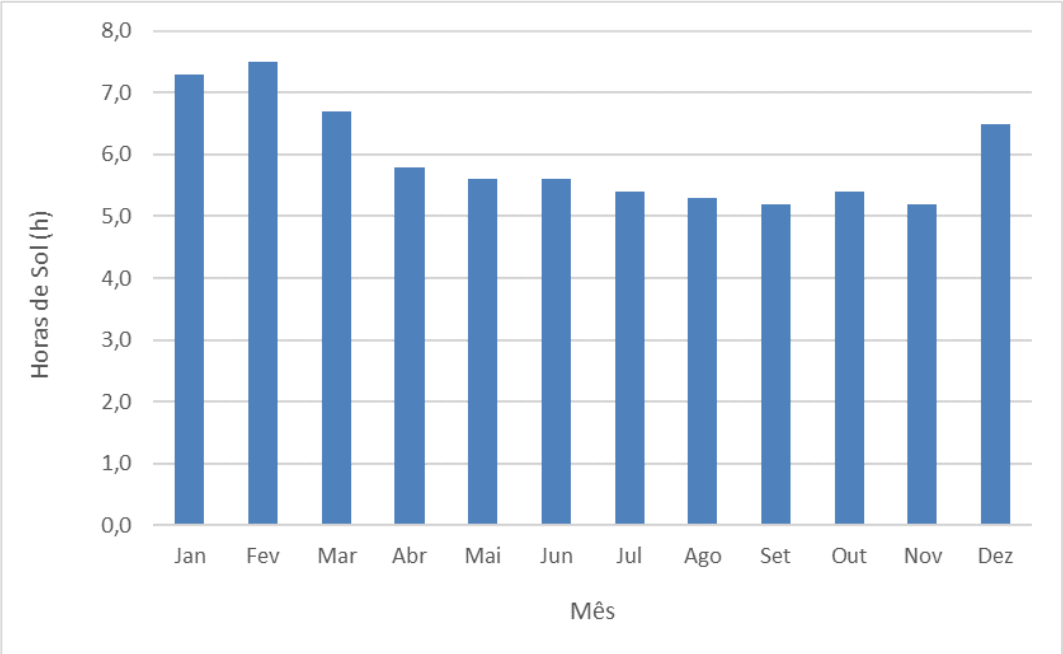
A umidade relativa mais baixa durante o ano é observada em fevereiro e o mês com maior umidade é abril, conforme apresentado na Figura 2.7.

Figura 2.7 – Umidade Relativa do Ar (%)



Os totais diários médios mensais de horas de insolação (Figura 2.8) se apresentam mais elevados nos meses de dezembro a março. Em termos médios, se verificam 6,0 horas diárias de sol na região.

Figura 2.8 – Insolação (horas)



2.2.1.3 Vazões Médias

Conforme estabelecido no documento Barragem dos Imigrantes Rio Jucu Braço Norte – Volume I – Projeto Básico – Hidrologia – Relatório Técnico (A-062-000-00-0-RT-0080-0A), emitido pela POENTE Engenharia & Consultoria, em dezembro de 2018, o estudo da série de vazões médias mensais foi determinado através dos postos fluviométricos Fazenda Jucuruaba (57230000), Marechal Floriano (57190000) e Córrego do Galo (57170000).

Para a determinação das séries de vazões médias mensais para o local de interesse, foram reconstituídas as séries de vazões com falhas no posto fluviométrico mais próximo ao eixo de interesse, Córrego do Galo, através de regressões estabelecidas com as vazões médias mensais dos demais postos. A ordem de aplicação das regressões se deu da maior para menor correlação obtida, obtendo-se uma série de vazões médias mensais para o período de outubro de 1949 a novembro de 2018, ou seja, uma série com 69 anos de dados.

A série obtida para o posto Córrego do Galo foi transferida por área de drenagem para o local de interesse, sendo o coeficiente multiplicador adotado de 1,1742. A série de vazões médias mensais obtida para a Barragem dos Imigrantes é indicada na Tabela 2.4 e sua curva de permanência é apresentada na Figura 2.9. Na Figura 2.10 são apresentadas as vazões médias anuais juntamente com a vazão média de logo termo.

Tabela 2.4 – Vazões Médias Mensais na Barragem dos Imigrantes

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1949										17,1	15,3	19,8	
1950	17,3	13,3	12,3	12,1	10,8	10,9	9,6	7,7	7,0	6,7	13,2	14,1	**11,2**
1951	8,9	11,0	18,2	11,8	10,2	13,2	9,4	9,8	7,2	7,2	6,2	11,6	**10,4**
1952	19,3	19,6	18,5	13,4	10,6	9,8	10,7	10,0	9,7	7,8	11,1	19,4	**13,3**
1953	14,6	16,4	12,7	12,0	10,8	9,9	8,2	6,9	6,8	6,4	13,1	16,2	**11,2**
1954	12,9	7,6	6,2	10,6	9,3	6,6	6,8	6,2	6,3	6,2	6,3	9,3	**7,9**
1955	8,9	6,9	5,9	8,6	7,5	6,1	4,7	4,4	3,5	6,8	18,2	17,2	**8,2**
1956	9,5	6,8	8,1	5,8	6,6	6,4	6,5	6,0	5,2	8,3	14,1	61,6	**12,1**
1957	35,1	12,6	18,9	15,5	15,3	14,2	10,6	8,8	8,0	6,9	8,7	24,9	**15,0**
1958	14,4	13,6	14,4	16,4	14,3	10,7	12,1	8,5	8,7	10,4	14,0	10,4	**12,3**
1959	16,1	7,7	20,6	11,1	10,4	8,0	7,7	7,0	7,5	10,3	15,8	32,8	**12,9**
1960	34,0	23,2	80,6	33,8	23,2	18,9	17,8	16,0	13,4	12,1	20,1	17,7	**25,9**
1961	34,1	24,8	19,3	16,1	14,4	13,9	11,3	9,9	8,9	8,5	10,3	10,4	**15,2**
1962	24,3	20,3	13,1	9,2	8,9	8,3	7,8	6,5	6,3	11,2	11,8	24,4	**12,7**
1963	11,8	14,1	8,6	7,5	6,4	7,4	5,9	6,1	5,9	6,3	7,4	6,8	**7,8**
1964	16,3	16,2	16,6	23,3	11,3	9,6	10,6	10,6	7,2	17,2	15,5	26,1	**15,0**
1965	30,7	25,3	20,6	19,4	16,2	13,8	13,1	11,2	10,1	12,9	32,5	15,0	**18,4**
1966	17,2	10,7	10,6	11,8	11,0	9,7	9,9	8,3	8,0	12,5	18,8	15,8	**12,0**
1967	13,9	18,6	18,7	14,9	15,5	10,9	10,6	8,6	8,1	7,8	14,5	25,0	**13,9**
1968	25,9	25,3	27,8	20,3	14,1	12,8	11,9	12,4	19,5	16,0	15,3	15,0	**18,0**
1969	16,4	19,7	14,4	12,3	10,9	15,9	11,8	10,0	9,0	10,3	21,4	26,0	**14,8**
1970	37,3	24,9	17,1	17,4	13,2	11,3	14,5	12,7	12,2	18,5	40,0	34,4	**21,1**
1971	16,0	15,4	17,5	12,8	11,6	11,9	12,1	10,9	12,1	14,0	39,7	36,3	**17,5**
1972	19,3	17,6	16,9	17,2	15,9	12,5	13,3	10,5	12,7	14,1	20,4	26,4	**16,4**
1973	19,6	17,7	47,7	31,1	21,5	17,7	15,3	13,2	12,2	19,0	17,9	29,3	**21,8**
1974	32,4	25,1	31,3	25,3	18,8	15,1	13,4	11,6	10,8	18,3	16,3	23,4	**20,2**
1975	32,5	31,3	21,3	17,8	15,8	14,6	13,7	10,7	12,9	21,4	23,1	15,7	**19,2**
1976	11,0	9,6	9,9	9,5	9,5	7,4	8,9	7,0	10,1	10,1	20,8	26,1	**11,7**
1977	17,1	10,0	9,1	12,0	10,7	8,2	7,1	6,0	7,4	9,7	19,7	22,2	**11,6**
1978	20,3	17,7	13,8	13,3	12,8	10,0	16,0	10,9	10,5	15,2	12,4	15,8	**14,1**
1979	41,9	64,2	42,7	32,5	23,3	19,3	16,8	15,8	14,6	13,8	22,0	30,4	**28,1**
1980	42,9	26,1	17,1	29,8	20,4	16,5	14,2	13,3	11,4	11,4	12,2	30,5	**20,5**
1981	14,6	13,8	17,7	19,9	15,7	13,6	11,7	12,6	9,5	12,1	37,6	20,0	**16,6**
1982	28,2	16,0	33,4	25,9	18,4	15,1	13,5	15,9	12,0	10,9	9,7	14,5	**17,8**
1983	29,5	20,6	14,2	16,5	14,0	11,2	9,7	8,3	12,4	18,9	25,1	31,3	**17,6**
1984	19,6	15,1	16,6	18,3	12,6	10,2	8,9	9,2	9,8	12,3	20,1	39,1	**16,0**
1985	64,9	38,0	33,9	22,8	19,7	16,6	16,1	15,2	16,2	19,5	25,4	31,4	**26,6**
1986	22,9	16,9	13,4	12,8	11,3	11,4	10,7	10,7	9,9	8,8	10,3	19,6	**13,2**
1987	22,6	14,7	24,3	20,9	13,3	12,1	10,2	8,9	10,0	8,0	21,7	21,9	**15,7**

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média
1988	24,0	14,4	16,3	15,4	10,5	10,0	8,8	8,2	7,5	14,2	14,2	12,2	**13,0**
1989	11,7	7,9	15,0	9,8	9,2	9,3	7,2	7,8	7,1	6,8	19,4	22,0	**11,1**
1990	9,0	9,6	9,5	10,2	7,3	5,3	9,7	9,5	5,3	6,5	11,6	12,1	**8,8**
1991	28,9	18,1	21,5	16,0	12,0	10,8	14,6	19,7	19,0	16,4	13,0	16,9	**17,2**
1992	16,6	15,5	11,0	11,7	10,4	10,8	17,8	12,3	11,4	14,6	37,3	30,7	**16,7**
1993	27,1	16,4	15,5	17,1	14,3	13,2	10,6	10,5	9,9	9,7	9,2	18,6	**14,3**
1994	39,2	14,7	33,5	22,0	20,3	15,7	13,5	11,2	9,9	10,3	11,8	17,9	**18,3**
1995	10,4	8,2	9,2	11,7	8,8	7,3	7,8	7,2	5,9	8,2	16,8	30,9	**11,0**
1996	23,4	12,1	10,1	10,9	10,2	8,7	7,1	6,6	8,6	11,5	33,4	29,0	**14,3**
1997	31,4	18,0	33,2	21,9	16,9	13,6	11,4	10,4	10,5	14,4	15,5	26,3	**18,6**
1998	18,8	18,2	14,3	13,1	11,0	9,3	8,8	9,6	6,8	10,8	21,3	21,4	**13,6**
1999	22,3	9,7	14,1	11,9	9,0	9,3	8,5	7,9	7,0	8,4	21,1	21,6	**12,6**
2000	17,4	18,8	16,5	13,4	10,7	9,9	8,5	7,4	8,4	6,3	17,9	29,6	**13,7**
2001	15,9	11,2	10,4	9,4	8,1	7,7	6,5	6,4	8,1	10,8	36,4	22,4	**12,8**
2002	28,5	19,9	15,3	12,7	11,5	9,6	9,4	8,1	12,0	7,8	12,1	20,2	**13,9**
2003	41,2	14,6	13,2	11,8	9,7	7,8	7,7	7,2	6,4	6,8	7,5	16,3	**12,5**
2004	29,2	30,5	27,5	23,5	15,2	14,3	12,6	10,6	8,1	9,0	9,0	23,7	**17,8**
2005	21,1	34,6	45,4	20,1	19,8	23,6	17,2	13,1	14,0	13,4	27,0	36,0	**23,8**
2006	20,7	12,8	33,5	23,3	15,3	13,9	12,3	10,7	12,1	15,3	27,1	31,6	**19,0**
2007	36,6	32,3	17,7	17,6	13,8	11,8	10,5	9,4	9,7	8,9	11,2	12,5	**16,0**
2008	10,0	22,8	23,8	20,0	12,2	9,6	8,6	7,0	6,5	8,2	25,4	31,9	**15,5**
2009	51,6	22,6	21,9	30,7	17,2	15,9	13,5	11,8	10,4	21,5	22,4	32,4	**22,6**
2010	14,8	10,8	21,0	19,5	14,5	11,3	11,2	8,7	7,1	8,6	19,5	19,7	**13,9**
2011	24,1	11,3	42,5	23,3	15,6	12,9	11,3	9,3	9,0	10,9	22,6	38,6	**19,3**
2012	40,6	15,8	13,3	13,6	13,3	12,7	9,7	15,3	10,6	8,3	22,4	16,7	**16,0**
2013	16,6	19,7	21,8	24,6	14,4	12,5	10,3	8,8	8,0	9,4	12,3	57,2	**18,0**
2014	21,3	14,3	12,3	17,5	11,5	9,7	10,0	9,7	7,1	8,0	11,4	12,1	**12,1**
2015	4,6	7,3	9,5	7,4	9,9	8,5	7,3	6,0	4,8	3,4	4,9	8,6	**6,8**
2016	14,4	7,1	6,8	3,7	3,6	4,1	3,8	2,8	2,8	3,7	11,4	18,2	**6,9**
2017	5,8	7,9	5,0	5,5	6,3	5,9	7,8	5,5	3,4	3,7	9,1	33,3	**8,3**
2018	7,9	20,6	17,1	19,9	16,5	10,1	7,6	6,7	6,3	6,6			**11,9**
Mín.	**4,6**	**6,8**	**5,0**	**3,7**	**3,6**	**4,1**	**3,8**	**2,8**	**2,8**	**3,4**	**4,9**	**6,8**	**4,4**
Méd.	**22,6**	**17,5**	**19,4**	**16,4**	**13,0**	**11,4**	**10,6**	**9,6**	**9,2**	**11,0**	**17,9**	**23,3**	**15,2**
Máx.	**64,9**	**64,2**	**80,6**	**33,8**	**23,3**	**23,6**	**17,8**	**19,7**	**19,5**	**21,5**	**40,0**	**61,6**	**39,2**

Figura 2.9 – Curva de Permanência

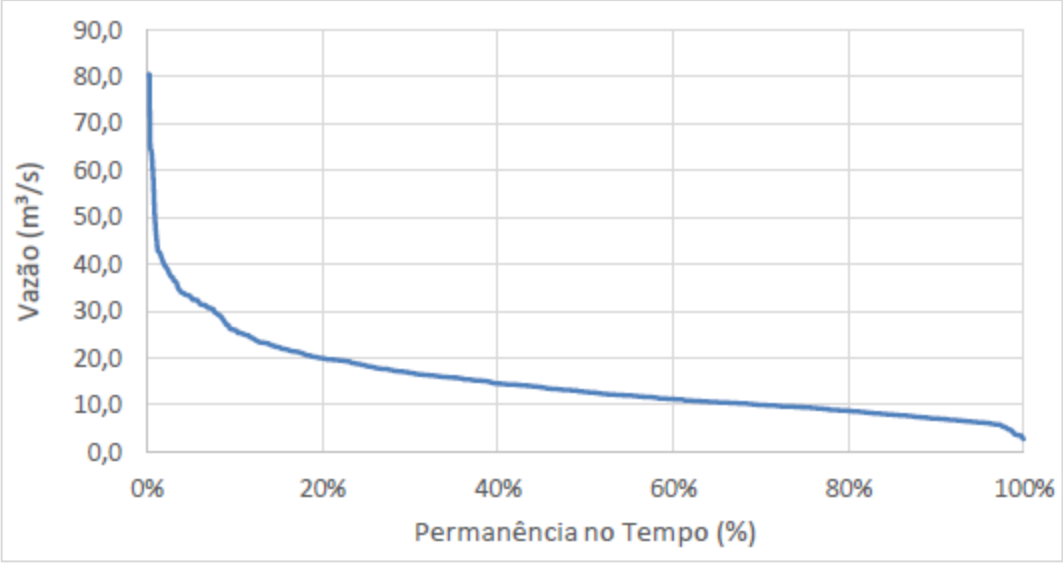
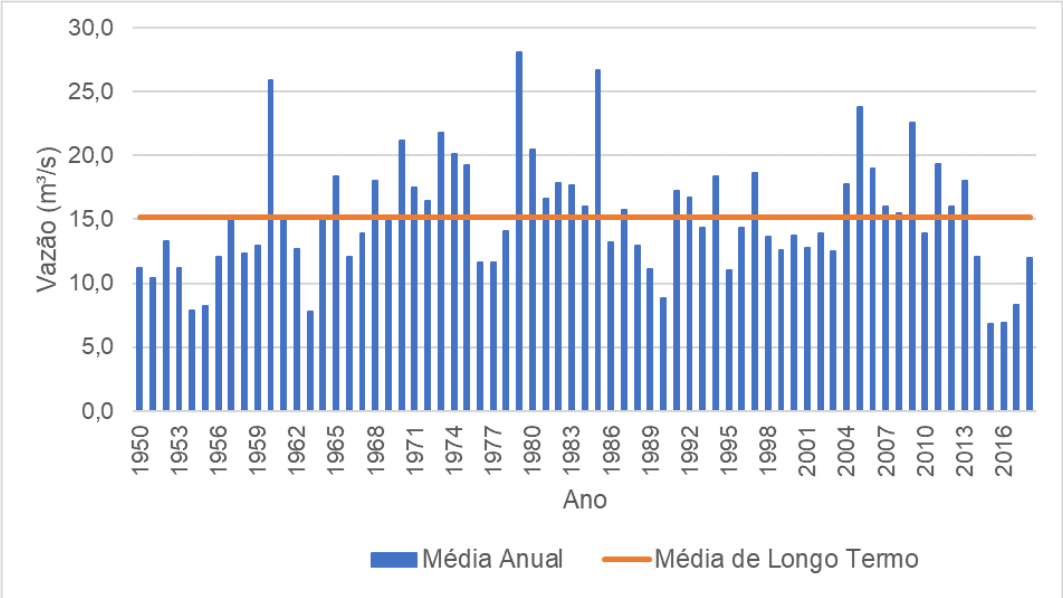


Figura 2.10 – Vazões Médias Anuais



2.2.1.4 Vazões Máximas Anuais

Os estudos de vazões máximas anuais, desenvolvidos na presente fase e em etapas anteriores, tiveram como base principal os registros médios diários da estação fluviométrica Córrego do Galo, cuja área de drenagem representa 86% da área de drenagem da Barragem dos Imigrantes. Nessa estação tem-se que a maior cheia registrada ocorreu em 1960, e a sua consideração nas análises influência de forma direta e significativa os resultados obtidos.

Nas análises efetuadas em dezembro de 2020, os dados então obtidos do HidroWeb, o portal de dados da ANA, compreendiam registros de cotas com início em abril de 1955 até a data presente, estando os mesmos consistidos até o fim do ano de 2014. A série de vazões obtida na ocasião compreendia o mesmo período de cotas e foi calculada a partir de uma gama de 8 conjuntos de curvas de descarga com validades para diferentes períodos a partir de outubro de 1955. Em relação às medições de descarga, a mais antiga datava de maio de 1969 e a mais recente de janeiro de 2020, totalizando 222 medições. A vazão média diária máxima então apresentada para a cheia de 1960 correspondia a 527,6 m³/s (cota 500 cm); já para a cheia de 1956/1957, que representa a segunda maior cota do histórico, a vazão então estimada foi de 180,4 m³/s (cota 350 cm).

Para a presente análise, uma nova consulta aos dados da estação Córrego do Galo foi efetuada junto ao Hidroweb. Nessa fase, verificou-se a disponibilização da mesma série de cotas disponível em dezembro de 2020, apenas com a complementação do período mais recente, estando os dados da cheia de 1960 constando ainda como consistidos. Já quanto às vazões, o Hidroweb as disponibiliza agora apenas para o período posterior a maio de 1969, sendo que a curva de descarga com validade mais antiga antes apresentada teve data inicial alterada de abril de 1955 para maio de 1969, e seu tramo para cotas superiores a 330 cm foi excluído. As demais curvas agora apresentadas para os diferentes períodos não apresentam diferenças significativas entre elas, tendo aqui sido consideradas a partir de uma única equação.

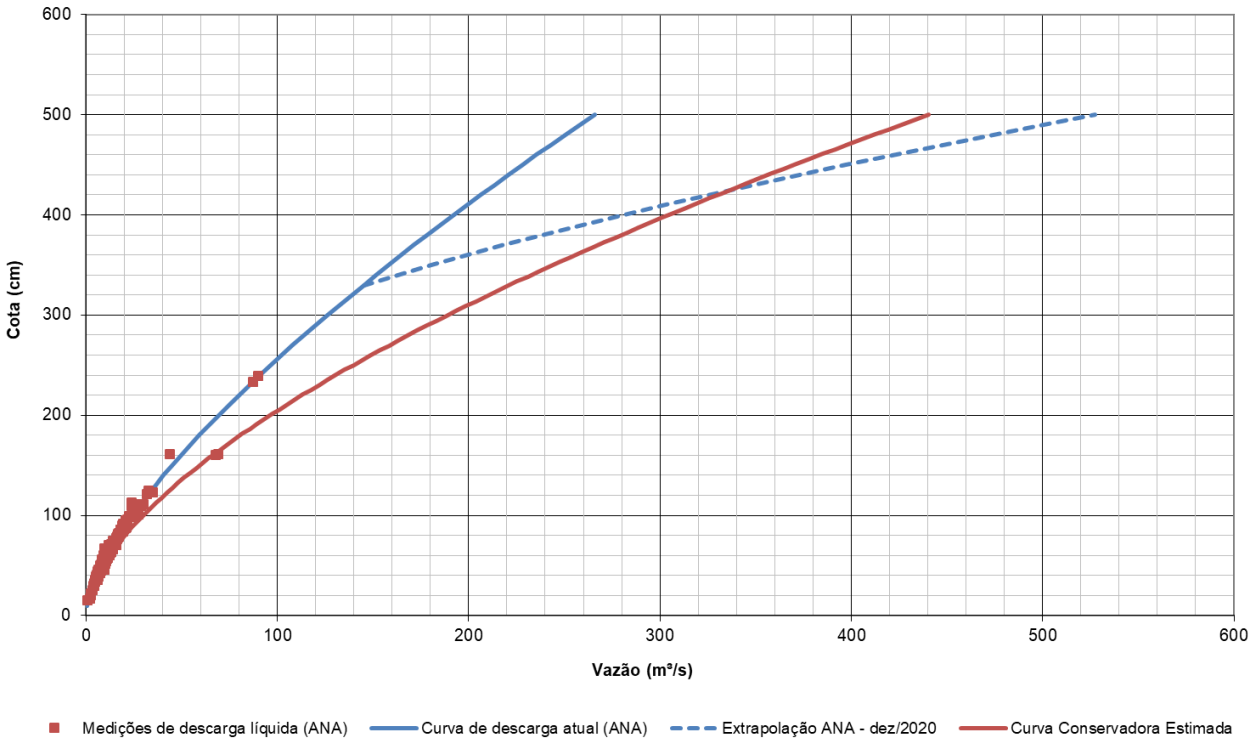
Desse cenário, conclui-se que em março de 1960 houve no rio Jucu, bem como em dezembro de 1957, cheias bastante severas, para as quais não se têm conhecimento do valor real. A antiguidade dos registros, bem como a ausência de medições efetuadas na época, dificulta a estimativa da magnitude destes eventos de forma mais assertiva.

Assim, na atual fase dos estudos, decidiu-se por uma análise de sensibilidade quanto a magnitude dessa cheia e sua influência nas vazões máximas esperadas na seção da Barragem dos Imigrantes nos diferentes tempos de recorrência. Os cenários considerados foram:

1. Atual série de vazões médias diárias disponibilizada pelo HidroWeb (a partir de maio de 1969);
2. Série a partir de abril de 1955, com vazões do período anterior a maio de 1969 calculadas com a curva de descarga atualmente disponibilizada pelo Hidroweb (aqui considerada uma curva única); e
3. Série a partir de abril de 1955, com vazões do período anterior a maio de 1969 calculadas com a curva de descarga estimada a partir das medições de descarga mais baixas, considerada aqui um cenário conservador.

A Figura 2.11 apresenta as medições de descarga existentes, a curva atual adotada pela ANA, a extrapolação disponível em dezembro de 2020 e a curva conservadora estimada.

Figura 2.11 – Estação Córrego do Galo – Curvas de Descarga



Das séries de vazões médias diárias obtidas para os diferentes cenários foram obtidas as correspondentes séries de vazões médias diárias máximas anuais e a essas foram ajustadas as distribuições de frequência de Gumbel ou Exponencial, conforme recomendação da Eletrobrás quanto ao coeficiente de assimetria.

A Tabela 2.5 apresenta as estatísticas das séries e a

Tabela 2.6 apresenta as vazões máximas obtidas para os diferentes tempos de recorrência.

Tabela 2.5 – Estatísticas das Séries de Vazões Médias Diárias Máximas Anuais – Estação Córrego do Galo – Diferentes Cenários

Parâmetro	Série Atual ANA (Cenário 1)	Série Estendida	
		Curva Atual ANA (Cenário 2)	Curva Estimada (Cenário 3)
Média (m³/s)	71,09	71,81	79,15
D. Padrão (m³/s)	28,70	38,65	57,70
C. Assim.	1,23	2,49	4,35
Máximo (m³/s)	160,63	265,94	440,41
N	51	65	65

Tabela 2.6 – Vazões Médias Diárias Máximas Anuais (m³/s) – Estação Córrego do Galo – Diferentes Cenários

TR (anos)	Série Atual ANA (Cenário 1)	Série Estendida	
		Curva Atual ANA (Cenário 2)	Curva Estimada (Cenário 3)
5	92	95	121
10	109	122	154
25	130	158	197
50	145	184	229
100	161	211	260
500	197	273	333
1.000	213	300	364
10.000	264	389	468

Os resultados obtidos do Cenário 1 consideram apenas as vazões atualmente disponibilizadas no Hidroweb, as quais não englobam as vazões correspondentes as duas maiores cheias registradas no histórico de cotas: 1960 e 1956. Os Cenários 2 e 3 estimam as vazões desses eventos, porém trazem em si um considerável grau de incerteza quanto à magnitude dos mesmos, uma vez que não há medições efetuadas e curvas de descarga definidas para o período. Esses dois cenários buscam representar um cenário mais otimista (Cenário 2) e um cenário mais conservador (Cenário 3), sendo que para esse último foi estimada para 1960 vazão ainda menor que a disponibilizada pela ANA em dezembro de 2020, e pela ANA retirada na sequência.

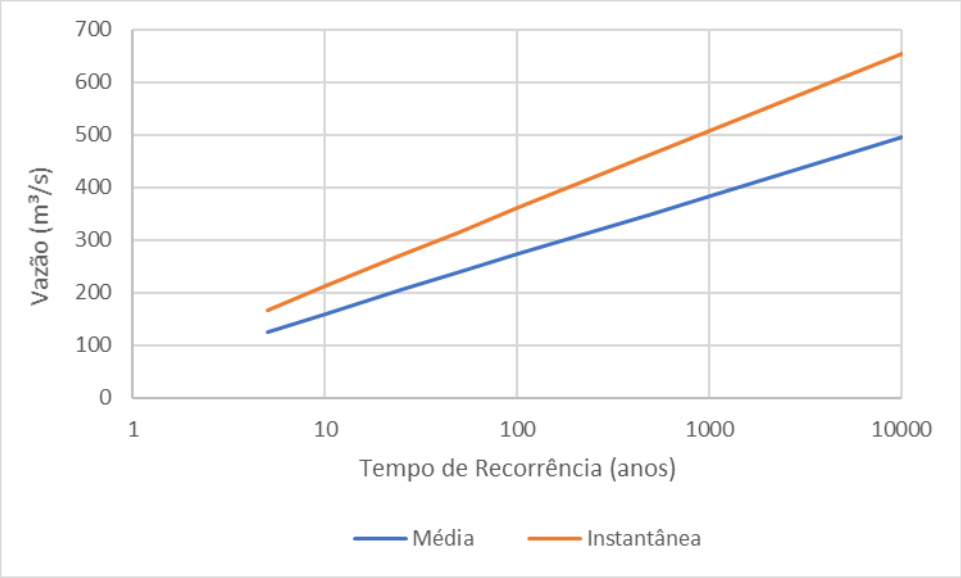
Assim, visando um maior nível de garantia para a estrutura de vertimento da Barragem dos Imigrantes, decidiu-se pela adoção, para a estação Córrego do Galo, do valor médio entre os resultados dos Cenários 2 e 3. Os resultados assim obtidos foram transferidos para a seção da Barragem dos Imigrantes por relação entre áreas de drenagem, e a eles foi aplicada a equação de Fuller para a estimativa das vazões máximas instantâneas.

Esses resultados são apresentados na Tabela 2.7 e na
Figura **2.12.**

Tabela 2.7 – Vazões Diárias Máximas Anuais – Barragem dos Imigrantes

TR (anos)	Vazão (m³/s)	
	Média	Instantânea
5	125	165
10	160	211
25	205	271
50	239	316
100	272	360
500	350	463
1.000	384	507
10.000	495	655

Figura 2.12 – Vazões Diárias Máximas Anuais – Barragem dos Imigrantes



2.2.1.5 Vazões Máximas Sazonais

Visando subsidiar o dimensionamento das estruturas da etapa de desvio, foram determinadas as vazões máximas dos períodos correspondente aos 4 meses mais secos (junho a setembro) e aos 6 meses mais secos (maio a outubro). A metodologia adotada foi a mesma considerada para a determinação das vazões máximas anuais, ou seja, a média dos resultados dos Cenários 2 e 3, e posterior transferência para a seção do barramento com aplicação da equação de Fuller para a estimativa das vazões máximas instantâneas.

Esses resultados são apresentados na Tabela 2.8.

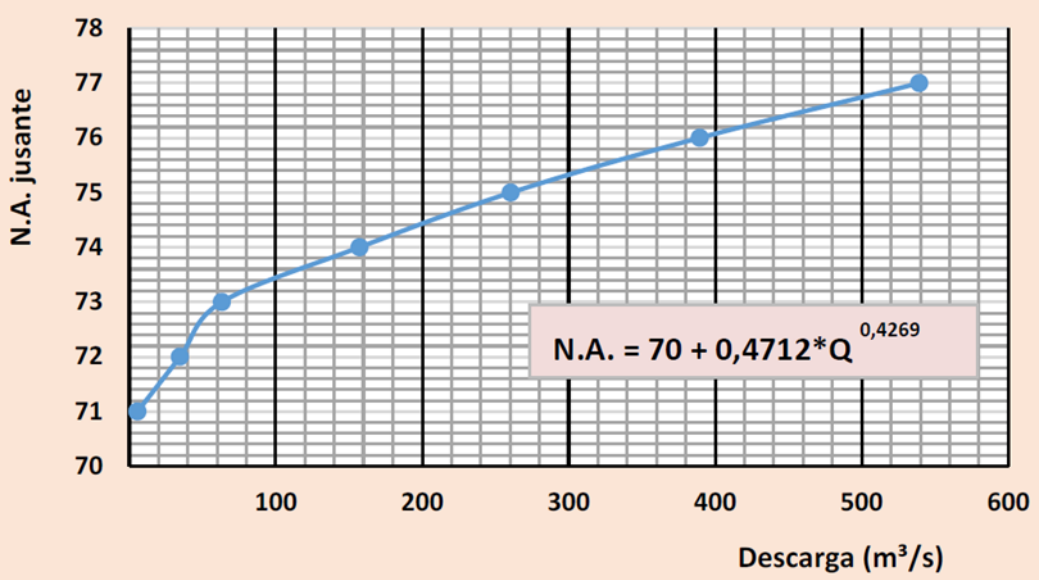
Tabela 2.8 – Vazões Diárias Máximas Sazonais – Barragem dos Imigrantes

TR (anos)	Vazão (m³/s)	
	4 Meses (jun a set)	6 Meses (mai a out)
5	37	49
10	48	63
25	63	82
50	74	96
100	85	110

2.3. CURVAS-CHAVES NOS LOCAIS DE INTERESSE

A metodologia para a obtenção dos níveis de jusante está apresentada no documento E-062-00-00-5-MC-0002-3 (realizado pela empresa POENTE Engenharia e Consultoria), referente ao projeto hidráulico do vertedouro, emitido em junho de 2021. Os níveis de jusante foram obtidos por meio da determinação da vazão escoada em uma seção do rio utilizando a expressão de Manning e admitindo-se uma declividade da linha de energia de 0,1% e um coeficiente de Manning de 0,035. O resultado obtido está apresentado na Figura 2.13

Figura 2.13 – Curva Chave a Jusante - Barragem dos Imigrantes



Deve-se comentar que este é um método aproximado e caso se variem os parâmetros de declividade e de rugosidade, pode-se obter diversos valores de níveis de jusante. O procedimento também parte da premissa de que o regime é uniforme, o que implica na existência da mesma seção transversal do escoamento ao longo do rio, o que não é compatível com as condições naturais do rio. A definição dos níveis a jusante deve ser necessariamente baseada em levantamentos de campo consistido na instalação de régua liminimétrica, medições de perfis de linha de água e medições diretas de vazão cobrindo ao menos um período hidrológico completo.

Nesse sentido, a especificação técnica apresentada no documento 22AL-BI-4-GE-G00-00-C-13-ET-0001 / A-062-000-00-0-ET-0011, solicita os serviços de levantamentos hidrométricos a serem realizados para o empreendimento Barragem dos Imigrantes. Portanto, recomenda-se que, durante o Projeto Executivo, seja realizada a análise dos níveis de jusante com as medições de campo, a fim de confirma-los, considerando que podem afetar as condições de restituição do fluxo descarregado pelo vertedouro, as condições de restituição do túnel de desvio (ensecadeira de jusante) e a definição da cota de acesso das válvulas dispersoras na saída do túnel de desvio.

Abaixo, apresentam-se os níveis de água de jusante de referência:

- Nível de Água para TR 10 anos (211 m³/s) ..... 74,63 m;
- Nível de Água para TR 50 anos (316 m³/s) ..... 75,50 m;
- Nível de Água para TR 100 anos (360 m³/s) ..... 75,81 m;
- Nível de Água para TR 1.000 anos (507 m³/s) ..... 76,73 m;

- Nível de Água para TR 10.000 anos (655 m³/s) ..... 77,51 m.

Na atual etapa do projeto será adotada a informação acima apresentada, sendo que, futuramente, em função dos levantamentos de campo, a curva chave poderá ser revisada podendo resultar em alterações no dimensionamento das estruturas que compõem o empreendimento.

2.4. ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

2.4.1 GEOLOGIA REGIONAL

A geologia regional para o sítio do empreendimento já foi apresentada de forma detalhada no documento 22AL-BI-4-GE-G00-00-C-12-RT-0001 / A-062-000-00-0-RT-0084 – Geral – Geologia e Geotecnia – Relatório Técnico.

De forma resumida, o contexto estrutural da área de interesse se insere no Orógeno Araçuai que se estende do Cráton do São Francisco ao litoral atlântico, aproximadamente entre os paralelos 15º e 21º S. Na altura do paralelo 21º, a passagem do Orógeno Araçuaí para o Orógeno Ribeira é marcada pela deflexão da estruturação brasiliana que muda da direção NNE, a norte, para NE, a sul.

O domínio tectônico interno é, de fato, o núcleo metamórfico-anatético do orógeno, onde ocorre espetacular quantidade de rochas graníticas originadas em estágios diversos da Orogênese Brasiliana.

Estratigraficamente, a área de interesse está situada na Bacia do Rio Jacu onde ocorrem rochas com variações cronológicas desde o Pré-Cambriano até cenozoico. As litologias presentes podem ser assim individualizadas:

- Coberturas Superficiais

  Depósitos fluviais argilo-arenosos e arenosos recentes - Q2a

  São constituídos por areias quartzosas de granulação média a grossa, de grãos angulosos mal selecionados, conglomeráticas, micáceas, por vezes com cascalhos e intercalações argilosas.

- Cordões litorâneos recentes - Q2cl

  Areia quartozosa de granulometria variável, por vezes, apresentam-se com textura fina, boa seleção e ausência de minerais micáceos.

- Grupo Barreiras - Enb

  Essa formação é constituída predominantemente de arenitos quartzosos, cauliníticos, maciço ou com estratificações, de coloração vermelha a alaranjado. No Estado do Espírito Santo, o Grupo Barreiras possui bastante destaque no norte do estado, porém na região sul a ocorrência é bem restrita.

  Os depósitos do Grupo Barreiras estão relacionados a associações faciológicas de ambiente fluvial entrelaçado, com menor participação de sedimentos depositados por fluxos de detritos e fácies de planície de inundação.

- Suíte Intrusiva Espírito Santo

  Maciço Viana - εγ5lesvi(gr) - εγ5lesvi(ck)

Os corpos de granito (gr) localizados no sul da cidade de Vitória são classificados como alcalinos de granulação fina a média por vezes porfiríticos, tipo I. O corpo de charnockito (ck) localizado nas proximidades da cidade de Viana é caracterizado como porfirítico, metaluminoso, calcioalcalino de alto K.

Maciço Vitória - ε\γ5les (vit)

O maciço é composto predominantemente por granito porfirítico (vit), de granulação média e por vezes com foliação de fluxo magmático. Observa-se ainda em afloramentos localizados em ilhas e costões rochosos, a presença de migmatitos e leucogranitos.

Maciço Mestre Alváro - ε\γ5les (ma)

Granito porfirítico de composição heterogênea, localizado predominantemente a norte de Vitória, na cidade de Serra.

- Província Mantiqueira

Granitoides foliados a gnáissicos dominantemente metaluminosos, Calcialcalinos, Tipo I - NP3\γ1l (jqt) - NP3\γ1l (st) - NP3\γ1l (ac)

Os ortognaisses Jequitibá (jqt) de composição tonalítica possuem variações para quartzodiorítica e granodiorítica, raramente granítica ou quartzo-monzodiorítica. Geralmente possuem cor cinza-clara a esbranquiçada, às vezes cinza-escura, granulação grosseira e são compostos de quartzo, feldspato, biotita, pouca granada e, localmente anfibólio. São descritos veios de quartzo, aplíticos e pegmatíticos, que cortam estas rochas ou preenchem fraturas.

Os ortognaisses enderbíticos Santa Tereza (st) compõem-se de quartzo, feldspato, biotita, hiperstênio, subordinadamente anfibólio e granada. Possuem granulação média a grossa, geralmente possuem foliação incipiente bem pronunciada e cor cinza-escura, esverdeada e amarelada quando alterada.

Os ortognaisses Alfredo Chaves (ac) ocorre nas proximidades das cidades de São Miguel e Alfredo Chaves. Englobam rochas de coloração cinza e esbranquiçada, leucocráticas e de granulação grosseira. Possuem estruturas gnáissicas com porções maciças e foliações de baixo ângulo.

Complexo Nova Venécia - NP3nv

O Complexo Nova Venécia é constituído de paragnaisses peraluminosos, ricos em biotita, cordierita, granada e/ou sillimanita, com intercalações de cordierita granulito e rocha calcissilicática.

No Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo estes gnaisses ocorrem primeiramente na porção noroeste, na divisa com estado de Minas Gerais, depois torna a ocorrer mais a sudeste em Nova Venécia, cidade que deu o nome, e se estende continuamente sentido norte-sul até as proximidades da cidade de Iconha.

Vieira (1993), e Baltazar (2010) individualizaram gnaisses quartzosos. Trata-se de uma sequência pelito-areno-carbonática constituída predominantemente por granadasillimanita (cordierita) gnaisses, localmente deformados, com intercalações de gnaisses calcissilicáticos, biotita-granada xistos, muscovita-xistos e quartzitos.

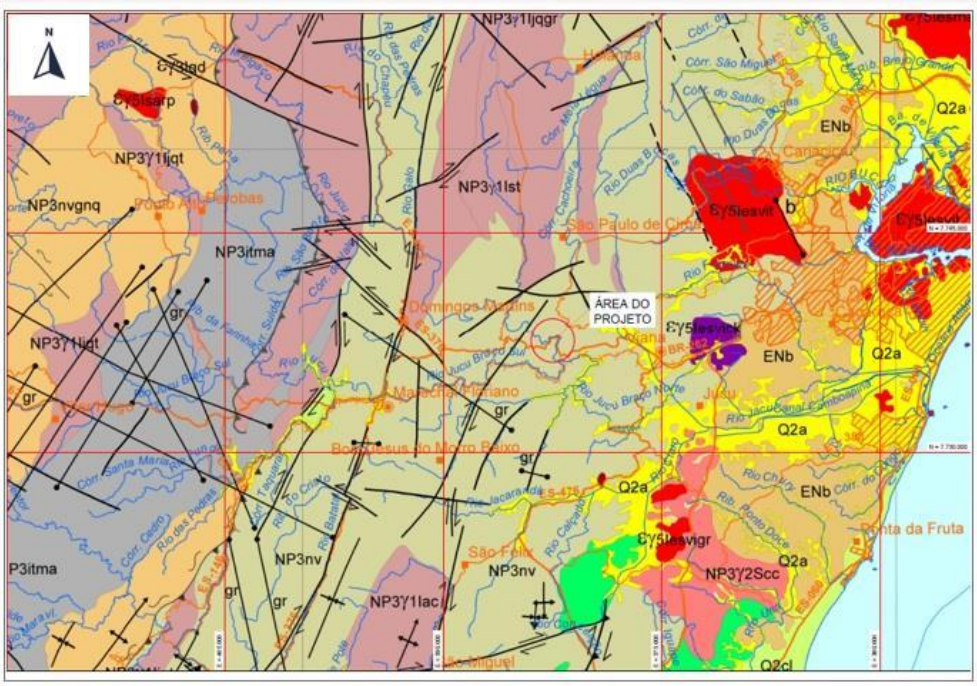
Os granada-sillimanita (cordierita) gnaisses representam a sequência originalmente pelítica. Existem pequenas variações composicionais, que podem refletir variações faciológicas, determinadas não só pelo conteúdo de seus componentes mineralógicos essenciais, tais como quartzo, granada, biotita, sillimanita e plagioclásio, mas também pela variação granulométrica local ocorrendo mobilizados quartzo-feldspáticos denunciando migmatização localizada.

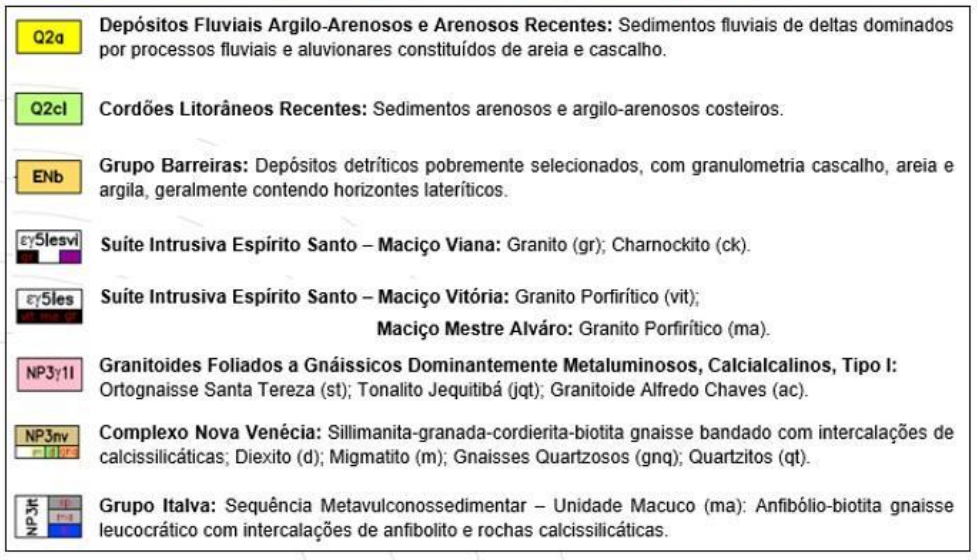
Grupo Italva - NP3it (ma)

A Unidade Macuco foi individualizada a leste dos maciços Mimoso do Sul, Castelo e Aracê, aparece no mapa na parte central de forma alongada. É formada por um conjunto de gnaisses homogêneos, cujas características e associações com outros litotipos, sugerem origem vulcanossedimentar.

Dois tipos principais de gnaisses constituem a Unidade Macuco: hornblenda-biotita gnaisse, com intercalações anfibolito, muscovita-sillimanita-(granada)-biotita gnaisses, rochas calcissilicáticas, mármore e rochas metaultramáficas; e granada-biotita gnaisse. Essa unidade segundo Duarte (2012), o hornblenda-biotita gnaisse tem coloração cinza clara, granulação dominantemente fina, sendo localmente, fina a média, e composição variando de granítica a granodiorítica. É comumente anisotrópico, apresentando bandeamento fino dado pela alternância de bandas milimétricas a centimétricas quartzofeldspáticas e filmes ricos em biotita e, localmente, granada. Xistosidade grossa pouco penetrativa é definida pela orientação incipiente de cristais de biotita e, localmente, também de porfiroblastos de feldspato.

Figura 2.14 – Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo





Fonte: CPRM, 2013

2.4.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCAIS

De acordo com o Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo (CPRM, 2013), a área de implantação da Barragem de Imigrantes está inserida na unidade geológica Complexo Nova Venécia (NP3nv), constituído por paragnaisses peraluminosos, ricos em biotita, cordierita, granada e/ou sillimanita, com intercalações de cordierita granulito e rocha calcissilicática.

Pode-se observar em alguns cortes estradais a exposição dos solos coluvionares e solos residuais produzidos a partir desses gnaisses. Essas exposições, em geral, são formadas por uma cobertura inicial de solos orgânicos de pequena espessura, sotopostos por solos coluvionares. Esses últimos apresentam em geral coloração amarelada com raras concreções ferruginosas e aspecto por vezes poroso. Logo abaixo do colúvio ocorrem os solos residuais maduros de gnaisses, em contato não muito claramente definido. São solos mais avermelhados, silto-argilosos e medianamente a pouco compactos. Essa

característica de compactação pode estar afetada pelos efeitos de alteração superficial desses solos devido à sua exposição, uma vez considerados os valores de SPT obtidos nas sondagens realizadas e que atravessaram esses solos residuais.

A Figura 2.15, a seguir, ilustra um corte estradal em solos coluvionares cobertos por camada de solos orgânico pouco espessa.

Figura 2.15 – Aspecto do perfil de alteração em corte de estrada vicinal. Solo coluvionar com aspecto poroso



Em alguns locais, ocorrem escorregamentos de pequeno porte, em geral limitados à presença dos solos residuais. Embora as presenças de cicatrizes de escorregamentos nos solos que ocorrem na área de implantação do empreendimento, como as apresentadas nas fotos anteriores, são relativamente de pequeno número, deve-se considerar que a boa preservação da proteção vegetal de maior porte tem uma importante influência na estabilidade dos taludes em solo. A obrigatória supressão dessa vegetação para possibilitar a formação do reservatório da Barragem de Imigrantes pode resultar na ocorrência de instabilizações nas margens do reservatório e junto às estruturas do barramento. De acordo com as informações disponíveis, o reservatório da Barragem de Imigrantes poderá ter oscilações no nível de água do reservatório de até 30 m, estando os solos coluvionares e residuais que constituem as encostas naturais sujeitos à saturação e posterior rebaixamento acentuado.

As sondagens executadas na região mostram que o topo de rocha, em geral, se caracteriza por uma zona superior de rocha muito fraturada e medianamente alterada, que pode ter espessuras de menos de 1 m até quase uma dezena de metros, recobrindo o topo de rocha sã.

Um importante afloramento de rocha gnáissica foi identificado na margem esquerda a jusante da Barragem. Trata-se de uma rocha com excelentes condições geomecânicas, mostrando-se sã, muito coerente e pouco fraturada. A extensão total desse afloramento, tanto para montante como para jusante do ponto de observação, não pode ser definida no campo devido a presença de extensa cobertura vegetal (mata). A ocorrência de afloramentos rochosos visíveis na região visitada pode ser considerada como pequena. Além do afloramento mencionado anteriormente, foram identificados vastos afloramentos no corte estradal para a implantação da BR-262, na ombreira direita do barramento. A

calha do rio apresenta algumas corredeiras, principalmente a montante do barramento, indicando uma característica rochoso para o leito do rio.

2.4.3 CARACTERÍSTICAS DAS FUNDAÇÕES

Fundação da Barragem

Na área de implantação da Barragem foram executadas 17 sondagens mistas. Essas sondagens caracterizaram a presença de camadas de solo na ordem de 10 m na ombreira direta, e 4 m na ombreira esquerda da barragem.

A permeabilidade do solo residual e rocha alterada é da ordem de $1x10^{-4}$cm/s.

As camadas superficiais são constituídas de solos coluvionares, residual maduro, com NSPT médio de 8 golpes. A camada subjacente é constituída de solos de rocha alterada, com NSPT acima de 40 para as camadas inferiores, antes de se alcançar os patamares de rocha. Esses solos apresentam valores de permeabilidade na ordem de 10^{-4} cm/s.

De maneira geral é esperado que os solos apresentem capacidade de carga na ordem de 300 kPa, o que a princípio garante as condições de estabilidade das fundações para as estruturas previstas.

O eixo estudado para a Barragem visa a utilização de materiais de construção provenientes das escavações obrigatórias durante a obra. As sondagens realizadas nas áreas de empréstimo indicam materiais terrosos que a princípio atendem aos critérios de boa prática da engenharia para sua utilização como núcleo impermeável para o caso de barragem de enrocamento com núcleo de argila.

Estruturas de concreto

Na região do túnel de desvio, as investigações apontam boas características dos solos, com NSPT na ordem de 15 golpes nas camadas abaixo de 5 m. Os horizontes de material terroso nessa região se aprofundam até aproximadamente 20 m. Não foram realizados ensaios de permeabilidade, porém, é provável que os solos apresentem valores de condutividade na ordem de 10^{-4} cm/s, assim como observado nas investigações realizadas no eixo da barragem do projeto executivo apresentado.

As características da fundação do vertedouro são similares das demais regiões analisadas, com NSPT médio acima de 20 golpes, e coeficiente de permeabilidade de aproximadamente 10^{-4} cm/s.

Ensecadeiras

As ensecadeiras para o desvio do rio serão compostas por cordão de enrocamento lançado e vedação externa também lançada até a cota 71,50 m para montante e jusante. Acima destas cotas os materiais deverão ser compactados até as elevações 90,00 m e 75,50 m que correspondem às cotas de coroamento das ensecadeiras de montante e jusante respectivamente.

2.4.4 PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA E CONDUTIVIDADE DOS MATERIAIS

Os parâmetros de resistência dos materiais de construção adotados nas análises basearam-se em valores obtidos a partir de ensaios de laboratório e valores típicos de parâmetros difundidos na literatura técnica específica.

Tabela 2-9: Parâmetros a adotar nas análises de estabilidade do projeto básico

Material	γ_{sat}	φ'	c'	k
	kN/m³	Graus	kPa	cm/s
1AC – Solo Compactado	19	28	20	10^{-7}
1AL – Solo Lançado	15	25	10	10^{-4}
3A – Material de Filtro	19	33	0	10^{-3}
4A – Transição Fina	19	33	0	10^{-3}
4B – Transição Média	19	35	0	10^{-3}
4C – Transição única	19	35	0	10^{-3}
5AC – Enrocamento Compactado	21,5	45	0	10^{-1}
5AL- Enrocamento Lançado	20	40	0	10^{-1}
Solo Residual – Fundação	18	30	20	10^{-4}
Rocha alterada – Fundação	21	32	60	10^{-4}
Rocha sã - Fundação	25	40	400	10^{-5}

NOTAS: γ: massa específica; c': coesão efetiva; Φ': ângulo de atrito efetivo; K: Coeficiente de permeabilidade.

Para os valores de condutividade hidráulica da fundação foram considerados os resultados dos ensaios de perda d'água realizados nos furos de sondagem.

Para os aterros compactados será considerada anisotropia na permeabilidade, sendo utilizada a relação kh=10kv, ou seja, o kh=$10^{-6}cm/s$.

3. ESTUDOS FINAIS

3.1. ARRANJO GERAL DO PROJETO

O arranjo geral da Barragem Imigrantes está mostrado na Figura 3.1, e contempla uma barragem de terra coroada na elevação 123,50 m e um vertedouro não-controlado, do tipo labirinto com crista na elevação 120,00 m posicionado na ombreira esquerda. O desvio do rio para a construção do barramento está posicionado na margem esquerda, e será realizado por um túnel.

Figura 3.1 – Arranjo Geral da Barragem dos Imigrantes



3.2. DESVIO DO RIO

O estudo realizado levou à escolha de um esquema de desvio mediante a construção de um túnel de desvio ao longo da margem esquerda do rio. O seu dimensionamento foi realizado para desviar uma vazão de 316 m³/s, associada a um tempo de recorrência de 50 anos (considerando o período úmido). O túnel de desvio possui duas seções transversais. A primeira seção transversal é do tipo arco ferradura com seção interna circular com raio de 2,70 m, conforme ilustrado na Figura 3.2. Essa seção foi projetada considerando o trecho inicial de escavação em solo e terá comprimento aproximado de 62,00 m. A segunda seção é do tipo arco retângulo com as seguintes dimensões principais: 6,50 m de altura e 6,00 m de largura (Figura 3.3), e comprimento de 132,50 m. Essa seção foi projetada considerando o trecho de escavação em rocha.

O emboque do túnel de desvio encontra-se na elevação 70,00 m e o desemboque na elevação 69,50 m, sendo que o túnel de desvio possui um comprimento total da ordem de 211 m. A estrutura de emboque e de controle do túnel de desvio será construída em concreto. A estrutura possui dois vãos com 2,9 m de largura e 6,5 m de altura. Cada um dos vãos possuirá duas ranhuras com respectivas guias para introdução de comportas. Referente à velocidade no início da estrutura de controle, o fluxo atingirá uma velocidade da ordem de 8,4 m/s, nesse sentido, a montante da estrutura, o canal deverá ser protegido considerando-se esta magnitude de velocidade.

O canal de aproximação do túnel de desvio será escavado na elevação 70,00 m com uma rampa para a elevação 69,50 m logo a montante do emboque do túnel, possuirá comprimento total de cerca de 95,0 m e 11,5 m de largura. A velocidade no canal de aproximação atingirá o valor da ordem de 2,0 m/s. O canal de restituição do túnel será

escavado na elevação 69,50 m, possuirá comprimento total de 61,37 m e 9,0 m de largura. A velocidade no canal de restituição atingirá o valor da ordem de 6,0 m/s.

Figura 3.2 – Seção Típica do Túnel de Desvio da Barragem dos Imigrantes – Escavação em Solo

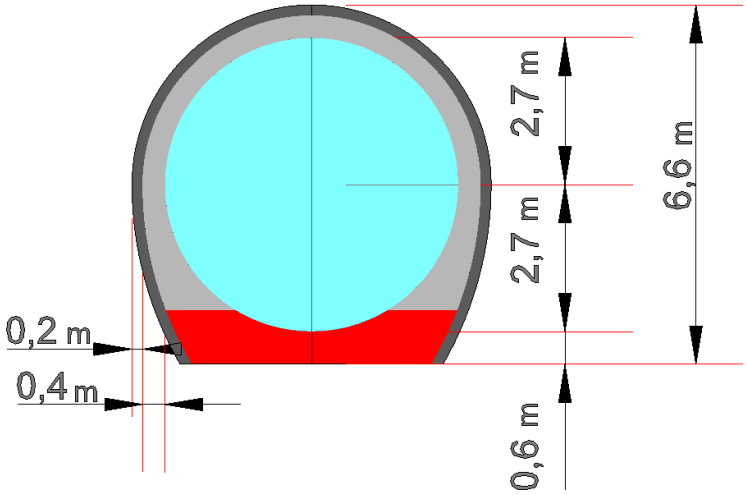
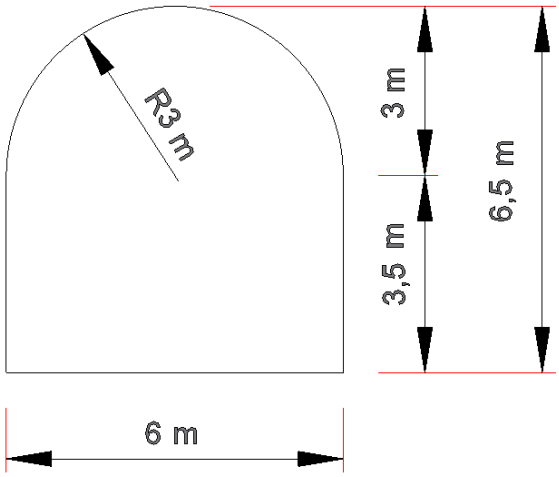


Figura 3.3 – Seção Típica do Túnel de Desvio da Barragem dos Imigrantes – Escavação em Rocha



Para proteção das obras de construção do túnel de desvio serão utilizados septos naturais de proteção complementados com o lançamento de ensecadeiras onde necessário, definidos para uma vazão de 211 m³/s, a qual está associada a uma cheia com tempo de recorrência de 10 anos (considerando o período úmido). Desse modo, a cota de coroamento da proteção se dará na elevação 76,50 m. Os septos naturais terão inclinação dos taludes igual a 1,0V:2,0H e as ensecadeiras terão taludes de inclinação variável.

Durante a fase do desvio, o fluxo do rio Jucu Braço Norte escoará pelo túnel de desvio até que seja possível o início do enchimento do reservatório. Na data de início do enchimento do reservatório será necessário que as estruturas que compõe o barramento, ou seja, barragem principal, barragens de fechamento, vertedouro e tomada de água estejam finalizadas em sua cota de coroamento final.

A capacidade de descarga do túnel de desvio foi definida através do cálculo das perdas de carga ao longo dos canais de entrada e saída do desvio e no interior do túnel propriamente dito (perdas localizadas na contração e expansão entre as seções do túnel).

As perdas de carga nos canais de saída e entrada escavados em rocha foram determinadas por meio do cálculo de remanso pelos canais considerando-se um coeficiente de Strickler de 28 $m^{1/3}/s$. No trecho de escavação subterrânea do túnel escavado em rocha considerou-se um coeficiente de Strickler de 33 $m^{1/3}/s$ e nos trechos das estruturas de controle e do túnel escavado em solo (executadas em concreto) foi usado um coeficiente de Strickler de 70 $m^{1/3}/s$. Considerou-se na entrada do túnel um coeficiente de perda de carga localizada de 0,10, um coeficiente de perda de carga localizada de 0,20 no início da contração da seção do túnel circular e 0,30 na expansão entre o túnel com seção circular e a seção arco retângulo. As velocidades no interior do túnel de desvio serão da ordem de 13,8 m/s e 9,4 m/s, considerando a primeira seção (seção circular) e a segunda seção (seção arco retângulo) do túnel, respectivamente.

A Figura 3.4 e a Tabela 3-2 apresentam a curva de descarga do túnel de desvio. Pode-se observar que para uma vazão de 316 m^3/s (50 anos de recorrência anual) os níveis de água a montante e a jusante resultam, respectivamente, nas elevações 89,90 m e 75,50 m. Dessa forma, os septos/ensecadeiras de montante e de jusante resultaram nas cotas de coroamento 91,00 m (borda livre de 1,10 m) e 76,50 m (borda livre de 1,00 m), respectivamente.

Figura 3.4 – Curva de Descarga do Túnel de Desvio da Barragem dos Imigrantes

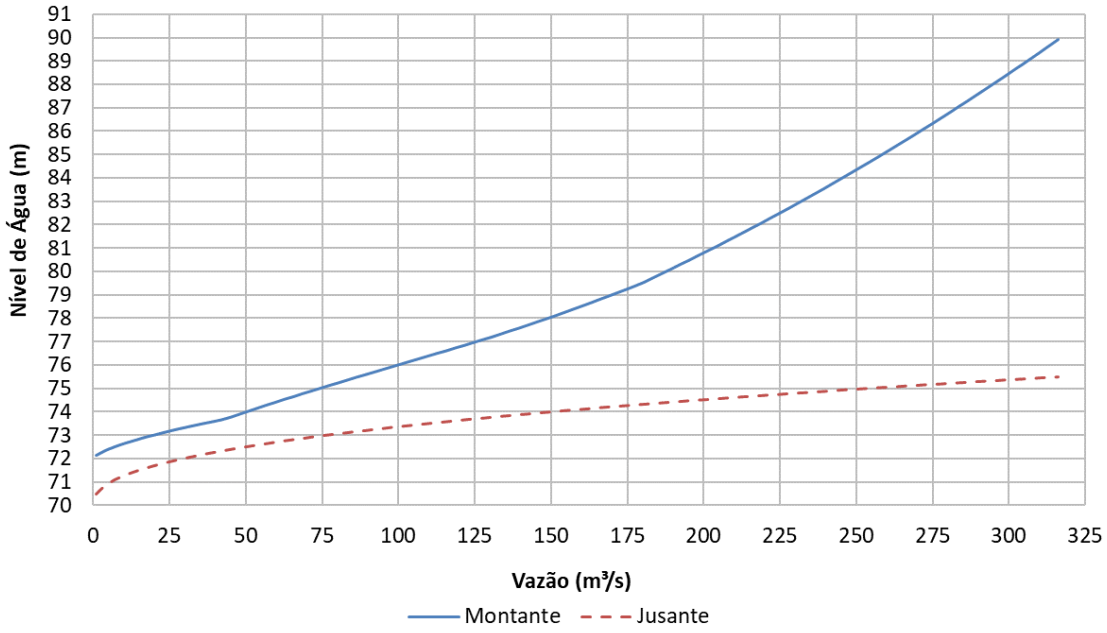


Tabela 3-1 – Capacidade de Descarga do Túnel de Desvio da Barragem dos Imigrantes

Vazão (m^3/s)	Nível de Jusante (m)	Nível de Montante (m)	Vazão (m^3/s)	Nível de Jusante (m)	Nível de Montante (m)
1	70,47	72,14	165	74,17	78,76
10	71,26	72,64	170	74,22	79,01
20	71,69	73,01	180	74,32	79,51
30	72,01	73,33	190	74,43	80,15
40	72,28	73,60	200	74,52	80,80
50	72,50	73,99	211	74,63	81,53
60	72,71	74,42	220	74,71	82,15
70	72,89	74,83	230	74,80	82,86
80	73,06	75,23	240	74,89	83,59
90	73,22	75,62	250	74,98	84,35
100	73,37	76,01	260	75,06	85,12
110	73,50	76,40	271	75,15	86,00
120	73,64	76,78	280	75,22	86,74
130	73,76	77,17	290	75,30	87,59
140	73,88	77,60	300	75,38	88,46
150	74,00	78,05	310	75,45	89,35
160	74,11	78,51	316	75,50	89,90

Ressalta-se que a indefinição do nível de jusante afeta as condições de restituição do túnel de desvio (ensecadeira de jusante) podendo inclusive afetar a cota da ensecadeira de montante.

O túnel de desvio e canais de entrada e saída foram concebidos de modo a possibilitar a transferência do fluxo do rio Jucu Braço Norte para o referido túnel com desnível entre os níveis de montante e de jusante dos septos naturais/ensecadeiras inferior a 3,0 m.

As ensecadeiras de montante e de jusante, utilizadas para a construção da barragem principal, foram definidas de modo a atender as condições da cheia associada a um tempo de recorrência de 50 anos. Assim, as ensecadeiras de montante e de jusante deverão ser coroadas nas elevações 91,00 m e 76,50 m, respectivamente. Essa consideração parte do princípio de que a subida do aterro da barragem até a cota 91,00 em um único período seco pode não se confirmar. Na hipótese de que o aterro da barragem alcance essa elevação, seria possível reduzir a cota de coroamento das ensecadeiras considerando que as mesmas só teriam função durante o período seco.

A Tabela 3-2 sintetiza as principais cotas de proteção requeridas durante a construção.

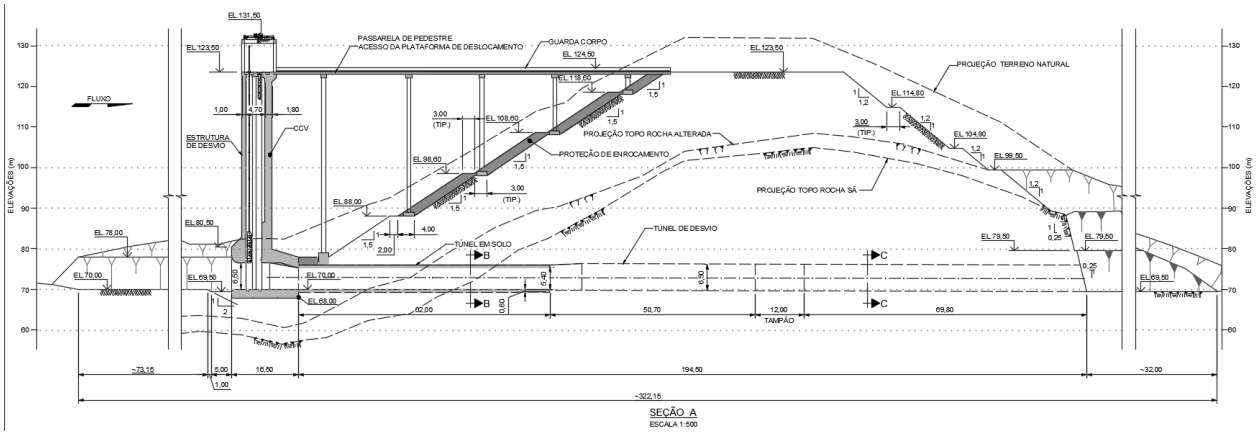
Tabela 3-2 – Cotas de Proteção Durante as Etapas de Desvio do Rio Jucu Braço Norte

Estrutura	Tempo de Recorrência / Período	Vazão (m³/s)	Nível de Água (m)	Cota de Coroamento (m)
Septo natural de montante/Ensecadeira	10 anos (anual)	211	74,63	76,50
Septo natural de jusante/Ensecadeira	10 anos (anual)	211	74,63	76,50
Ensecadeira de montante	50 anos (anual)	316	89,90	91,00
Ensecadeira de jusante	50 anos (anual)	316	75,50	76,50

Ademais, na região do túnel de desvio, está prevista a escavação para a construção da tomada d'água. As escavações em rocha e solo foram definidas com os critérios listados acima. O talude de corte contará ainda com uma camada de enrocamento compactado com aproximadamente 2,20 m de espessura.

As investigações apontam boas características dos solos, com NSPT na ordem de 15 golpes nas camadas abaixo de 5 m. Os horizontes de material terroso nessa região se aprofundam até aproximadamente 20 m.

Figura 3.5 – Perfil longitudinal das escavações da tomada d'água do túnel de desvio.



3.3. BARRAGEM DE TERRA

A seção da barragem será composta por maciço homogêneo de solo compactado, com espaldar em enrocamento compactado no talude de montante. Está prevista a construção de filtro vertical até a cota 120,50 m, além de tapete drenante ao longo da base da barragem a jusante do filtro chaminé.

Para a execução da barragem é considerada a utilização de materiais de construção provenientes das escavações obrigatórias durante a obra. As sondagens realizadas nas áreas de empréstimo indicam materiais terrosos que a princípio atendem aos critérios de boa prática da engenharia para sua utilização como núcleo impermeável para o caso de barragem de enrocamento com núcleo de argila.

A Figura 3.7 ilustra a seção típica da barragem de terra. A barragem está prevista para ser incorporada junto com as ensecadeiras de montante e jusante. O talude de montante está previsto com face de enrocamento protegido com rip-rap devido as características operacionais da barragem, abastecimento de água, é possível que os rebaixamentos do reservatório venham a ocorrer com elevada frequência. Dessa forma, para atender aos

critérios de segurança, optou-se pela aplicação de material drenante, permitindo assim uma maior dissipação das poropressões nos casos de rebaixamento rápido.

O restante do maciço da barragem é em material impermeável, argila compactada. No corpo da barragem serão construídos um filtro vertical e um tapete drenante em areia. O contato entre os materiais de diferentes granulometrias, enrocamento e argila, contará com a execução de transições compostas por materiais granulares.

Na crista da barragem está prevista a execução de asfalto para o tráfego. O talude de jusante foi concebido com bermas de equilíbrio, garantindo assim uma maior segurança, como apresentado na Figura 3.6.

Figura 3.6 – Análise de estabilidade do talude de jusante da barragem

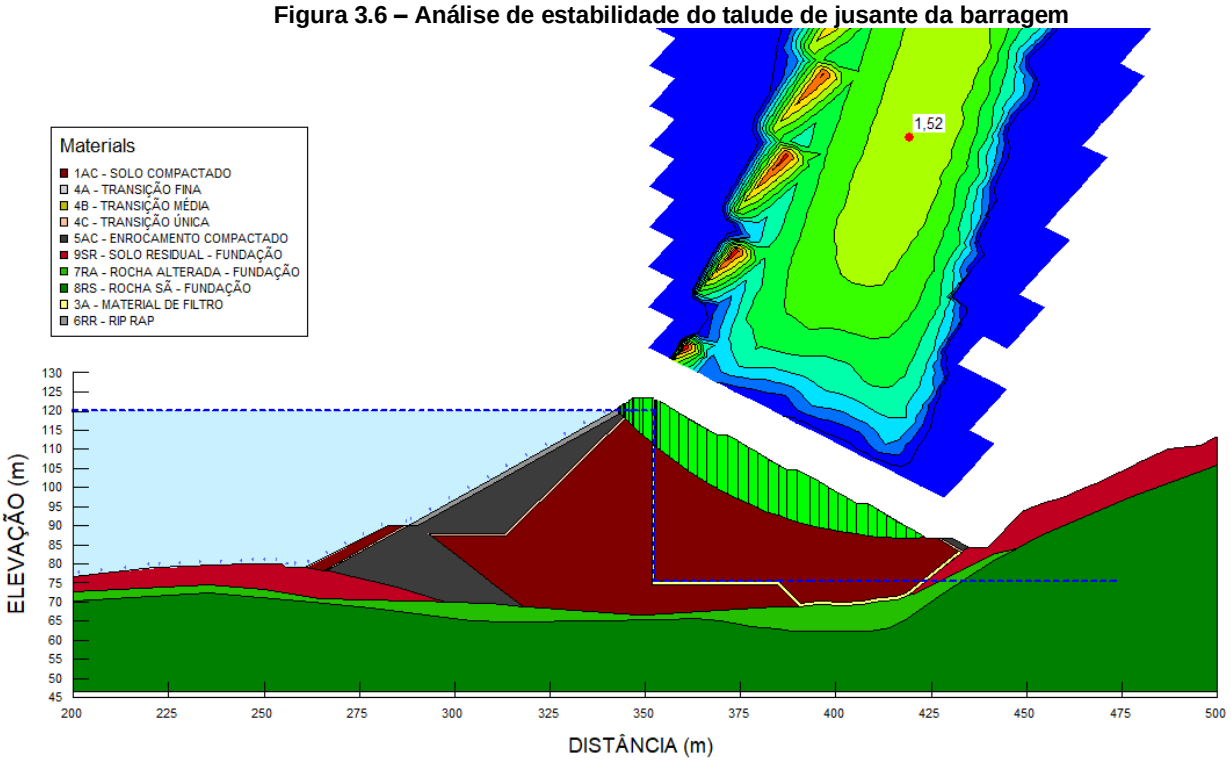
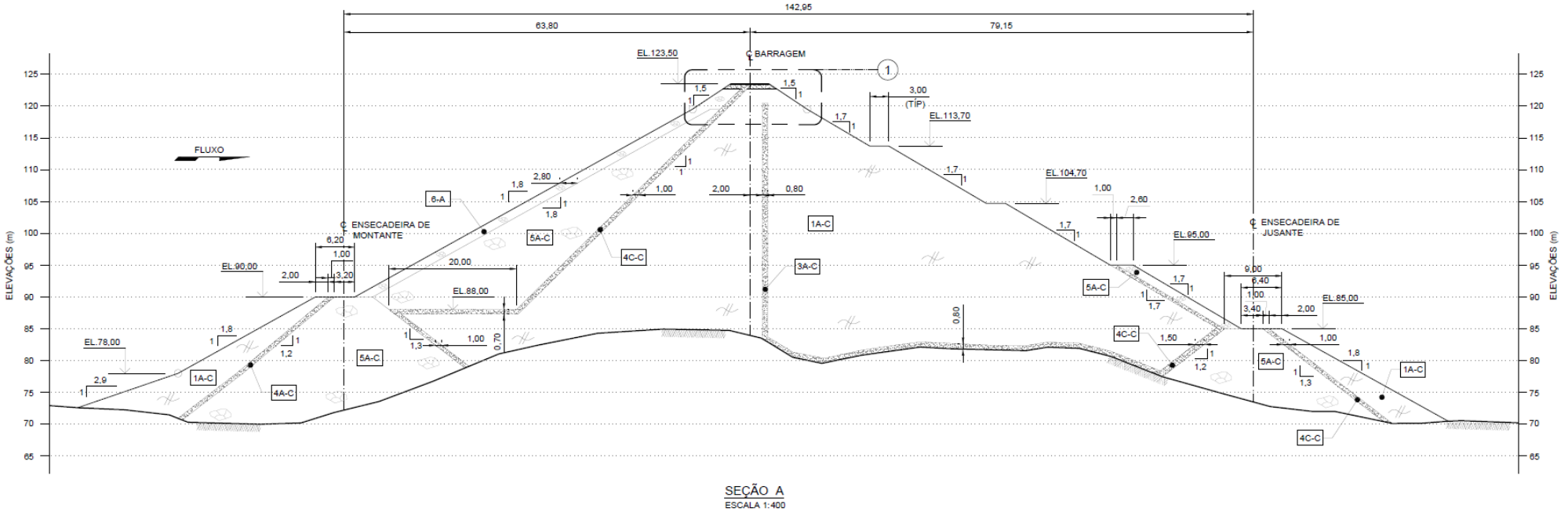


Figura 3.7 – Seção típica da barragem



3.4. VERTEDOURO

3.4.1 GEOMETRIA DO VERTEDOURO

O extravasamento de cheias da Barragem dos Imigrantes será efetuado por meio de um vertedouro tipo labirinto. A estrutura do labirinto possui largura frontal de 35,00 m, comprimento efetivo da crista de 136,61 m e crista na elevação 120,00 m.

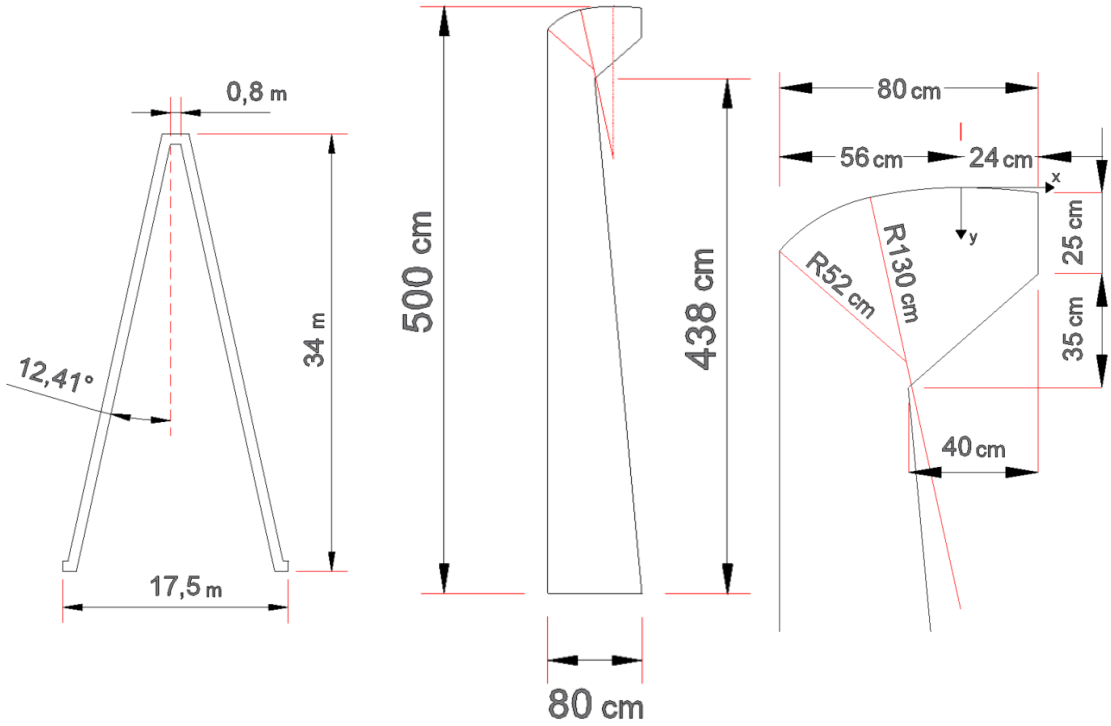
O vertedouro foi dimensionado para descarregar a cheia com tempo de recorrência de 10.000 anos (655 m³/s) com o nível máximo maximorum na elevação 122,31 m.

Abaixo, apresentam-se as principais dimensões características adotadas para o vertedouro labirinto:

- Elevação da Crista.....120,00 m;
- Largura Frontal (W) .....35,00 m;
- Comprimento Efetivo da Crista (L) .....136,61 m;
- Altura do Paramento (P) .....5,00 m;
- Número de Módulos (N) 2;
- Ângulo do Labirinto (α) 12,41º;
- Espessura da Parede (t).....0,80 m.

A Figura 3.8 apresenta detalhes da geometria do vertedouro labirinto da Barragem dos Imigrantes.

Figura 3.8 – Detalhes da Geometria do Vertedouro Labirinto da Barragem dos Imigrantes



(a) 1 Módulo do Vertedouro Labirinto

(b) Seção Típica da Soleira do Labirinto

(c) Detalhes da Ogiva da Soleira do Labirinto

3.4.2 CAPACIDADE DE DESCARGA

Para a verificação da capacidade de descarga do vertedouro de soleira livre foi utilizada a metodologia proposta por Tullis (1995). Esta metodologia recomenda a Equação *(3.1)* para o dimensionamento hidráulico da estrutura.

$$Q = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} {H_t}^{3/2} \qquad (3.1)$$

Em que:

Q: Vazão descarregada (m³/s);

C_d: Coeficiente de descarga (-);

L: Comprimento efetivo da crista do vertedouro (m);

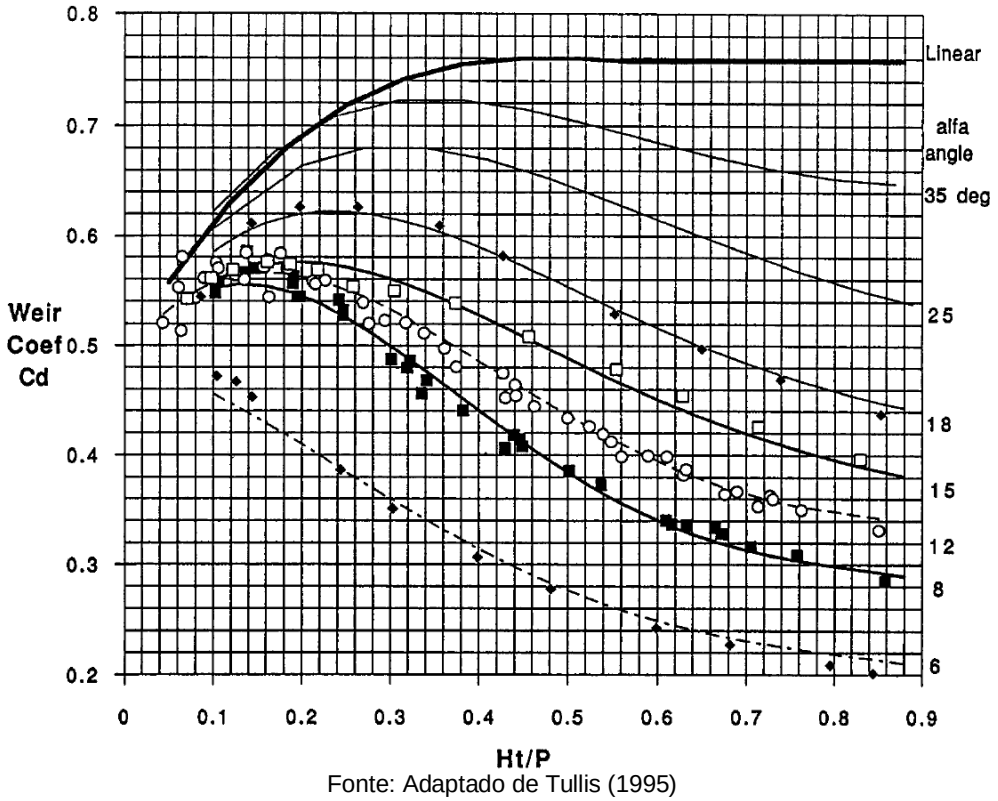
W Largura total da soleira em labirinto (m);

g: Aceleração da gravidade (m/s²);

H_t: Carga sobre a crista do vertedouro (m).

Os valores relativos ao coeficiente de descarga foram obtidos por meio da Figura 3.9. Conforme observado na metodologia de Tullis (1995), o coeficiente de descarga é função da carga hidráulica (H_t), da altura do paramento de montante do labirinto (P) e do ângulo formado entre os muros do vertedouro labirinto e a direção principal do escoamento (α).

Figura 3.9 – Coeficiente de Descarga para Vertedouro Labirinto – Tullis (1995)



Fonte: Adaptado de Tullis (1995)

O vertedouro foi dimensionado para a vazão com tempo de recorrência de 10.000 anos (655 m³/s) e verificado para a passagem da HMMP (Hidrograma Máximo Mais Provável) referente à uma vazão de 735 m³/s. A metodologia para a determinação da HMMP está apresentada no documento E-062-000-00-5-RT-0001-1 (realizado pela empresa POENTE Engenharia e Consultoria), referente à revisão dos estudos de cheias máximas, emitido em abril de 2021.

A Figura 3.10 e a Tabela 3-3 apresentam a curva de descarga do vertedouro da Barragem dos Imigrantes.

Figura 3.10 – Curva de Descarga do Vertedouro Tipo Labirinto da Barragem dos Imigrantes

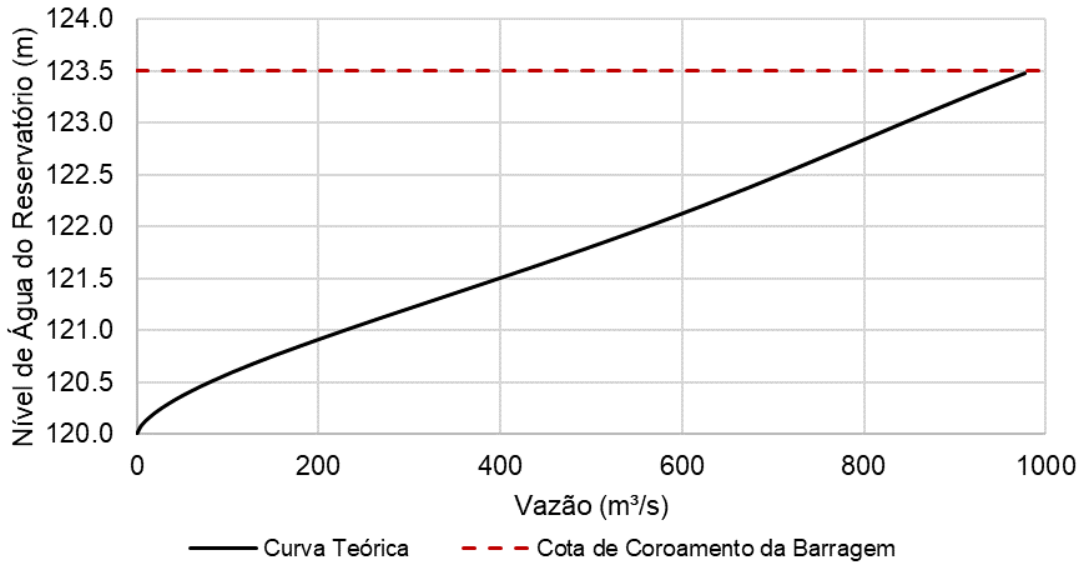


Tabela 3-3 – Capacidade de Descarga do Vertedouro Tipo Labirinto da Barragem dos Imigrantes

Vazões Notáveis	H (m)	H/P	C_t (m^{0,5}/s)	Q (m³/s)	Nível de Água do Reservatório (m)
-	0,00	0,00	0,490	0	120,00
5 anos	0,80	0,16	0,567	165	120,80
10 anos	0,95	0,19	0,566	211	120,95
25 anos	1,13	0,23	0,560	271	121,13
50 anos	1,26	0,25	0,553	316	121,26
100 anos	1,39	0,28	0,545	360	121,39
500 anos	1,69	0,34	0,521	463	121,69
1.000 anos	1,83	0,37	0,508	507	121,83
10.000 anos (condição de projeto)	**2,31**	**0,46**	**0,462**	**655**	**122,31**
HMMP	2,60	0,52	0,435	735	122,60
-	3,50	0,70	0,373	984	123,50

3.4.3 CALHA DO VERTEDOURO

A calha do vertedouro possui aproximadamente 81,0 m de comprimento (medida horizontal) e largura total de 35,0 m. A inclinação da calha é de 60%, inicia-se na elevação 115,00 m e finaliza-se na elevação 66,50 m. Ao longo da calha há muros laterais com 3,0 m de altura para realizar a contenção do escoamento. A Figura 3.11 e a Figura 3.12 apresentam o perfil geral do vertedouro da Barragem dos Imigrantes.

Figura 3.11 – Perfil do Vertedouro da Barragem dos Imigrantes

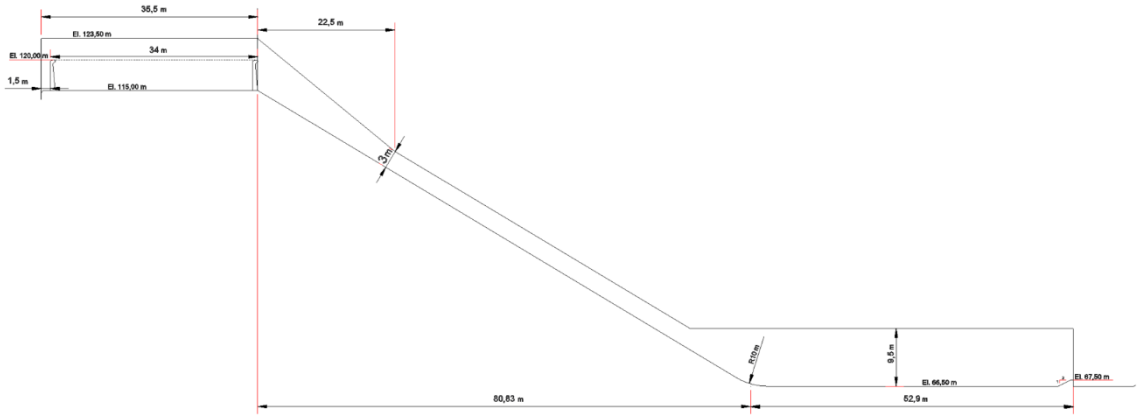
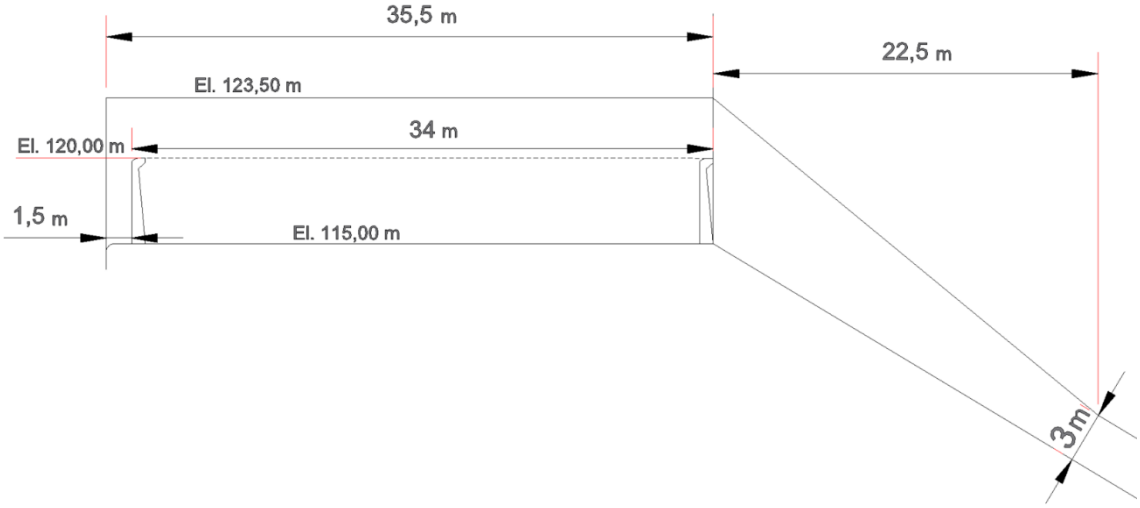


Figura 3.12 – Perfil do Vertedouro da Barragem dos Imigrantes



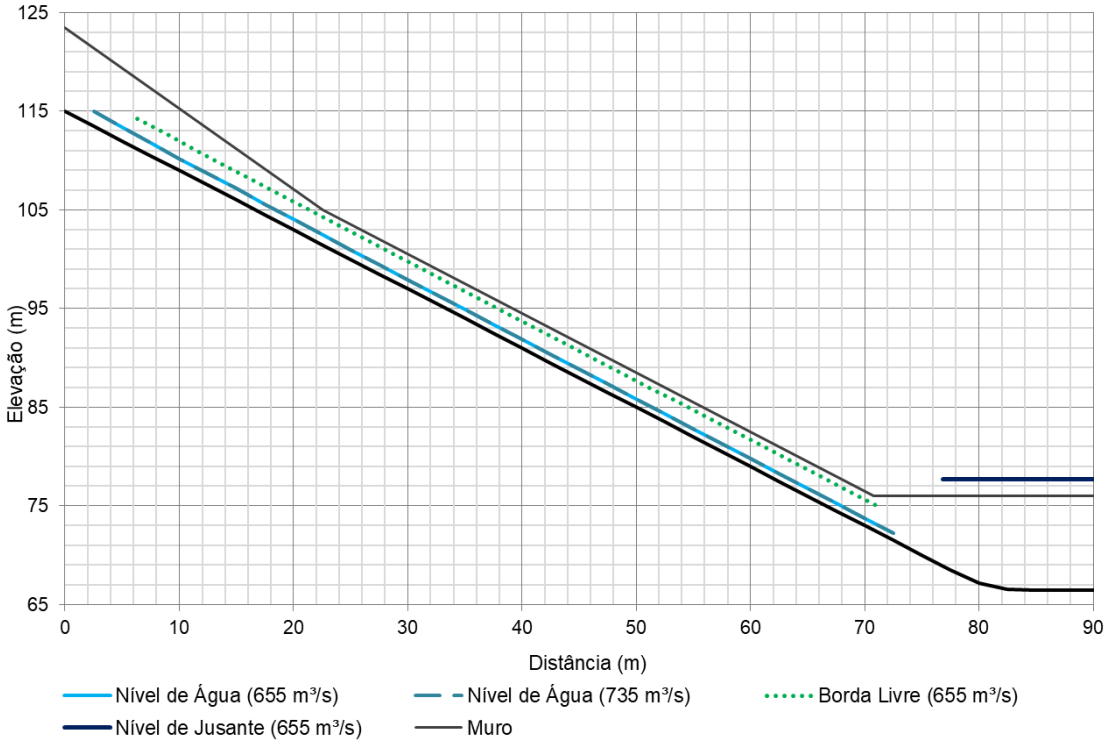
Para a determinação do nível de água ao longo da calha e definição dos muros laterais, é necessário estimar as perdas de carga ao longo do mesmo. A estimativa da perda de carga foi realizada considerando o desenvolvimento completo da camada limite ao longo da calha, assim sendo, realizou-se o cálculo de remanso em regime supercrítico.

A estimativa das perdas de carga por meio do cálculo do remanso foi realizada considerando um coeficiente de rugosidade de Strickler de 70 $m^{1/3}/s$.

A altura dos muros laterais foi definida a partir do perfil da linha de água calculado para a vazão com tempo de recorrência de 10.000 anos (655 m^3/s) com borda livre e verificada para o perfil da linha de água para a cheia corresponde a HMMP (735 m^3/s).

A Figura 3.13 apresenta os perfis da linha de água ao longo da calha do vertedouro para as vazões com tempo de recorrência de 10.000 anos e HMMP. Também, a figura apresenta a linha de água para a vazão decamilenar com borda livre.

Figura 3.13 – Perfil da Linha de Água ao Longo da Calha do Vertedouro



Para a avaliação do risco de ocorrência de cavitação ao longo da calha, deve-se avaliar o índice de cavitação do escoamento, o qual é determinado segundo as equações a seguir.

$$\sigma_n = \frac{H - H_v}{\frac{V^2}{2g}} \qquad (3.2)$$

$$H = \frac{P_a}{\gamma} = h\cos\emptyset + \frac{V^2 h}{gR} \qquad (3.3)$$

Em que:

σ_n: Índice de cavitação natural;

H: Altura de pressão em termos absolutos (m);

V: Velocidade média do escoamento (m/s);

H_v: Altura da pressão de vapor (m);

P_a: Pressão atmosférica (t/m²);

h: Tirante do escoamento no sentido perpendicular à calha (m);

$\emptyset$: Ângulo de inclinação da calha com a horizontal (º);

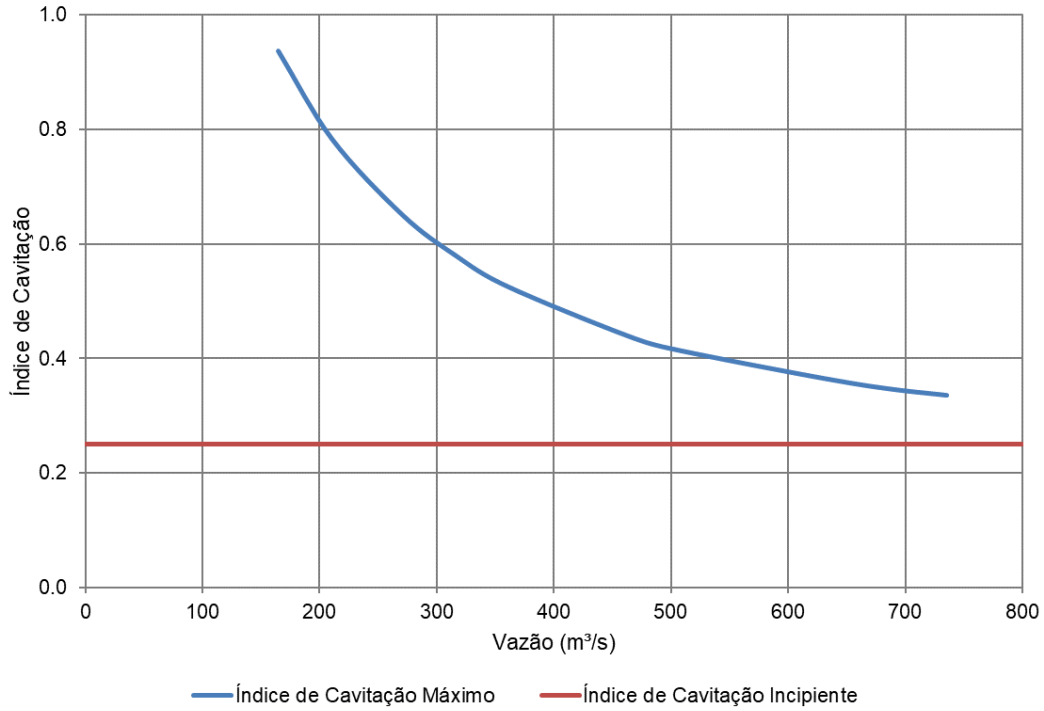
R: Raio de curvatura da curva vertical (m);

γ: Peso específico da água (N/m³).

O valor mínimo do índice de cavitação está associado à qualidade da superfície hidráulica no que se refere à existência de irregularidades, como, por exemplo, chanfros e sobressaltos decorrentes de juntas. Conforme Falvey (1990), recomenda-se que se evite fluxos com índices de cavitação inferiores a 0,25, índice este que está associado a irregularidades do tipo chanfro com declividade 20H:1V. Recomenda-se ainda, para projetos sem aeradores, que se evite o dimensionamento com índices de cavitação abaixo de 0,20.

A Figura 3.14 apresenta o índice de cavitação obtido a partir das avaliações teóricas ao longo da calha do vertedouro para várias vazões. Conforme pode ser observado, as avaliações teóricas indicam a não ocorrência de cavitação ao longo da estrutura. Ao longo do escoamento, a velocidade aumenta gradualmente com a redução proporcional da lâmina de água, sendo que, para a vazão decamilenar (655 m³/s), a velocidade ao final da calha chega a valores da ordem de 29 m/s com uma lâmina de cerca de 0,60 m. Essa condição resulta em um índice de cavitação de 0,36. A condição mais crítica ocorre para a vazão correspondente ao HMMP (735 m³/s) - índice de cavitação de 0,34.

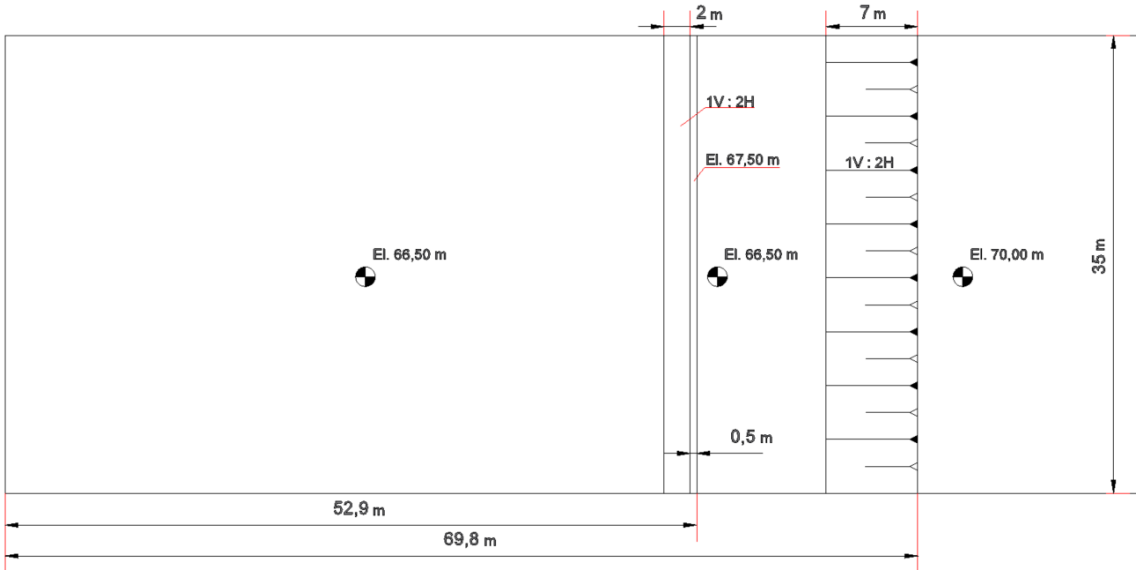
Figura 3.14 – Índice de Cavitação ao Longo da Calha



3.4.4 BACIA DE DISSIPAÇÃO

A dissipação da energia residual do vertedouro é realizada em uma bacia de dissipação em concreto com fundo na elevação 66,50 m, largura total de 35,00 m e comprimento de 52,90 m (incluindo o *end-sill*). Ao final da bacia encontra-se o *end-sill* com elevação na cota 67,50 m e rampa com declividade igual a 2H:1V. A Figura 3.15 apresenta uma vista em planta da bacia de dissipação.

Figura 3.15 – Vista em Planta da Bacia de Dissipação



O dimensionamento hidráulico da bacia de dissipação contemplou as seguintes verificações principais:

- Cota da Bacia de Dissipação: A cota do piso da bacia de dissipação deve ser definida de maneira a garantir a formação do ressalto hidráulico para toda a faixa de operação considerada no projeto do vertedouro. Para isso, a cota da bacia deve estar posicionada de tal modo que as profundidades do fluxo a jusante sejam sempre iguais ou maiores que a altura conjugada necessária para a formação do ressalto hidráulico;
- Comprimento da Bacia de Dissipação: A dissipação da energia residual ocorre ao longo do ressalto hidráulico. Essa dissipação ocorre pelo movimento caótico, flutuação de pressão e turbulência que ocorre ao longo do desenvolvimento do ressalto. Essa dissipação de energia e turbulência está associada a um grande potencial erosivo, motivo pelo qual, na maioria das obras hidráulicas dimensionadas, opta-se por proteger com concreto o maciço rochoso onde ocorrerá a formação do ressalto, evitando assim erosões que possam comprometer a segurança da estrutura. Dessa forma, a determinação do comprimento da bacia de dissipação dever ser compatível com a qualidade da rocha a jusante e, em caso extremo de rochas erodíveis, o comprimento deve ser o mesmo que o do ressalto hidráulico. A Eletrobrás (2003) recomenda a utilização da TR = 100 anos para a definição do comprimento da bacia de dissipação, admitindo-se a ocorrência de parte do ressalto fora da bacia para enchentes mais raras.

A seguir serão feitas considerações específicas a respeito de cada um dos pontos acima citados.

Ressalta-se que para o cálculo do dimensionamento da bacia de dissipação são necessários os níveis de água de jusante e, conforme apresentado no item 3.2, a curva-chave de jusante traz certa incerteza em relação aos resultados obtidos. Dessa forma, destaca-se que é necessário a confirmação da curva-chave de jusante para garantir o bom funcionamento hidráulico da bacia de dissipação.

Cota do Piso da Bacia de Dissipação

A verificação da cota do piso da bacia de dissipação foi realizada por meio da metodologia proposta por USBR (1965) e está descrita pelo sistema de equações abaixo.

$$h_{conjugada} = \frac{h_1}{2}\left[\sqrt{\left(1 + 8{Fr_1}^2\right)} - 1\right] \quad (3.4)$$

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \cdot h_1}} \quad (3.5)$$

$$v_1 = \frac{Q}{B \cdot h_1} \quad (3.6)$$

$$N.A.R. = Z_{bacia} + h_1 + \frac{{v_1}^2}{2 \cdot g} \quad (3.7)$$

$$N.A._{conjugada} = h_{conjugada} + Z_{bacia} \quad (3.8)$$

$$N.A._{conjugada} \leq N.A.J. \quad (3.9)$$

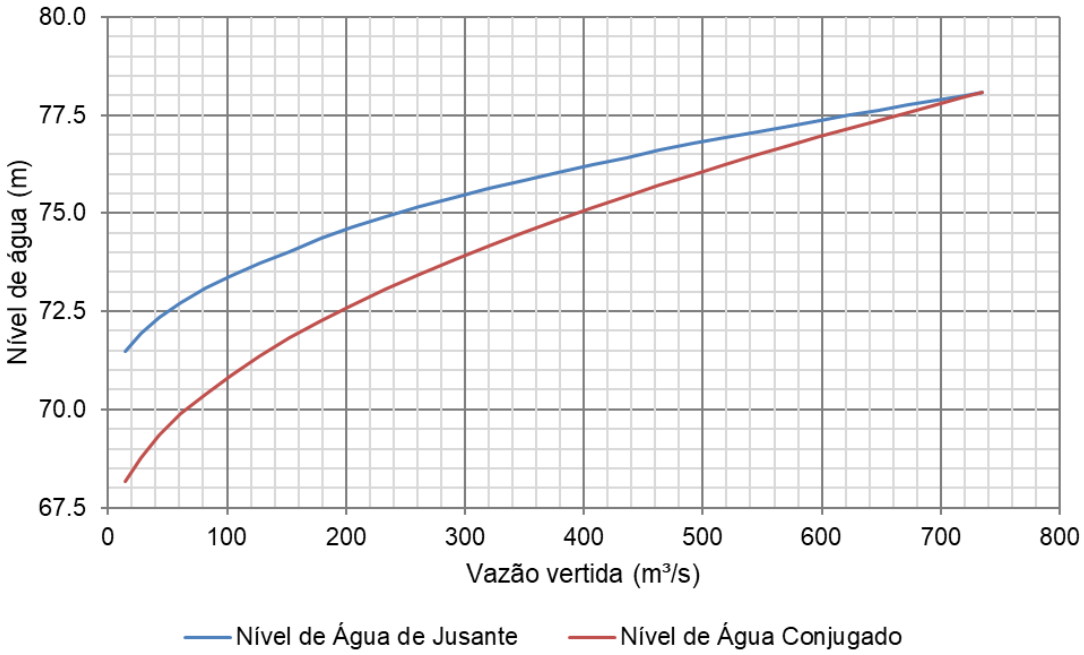
Em que:

$h_{conjugada}$:	Profundidade conjugada (m);
h_1:	Profundidade do escoamento supercrítico na entrada do ressalto (m);
Fr_1:	Número de Froude do escoamento supercrítico na entrada do ressalto;
v_1:	Velocidade do escoamento supercrítico na entrada do ressalto (m/s);
g:	Aceleração da gravidade (m/s²);
Q:	Vazão (m³/s);
B:	Largura da bacia de dissipação (m);
$N.A.R.$:	Nível de água do reservatório descontado de perdas de carga ao longo da calha (m);
Z_{bacia}:	Cota da bacia de dissipação (m);
$N.A._{conjugada}$	Nível de água necessário para a formação do ressalto (m);
$N.A.J:$	Nível de água de jusante obtido no documento E-062-00-00-5-MC-0002-3 (m).

A Figura 3.16 apresenta a verificação do dimensionamento da cota do piso da bacia de dissipação. Conforme pode ser observado, os níveis de água de jusante são suficientes

para garantir a formação do ressalto hidráulico no interior da bacia de dissipação para toda a faixa de operação.

Figura 3.16 - Verificação do Dimensionamento da Cota do Piso da Bacia de Dissipação

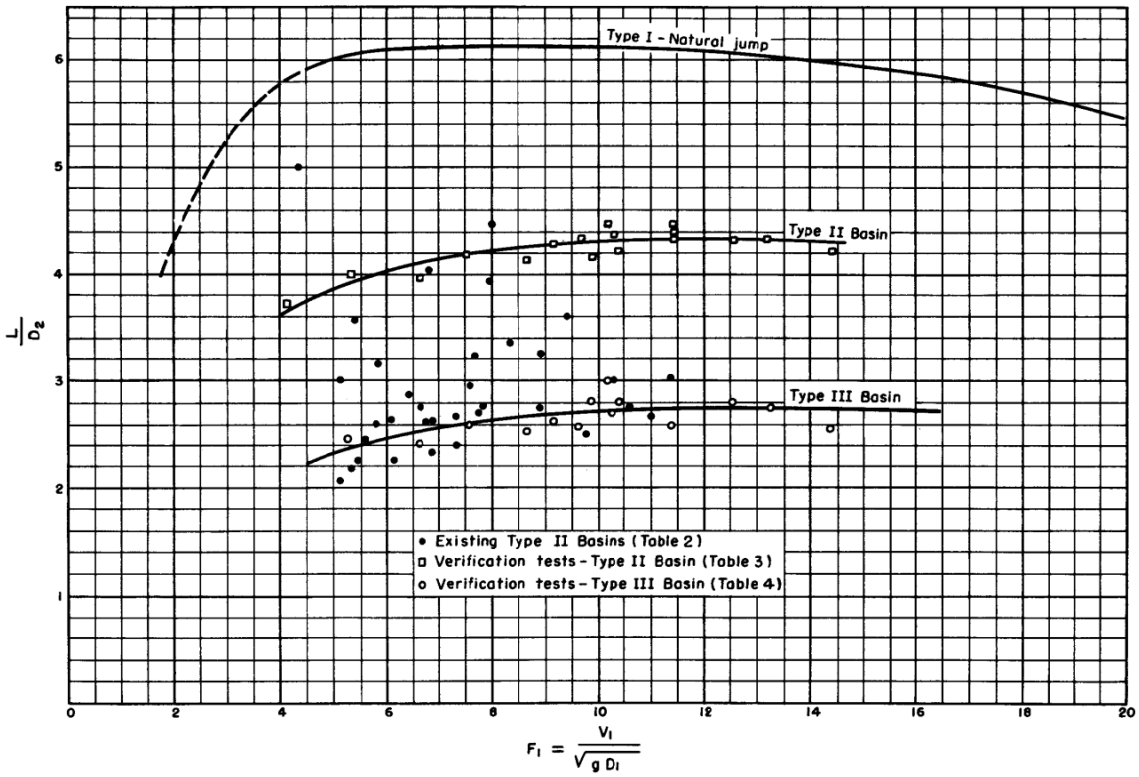


Comprimento da Bacia de Dissipação

O comprimento do ressalto hidráulico pode ser definido a partir do gráfico apresentado na Figura 3.17. O comprimento é função do número de Froude e do tipo de bacia, sendo o Tipo I correspondente ao comprimento natural do ressalto hidráulico, ou seja, sem a existência de blocos de dissipação na bacia. Dessa forma, considerando o comprimento natural do ressalto (curva para a bacia do Tipo I), obtém-se os comprimentos de ressalto ($L_{ressalto}$) indicados na Figura 3.18.

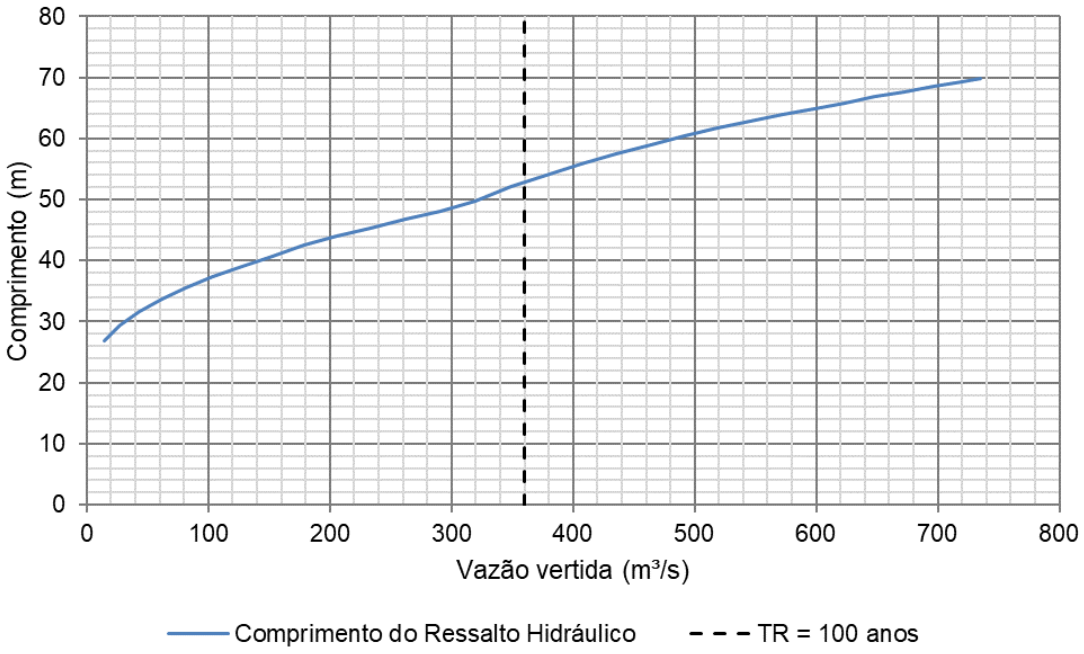
De maneira conservadora, o comprimento da bacia de dissipação foi projetado considerando o mesmo comprimento do ressalto hidráulico e a vazão de tempo de recorrência de 100 anos, ou seja, 52,90 m (ver Figura 3.18).

Figura 3.17 - Comprimento do Ressalto Hidráulico em Função do Tipo da Bacia de Dissipação



Fonte: Peterka (1958)

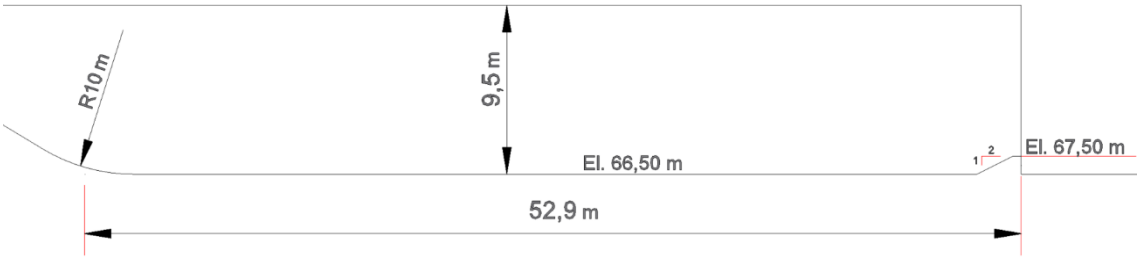
Figura 3.18 - Avaliação do Comprimento Necessário da Bacia de Dissipação



Muros Laterais da Bacia de Dissipação

Os muros laterais da bacia de dissipação foram dimensionados para conter o nível de água para uma cheia com tempo de recorrência de 50 anos. Foi realizado o cálculo de remanso no canal de restituição para verificar os níveis de água no interior da bacia de dissipação. Deste modo, para a cheia de 50 anos (316 m³/s), obteve-se o nível de água igual a 75,60 m. Portanto, foi definida a altura dos muros laterais de 9,50 m na elevação 76,00 m, o que resulta em uma borda livre de 0,40 m.

Figura 3.19 – Vista em Perfil da Bacia de Dissipação



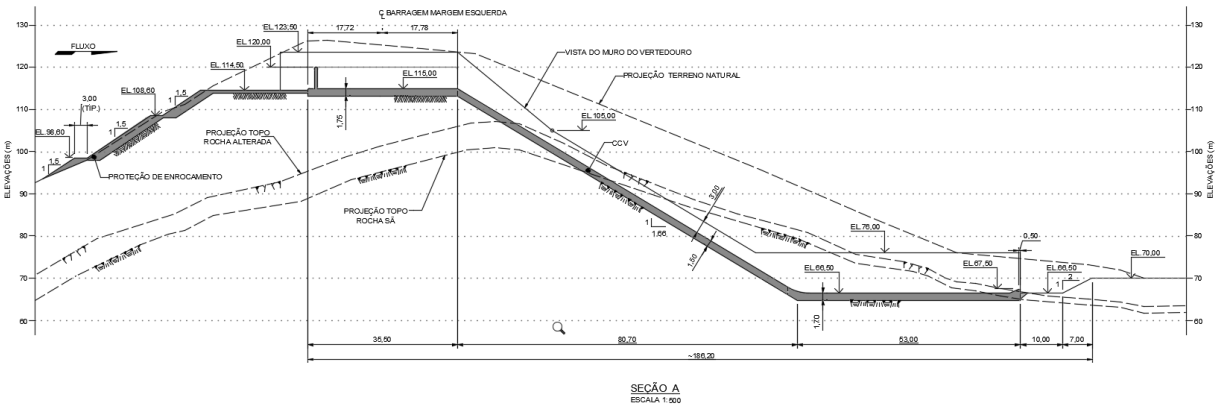
Comenta-se que se verificou as condições do escoamento considerando a cheia HMMP (735 m³/s). Nesse cenário, ocorrerá galgamento dos muros da bacia de dissipação, sendo que as velocidades na crista do muro serão da ordem de 2,7 m/s. Sendo que, a proteção dos taludes nas regiões próximas da bacia de dissipação está relacionada ao tipo de material que será exposto.

Ressalta-se que estas análises são simplificadas visto que existe a incerteza em relação ao nível de jusante.

3.4.5 CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS

O vertedouro em concreto armado será assentado em solo com boas características. A sondagem SM-116 indica que para a base do vertedouro, EL. 114,50 m, o solo composto por silte-arenoso apresenta índice SPT superiores a 30 golpes e coeficiente de permeabilidade k de 1,26x10^{-3} cm/s.

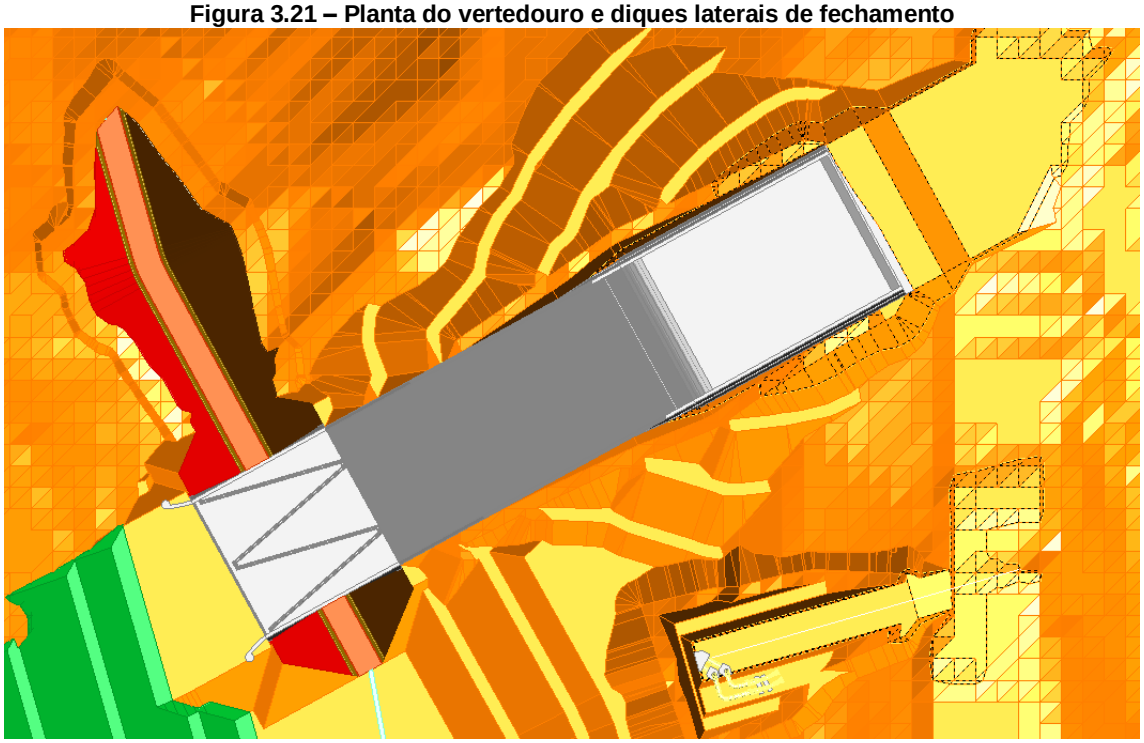
Figura 3.20 – Perfil longitudinal do vertedouro



Nas laterais do vertedouro serão executados ainda dois diques de fechamento, conforme ilustrado na Figura 3.21. Esses diques são compostos por materiais similares

aos da barragem principal, e vão desde as laterais do vertedouro, até a conformação com o terreno natural.

Figura 3.21 – Planta do vertedouro e diques laterais de fechamento



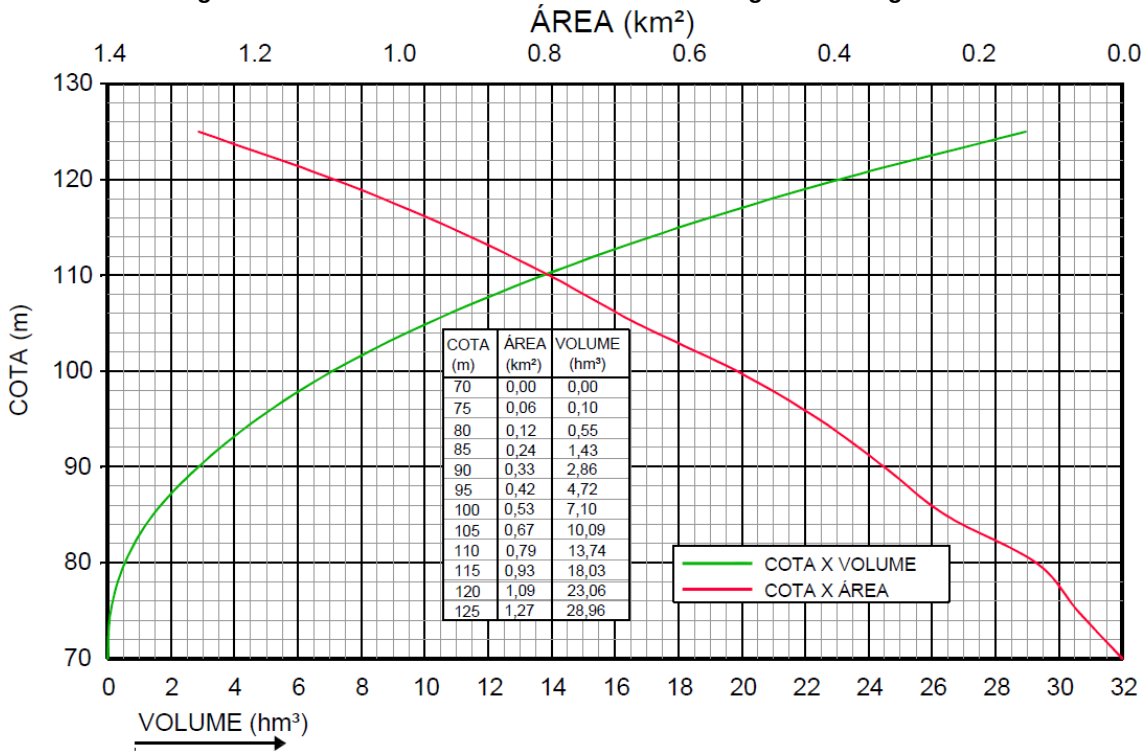
3.5. ESTUDOS DE RESERVATÓRIO

3.5.1 CURVA COTA-ÁREA-VOLUME

Foi utilizada a curva cota área volume do empreendimento apresentado no documento A-062-000-00-0-XX-0105-0A, referente ao Projeto Hidrológico Básico, datado em 2019 e elaborado pela empresa POENTE Engenharia e Consultoria.

A Figura 3.22 apresenta o gráfico da curva cota área volume em questão.

Figura 3.22– Curva Cota x Área x Volume da Barragem dos Imigrantes



COTA (m)	ÁREA (km²)	VOLUME (hm³)
70	0,00	0,00
75	0,06	0,10
80	0,12	0,55
85	0,24	1,43
90	0,33	2,86
95	0,42	4,72
100	0,53	7,10
105	0,67	10,09
110	0,79	13,74
115	0,93	18,03
120	1,09	23,06
125	1,27	28,96

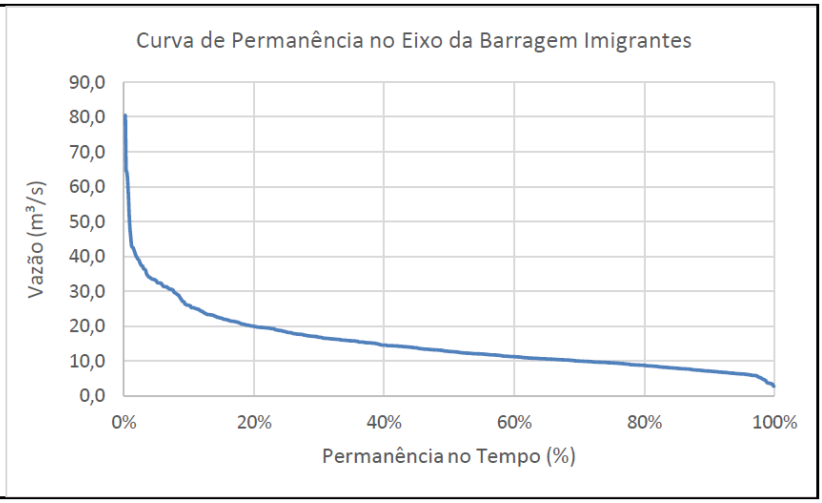
Fonte: A-062-000-00-0-XX-0105-0A

3.5.2 ENCHIMENTO

Para a estimativa do tempo esperado para o enchimento do reservatório do empreendimento Barragem dos Imigrantes, foi considerada a série de vazões médias mensais apresentada no documento A-062-000-00-0-RT-0080-0A, referente ao antigo projeto básico, realizado pela empresa POENTE Engenharia e Consultoria e datado em 2018 (Figura 3.23).

Figura 3.23 – Curva de Permanência no Eixo da Barragem dos Imigrantes

Permanência (%)	Vazão (m³/s)
5%	33,2
10%	26,0
20%	20,0
25%	18,4
30%	16,9
40%	14,6
50%	12,8
60%	11,3
70%	10,0
80%	8,8
90%	7,1
95%	6,3



Fonte: A-062-000-00-0-RT-0080-0A

Nesta avaliação, considerou-se a manutenção da vazão remanescente no rio, a jusante do barramento, igual a 1,50 m³/s, que corresponde a vazão ecológica.

A partir do volume correspondente ao nível normal de operação (23,06 hm³ na elevação 120,00 m) foram calculados os tempos necessários para o enchimento do reservatório considerando a série de vazões médias mensais. O tempo em dias necessários para o enchimento do reservatório está apresentado na Tabela 3-4.

Tabela 3-4 – Tempos de Enchimentos (dias) do Reservatório - Barragem dos Imigrantes

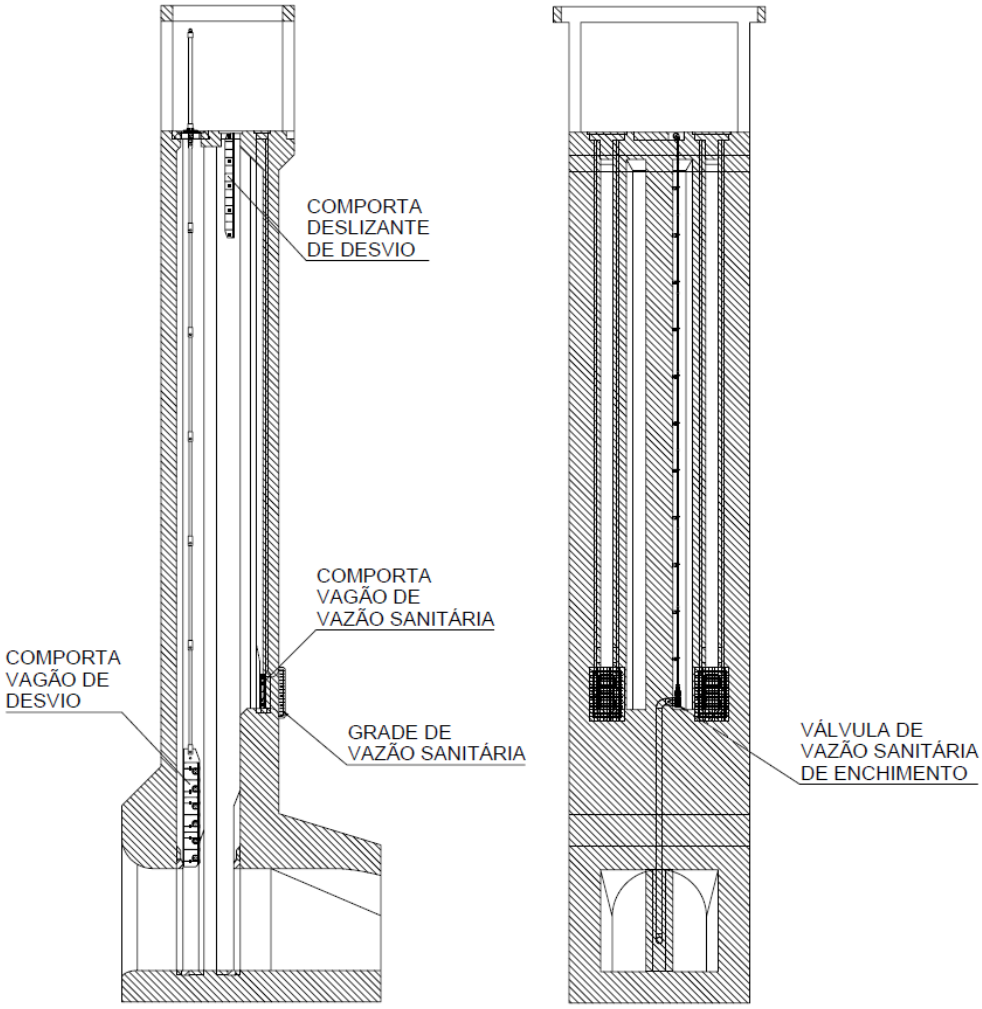
Permanência (%)	Vazão (m³/s)	Tempo de Enchimento (h)	Tempo de Enchimento (dia)
5	33,2	180	7,5
10	26,0	234	9,8
20	20,0	311	13,0
25	18,4	341	14,2
30	16,9	374	15,6
40	14,6	442	18,4
50	12,8	514	21,4
60	11,3	595	24,8
70	10,0	689	28,7
80	8,8	807	33,6
90	7,1	1.065	44,4
95	6,3	1.254	52,3

Verifica-se que o tempo médio de enchimento varia de 8 a 52 dias. Ao se considerar uma vazão de 50% de permanência, o tempo de enchimento é de 21 dias.

Na sequência, apresenta-se um resumo dos procedimentos de fechamento da tomada de desvio e abertura do sistema de vazão sanitária durante o enchimento do reservatório. A Figura 3.24 apresenta para referência da nomenclatura dos equipamentos.

a. Fechamento da comporta vagão de desvio do vão direito;
b. Fechamento da comporta deslizante de desvio do vão direito;
c. Abertura do comporta vagão de vazão sanitária do vão direito;
d. Fechamento da comporta vagão de desvio do vão esquerda;
e. Fechamento da comporta deslizante de desvio do vão esquerdo;
f. Abertura da válvula de vazão sanitária de enchimento (aguardar o enchimento do reservatório até o nível de água alcançar a elevação 120,00 m);
g. Após o enchimento do reservatório, proceder com o fechamento da comporta vagão de vazão sanitária do vão direito;
h. Aguardar o esvaziamento/equilíbrio do poço da tomada de desvio e proceder com o fechamento da válvula de vazão sanitária, permitindo assim, o acesso ao túnel de desvio para início do fechamento do tampão.

Figura 3.24 – Nomenclatura dos Equipamentos para o Procedimento de Enchimento do Reservatório



Após a conclusão do tamponamento do túnel de desvio e montagem dos condutos e válvulas do sistema permanente de vazão sanitária, será possível iniciar o procedimento de enchimento do túnel de desvio. Para tal, segue-se os seguintes procedimentos que deverão ser seguidos:

a. Abertura da comporta vagão de vazão sanitária de ambos os vãos;
b. Abertura da válvula de vazão sanitária de enchimento (aguardar o enchimento do túnel);
c. Após o equilíbrio de pressões, retirar as comportas deslizantes de desvio, calando as mesmas nas respectivas ranhuras.

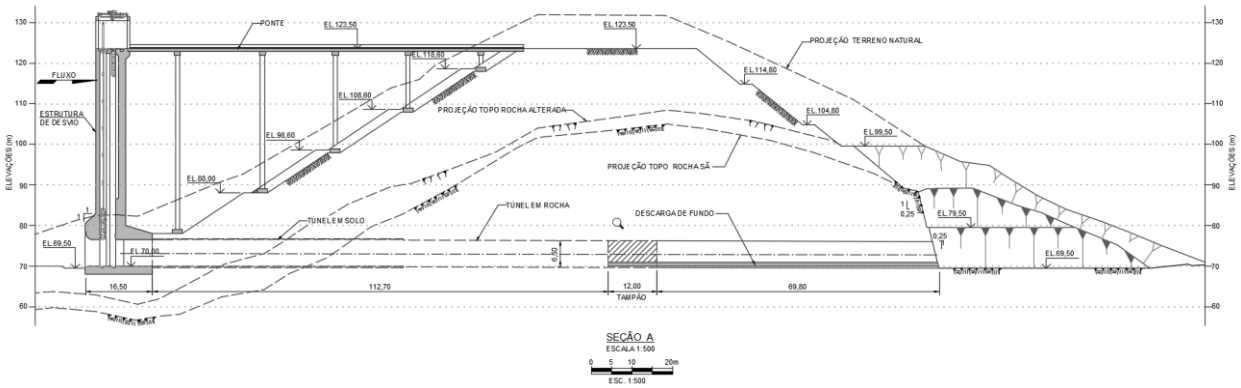
3.6. DESCARGA DE FUNDO

Compreende-se como descarregador de fundo a estrutura previamente utilizada para o desvio, duas tubulações que direcionam o fluxo do rio para jusante do barramento, controlados por válvulas borboleta.

Na estrutura de desvio utilizada para o controle adução da água, foram dimensionados dois vãos na El. 86,70 m que, juntamente com as comportas da tomada de desvio, permitem que a água permaneça pressurizada dentro do túnel e das tubulações instaladas, permitindo o controle do fluxo à jusante, conforme a Figura 3.25.

As válvulas borboleta estão instaladas na margem direita do canal de restituição do desvio, na El. 76m.

Figura 3.25 – Perfil longitudinal da Descarga de Fundo



3.7. TOMADA PARA OUTROS USOS

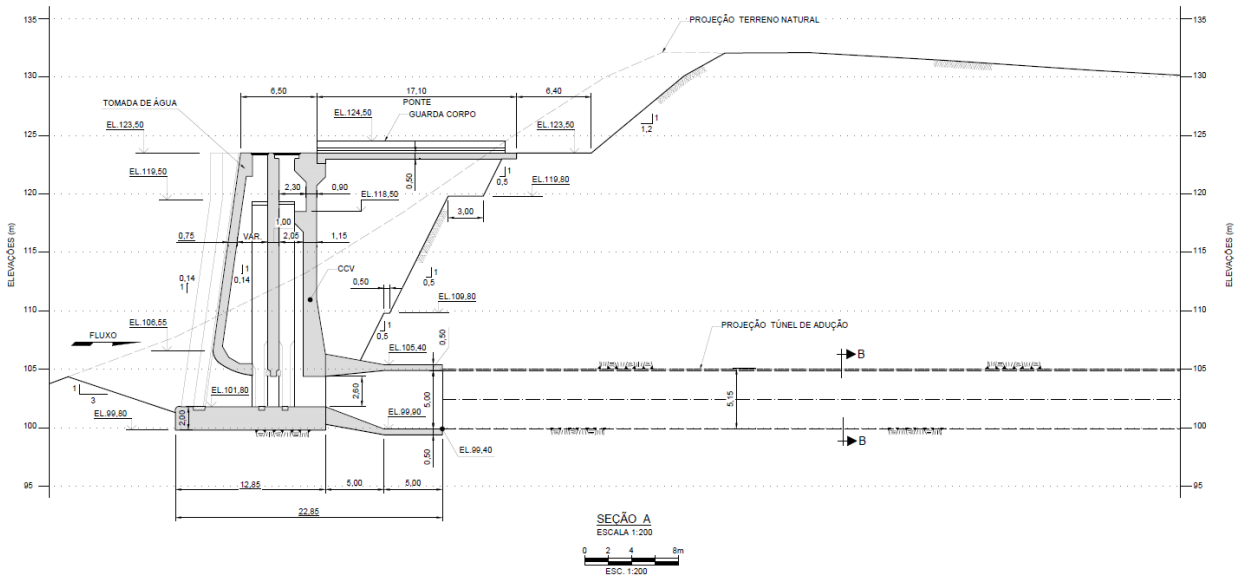
Para a execução da tomada d'água do túnel de adução, que servirá para a futura adução a ser instalada, está prevista a escavação em rocha e solo com os mesmos critérios listados acima.

Uma seção transversal pela estrutura está mostrada na figura 3.25, onde é possível verificar que a estrutura está fundada na elevação 99,80msnm, com uma escavação entre 8 e 15m de profundidade na região em questão. Em planta a estrutura está locada em uma condição intermediária entre a sondagem SP-101 e SP-103.

As investigações apontam boas características dos solos nas imediações do SP-101, com Nspt na ordem de 27 golpes a cerca de 10m de profundidade. Já o furo SP-103 mostra um Nspt da ordem de 24 golpes a 10m de profundidade, com solos de capacidade nos primeiros 4m.

É importante notar que um maior embutimento da estrutura no topo rochoso se mostra inviável em virtude da rodovia (BR-262) que restringe a posição da estrutura na direção do interior da encosta.

Figura 3.26 – Perfil longitudinal das escavações da tomada d'água do túnel de adução



3.8. CASA DE COMANDO

Está prevista uma edificação térrea no platô entre a barragem e o vertedouro, onde estará locada a sala de comando do empreendimento, onde estarão:

- sala de controle;
- banheiros e copa;
- almoxarifado e oficina;
- galeria elétrica.

O local terá dimensões a ser ajustadas no projeto executivo quando do melhor conhecimento do dimensional dos equipamentos a serem abrigados na edificação, a saber transformador, gerador diesel e painéis do sistema CA e outros sistemas.

A edificação consistirá de estrutura de concreto armado, com vedações em alvenaria com reboco e pintura. A cobertura será composta por laje impermeabilizada ou ainda protegida por telhas de fibrocimento. O revestimento do piso será composto de placas cerâmicas assentadas sobre laje de concreto armado. As janelas e portas externas serão de alumínio e as esquadrias internas (portas) de madeira.

Conforme descrito no item 3.9 o local contará com sistema de água potável, esgoto sanitário, iluminação, tomadas e ar condicionado.

3.9. GUARITA

Está prevista edificação na entrada do empreendimento, que visa abrigar a sala de segurança e controle de acesso da barragem. A estrutura será em concreto armado e alvenaria, contando com piso cerâmico, e esquadrias de alumínio.

3.10. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS E MECÂNICOS

3.10.1 Comportas Vagão da Estrutura de Desvio

As Comportas Vagão terão por finalidade cortar o fluxo da tomada d'água de desvio para permitir a descida da comporta ensecadeira. Deverão ser constituídas por 03 elementos cada, em aço estrutural soldado e talas para montagem em seu próprio vão, com paramento e vedação no lado de montante. As vedações das laterais e superior da comporta serão do tipo nota musical revestida com teflon. A vedação da soleira será do tipo barra chata.

As comportas vagão e suas respectivas peças fixas deverão ser projetadas de acordo com os dados básicos indicados abaixo.

Dados Básicos:

- Tipo de comporta ..... Vagão
- Número de aduções 01
- Número de comportas por adução 02
- Número total de comportas 02
- Número de elementos por comporta 03
- Número de jogos de peças fixas 02
- Largura do vão livre ..... 2.900 mm
- Altura do vão livre ..... 6.550 mm
- Condição de operação da comporta ..... em desiquilíbrio de pressão hidráulica
- Pressão máxima de trabalho admissível para o sistema oleodinâmico 20MPa
- Velocidade limite para o óleo nas tubulações de pressão ..... 4,0 m/s
- Velocidade limite para o óleo nas tubulações de retorno ..... 2,0 m/s
- Velocidade limite para o óleo nas tubulações de sucção ..... 2,0 m/s
- Velocidade de movimentação à 25°C ..... 0,25 m/min
- Elevação da soleira ..... EL. 70,00 m
- Elevação do piso da estrutura de Desvio ..... EL. 123,50 m
- N.A. máximo normal ..... EL. 120,00 m
- N.A. máximo normal de projeto ..... EL. 121,00 m
- N.A. máximo maximorum ..... EL. 122,08 m
- Acionamento ..... Cilindro hidráulico e central oleodinâmica (1)

  Nota (1): O sistema de acionamento é provisório e poderá ser retirado após o fechamento do desvio.

3.10.2 Comportas Ensecadeira da Estrutura de Desvio

As Comportas Ensecadeira terão por finalidade fazer o fechamento completo do túnel de desvio, possibilitando a concretagem do tampão. Deverão ser constituídas por 03 elementos, construídos em aço estrutural soldado, com paramento e vedação no lado de jusante. A Comporta Ensecadeira deverá ser de tipo deslizante para operação em

águas equilibradas, com válvulas by-pass para permitir o enchimento do túnel após concretagem do tampão.

A comporta ensecadeira e suas respectivas peças fixas deverão ser projetadas de acordo com os dados básicos indicados abaixo.

Dados Básicos:

- Tipo de comporta ..... Ensecadeira
- Número total de aduções 01
- Número de comportas por adução 02
- Número total comportas 02
- Número de elementos por comporta 03
- Número de jogos de peças fixas 02
- Número de válvulas by-pass por comporta 02
- Largura de vão livre ..... 2.900 mm
- Altura de vão livre ..... 6.550 mm
- Elevação soleira ..... 70,00 m
- Elevação do piso da estrutura de Desvio ..... EL. 123,50 m
- N.A. máximo normal ..... EL. 120,00 m
- N.A. máximo normal de projeto ..... EL. 121,00 m
- N.A. máximo maximorum ..... EL. 122,08 m
- Acionamento ..... Viga pescadora

3.10.3 Válvula e Tubulação de Vazão Sanitária durante Enchimento do Reservatório

A válvula gaveta, utilizada durante o enchimento do reservatório para manter a vazão sanitária do rio, será localizada no vão direito da estrutura de desvio próximo à comporta vagão do sistema de vazão sanitária.

Deverá ser aberta após fechamento das comportas vagão e deslizante da estrutura de desvio, mantendo a vazão mínima sanitária do rio durante o enchimento do reservatório. Será comandada diretamente do deck da tomada de desvio através de um volante acoplado a um cabeçote redutor que, por sua vez, será conectado à válvula através de hastes guiadas.

Da válvula, seguirá uma tubulação embutida na estrutura de concreto que descarregará a vazão no centro do túnel de desvio.

Dados Básicos – Válvula Gaveta:

- Quantidade 01
- Tipo ..... Gaveta com acoplamento por flanges
- Diâmetro ..... 500 mm
- Vazão mínima de operação ..... 1,25 m³/s
- Vazão máxima de operação ..... 2,10 m³/s
- Pressão máxima de operação ..... 0,32 MPa

- Elevação do eixo central ..... EL. 87,20 m
- Acessórios ..... volante e redutor de acionamento, hastes e suportes

Características Construtivas – Tubulação de Vazão Sanitária de Enchimento:

- Tipo..... embutido, tubo de aço padronizado
- Quantidade 01
- Diâmetro nominal..... 16”
- Diâmetro interno ..... 387 mm
- Pressão máxima ..... 0,48 MPa
- Espessura mínima ..... Sch. 40
- Elevação inicial do eixo central ..... EL. 87,20 m
- Elevação final do eixo central..... EL. 72,00 m
- Comprimento total aproximado ..... 20,00 m

3.10.4 Comportas Vagão do Sistema de Vazão Sanitária

As Comportas do Sistema de Vazão Sanitária serão do tipo vagão e destinam-se ao controle de vazão sanitária a jusante. Deverão ser construídas em elemento único, em aço estrutural soldado, com paramento e vedação no lado de montante. As vedações das laterais e superior da comporta deverão ser do tipo nota musical revestida com teflon. A vedação da soleira será do tipo barra chata.

As comportas vagão do sistema de vazão sanitária e suas respectivas peças fixas deverão ser projetadas de acordo com os dados básicos indicados abaixo.

Dados Básicos:

- Tipo de comporta..... Vagão
- Número de aduções..... 02
- Número de comportas por adução 01
- Número total de comportas..... 02
- Largura do vão livre ..... 800 mm
- Altura do vão livre ..... 2.000 mm
- Condição de operação da comporta ..... em desequilíbrio de pressão hidráulica
- Elevação da soleira..... EL. 86,70 m
- Elevação do piso da estrutura de Desvio ..... EL. 123,50 m
- N.A. máximo normal ..... EL. 120,00 m
- N.A. máximo normal de projeto..... EL. 121,00 m
- N.A. máximo maximorum..... EL. 122,08 m
- Acionamento..... Viga pescadora

3.10.5 Grades do Sistema de Vazão Sanitária

Cada grade do sistema de vazão sanitária deverá ser fixada externamente à entrada de sua respectiva abertura, com o objetivo de impedir que corpos, com dimensões prejudiciais a operação das comportas e válvulas dispersoras, passem no sistema de vazão sanitária. As grades deverão ser verticais e deverão ser em um painel.

As grades deverão possuir uma área livre de pelo menos 5 m² para permitir que a vazão requerida de 5,5 m³/s seja atendida.

A construção dos painéis de grades deverá ser executada com barras verticais, de perfil com seção transversal retangular, espaçadas de 100 mm pela linha de centro, montadas sobre um quadro de aço estrutural. Os vãos livres entre as barras das grades não poderão ser maiores que 350 mm, para evitar obstrução da válvula dispersora.

As grades deverão ser fixadas na estrutura através de peças fixas de espera, que permitam a fixação de sua estrutura através de parafusos e guias, e que permitam sua retirada em caso excepcional.

A área de obstrução das grades não deverá ultrapassar 15% (quinze por cento) da área livre da abertura da passagem da água.

A relação entre a altura e a largura das barras verticais deverá ser de no máximo 8 (oito).

Dados Básicos:

- Tipo de grade.....Fixa
- Número de aduções.....02
- Número de painéis de grade por adução 01
- Pressão máxima de projeto dos painéis.....30,0 kPa
- Espaçamento entre barras verticais.....100 mm
- Largura de um vão livre .....1.800 mm
- Altura vertical de um vão livre .....3.000 mm
- Elevação da soleira.....EL. 86,20 m
- Elevação do piso da estrutura de Desvio .....EL. 123,50 m
- N.A. máximo normal .....EL. 120,00 m
- N.A. máximo normal de projeto.....EL. 121,00 m
- N.A. máximo maximorum.....EL. 122,08 m

3.10.6 Conduto do Sistema de Vazão Sanitária (Direita Hidráulica)

O sistema de vazão sanitária possuirá dois condutos que levarão a água desde o início do tampão do túnel até as válvulas dispersoras localizadas no deck de operação, EL. 76,00.

O conduto localizado à direita hidráulica será constituído pelas seguintes partes:

- Um trecho horizontal, embutido no tampão de concreto, com diâmetro 1.100 mm, e aproximadamente 12,00 m de comprimento.
- Um trecho horizontal, exposto, de diâmetro 1.100 mm, com aproximadamente 69,50 m de comprimento, provido de ancoragens de concreto (berços) para sustentação a aproximadamente 400 mm do piso do túnel;

- Uma junta de expansão, com diâmetro de 1.100 mm, à montante do bloco de ancoragem;
- Uma curva horizontal embutida em bloco de ancoragem, com ângulo de 45º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 1.100 mm;
- Um trecho horizontal embutido de aproximadamente 1,50 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Uma curva vertical embutida em bloco de ancoragem, com ângulo de 100º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 1.100 mm;
- Um trecho inclinado embutido de aproximadamente 4,10 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Uma curva vertical embutida, com ângulo de 104º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 1.100 mm;
- Um trecho horizontal embutido de aproximadamente 2,20 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Uma curva horizontal embutida, com ângulo de 90º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 1.100 mm;
- Um trecho horizontal embutido de aproximadamente 2,00 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Um trecho horizontal exposto de aproximadamente 1,50 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Uma válvula borboleta, com diâmetro de 1.100 mm, operando com uma vazão mínima de 0,75 m³/s e máxima de 5,5 m³/s;
- Um trecho horizontal exposto de aproximadamente 1,20 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Um trecho horizontal embutido de aproximadamente 0,80 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Uma curva horizontal embutida, com ângulo de 12º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 1.100 mm;
- Uma redução concêntrica, embutida, de 1.100 mm para 800 mm de diâmetro, com aproximadamente 1,00 m de comprimento;
- Uma curva vertical exposta, com ângulo de 12º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 800 mm;
- Uma válvula dispersora de 800 mm de diâmetro, operando com uma vazão mínima de 0,75 m³/s e máxima de 5,5 m³/s;

Dados Básicos – Válvula Borboleta:

- Quantidade 01
- Diâmetro ..... 1.100 mm
- Vazão mínima de operação ..... 0,75 m³/s
- Vazão máxima de operação ..... 5,5 m³/s
- Pressão máxima ..... 0,58 MPa
- Elevação do eixo central ..... EL. 70,96 m

- Acessórios ..... contra flange e junta de desmontagem

Características Construtivas – Redução Concêntrica:

- Tipo.....embutida, tubo de aço
- Quantidade 01
- Diâmetro interno de entrada .....1.100 mm
- Diâmetro interno de saída.....800 mm
- Espessura mínima .....6,30 mm
- Sobre espessura de corrosão .....1,5 mm
- Elevação do eixo central.....EL. 70,96 m
- Comprimento total aproximado .....1,00 m

Dados Básicos – Válvula Dispersora:

- Quantidade 01
- Diâmetro .....800 mm
- Vazão mínima de operação .....0,75 m³/s
- Vazão máxima de operação .....5,5 m³/s
- Pressão máxima .....0,56 MPa

3.10.7 Conduto do Sistema de Vazão Sanitária (Esquerda Hidráulica)

O conduto localizado à esquerda hidráulica será constituído pelas seguintes partes:

- Um trecho horizontal, embutido no tampão de concreto, com diâmetro 1.100 mm, e aproximadamente 12,00 m de comprimento.
- Um trecho horizontal, exposto, de diâmetro 1.100 mm, com aproximadamente 69,50 m de comprimento, provido de ancoragens de concreto (berços) para sustentação a aproximadamente 400 mm do piso do túnel;
- Uma junta de expansão, com diâmetro de 1.100 mm, à montante do bloco de ancoragem;
- Uma curva horizontal embutida em bloco de ancoragem, com ângulo de 45º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 1.100 mm;
- Um trecho horizontal embutido de aproximadamente 4,50 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Uma curva vertical embutida em bloco de ancoragem, com ângulo de 100º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 1.100 mm;
- Um trecho inclinado embutido de aproximadamente 4,10 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Uma curva vertical embutida, com ângulo de 104º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 1.100 mm;
- Uma curva horizontal embutida, com ângulo de 90º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 1.100 mm;

- Um trecho horizontal exposto de aproximadamente 1,50 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Uma válvula borboleta, com diâmetro de 1.100 mm, operando com uma vazão mínima de 0,75 m³/s e máxima de 5,5 m³/s;
- Um trecho horizontal exposto de aproximadamente 1,20 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Um trecho horizontal embutido de aproximadamente 0,40 m de comprimento com diâmetro de 1.100 mm;
- Uma curva horizontal embutida, com ângulo de 12º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 1.100 mm;
- Uma redução concêntrica, embutida, de 1.100 mm para 800 mm de diâmetro, com aproximadamente 1,00 m de comprimento;
- Uma curva vertical exposta, com ângulo de 12º e raio de 1,65 m. O diâmetro da tubulação na curva será de 800 mm;
- Uma válvula dispersora de 800 mm de diâmetro, operando com uma vazão mínima de 0,75 m³/s e máxima de 5,5 m³/s;

Dados Básicos – Válvula Borboleta:

- Quantidade 01
- Diâmetro ..... 1.100 mm
- Vazão mínima de operação ..... 0,75 m³/s
- Vazão máxima de operação ..... 5,5 m³/s
- Pressão máxima ..... 0,58 MPa
- Elevação do eixo central ..... EL. 70,96 m
- Acessórios ..... contra flange e junta de desmontagem

Características Construtivas – Redução Concêntrica:

- Tipo ..... embutida, tubo de aço
- Quantidade 01
- Diâmetro interno de entrada ..... 1.100 mm
- Diâmetro interno de saída ..... 800 mm
- Espessura mínima ..... 6,30 mm
- Sobre espessura de corrosão ..... 1,5 mm
- Elevação do eixo central ..... EL. 70,96 m
- Comprimento total aproximado ..... 1,00 m

Dados Básicos – Válvula Dispersora:

- Quantidade 01
- Diâmetro ..... 800 mm
- Vazão mínima de operação ..... 0,75 m³/s

- Vazão máxima de operação .....5,5 m³/s
- Pressão máxima .....0,56 MPa

3.10.8 Grades da tomada d'água de adução

As grades de adução deverão ser instaladas na entrada da abertura da Tomada d'Água, com o objetivo de impedir que corpos, com dimensões prejudiciais às turbinas, passem no circuito hidráulico. As grades serão inclinadas para jusante com relação ao plano vertical. As grades deverão ser constituídas por dois elementos empilhados.

Os painéis deverão ser do tipo removível, manobrados por uma viga pescadora, através do gancho da talha elétrica da Tomada d'Água de Adução e serão guiados por escorregamento sobre sapatas revestidas com bronze sobre pista de aço inoxidável, desde a soleira até o piso de operação.

A construção dos painéis de grades deverá ser executada a partir de barras verticais, de perfil com seção transversal retangular, espaçadas de 50 mm pela linha de centro, montadas sobre um quadro de aço estrutural.

O projeto das grades deverá possibilitar a passagem de um rastelo limpa grades, devendo se tomar cuidado para que o espaçamento e alturas das barras verticais, assim como a rampa do painel superior sejam compatíveis com o projeto de um rastelo. O rastelo deverá ser operado pela talha elétrica.

O dimensionamento das grades, com relação à ressonância, deverá ser executado considerando-se a vazão de disparo da turbina.

A área de obstrução das grades não deverá ultrapassar 25% (quinze por cento) da área livre da abertura da passagem da água.

A relação entre a altura e a largura das barras verticais deverá ser de no máximo 8 (oito).

As peças fixas a serem embutidas no concreto de 2º estágio deverão ser constituídas por subconjuntos soldados na fábrica a serem montados no campo por parafusos e soldagem.

A grade deverá ser projetada para longo período sem utilização.

Dados Básicos:

- Tipo.....Removível
- Número total de aduções 01
- Número de painéis de grade 01
- Número de elementos por painel de grade 02
- Número de jogos de peças fixas 01
- Pressão máxima de projeto dos painéis.....30,0 kPa
- Espaçamento entre barras verticais .....50 mm
- Largura de um vão livre .....3.500 mm
- Altura vertical de um vão livre .....4.800 mm
- Elevação soleira.....EL. 101,80 m
- Elevação piso da estrutura da Tomada .....EL. 123,50 m
- N.A. máximo normal .....EL. 120,00 m

- N.A. máximo normal de projeto.....EL. 121,00 m
- N.A. máximo maximorum.....EL. 122,08 m
- Levantamento.....Talha em monovia

3.10.9 Comporta Ensecadeira da Tomada d'água de Adução

A Comporta Ensecadeira terá por finalidade fazer o fechamento do vão da Tomada d' Água de Adução, possibilitando a inspeção geral e a manutenção da comporta vagão. Deverá ser constituída por 02 elementos, em aço estrutural soldado, com paramento e vedação no lado de jusante. A Comporta Ensecadeira deverá ser de tipo deslizante para operação em águas equilibradas, com válvulas by-pass de enchimento, acionadas pelo peso próprio da viga pescadora.

A comporta ensecadeira deverá ser projetada para longo período sem utilização.

Dados Básicos:

- Tipo de comporta.....Ensecadeira
- Número total de aduções.....01
- Número de comportas por adução.....01
- Número total de comportas.....01
- Número de elementos por comporta.....02
- Número de jogos de peças fixas.....01
- Paramento e plano de vedação.....Jusante
- Altura de vão livre.....2.600 mm
- Largura de vão livre.....3.500 mm
- Elevação soleira.....EL. 101,80 m
- N.A. máximo normal.....EL. 120,00 m
- N.A. máximo normal de projeto.....EL. 121,00 m
- N.A. máximo maximorum.....EL. 122,08 m
- Acionamento.....Viga pescadora

3.10.10 Comporta Vagão da Tomada d'água de Adução

A Comporta vagão terá por finalidade realizar o fechamento do vão da Tomada D'água de Adução para manutenção das unidades geradoras, e terá, também, a função principal de fechar em emergência o circuito hidráulico no caso de disparo da turbina. Deverá ser constituída por 02 elementos, em aço estrutural soldado, com paramento e vedação no lado de montante. As vedações das laterais e superior da comporta deverão ser do tipo nota musical revestida com teflon. A vedação da soleira será do tipo barra chata.

A comporta vagão deverá ser projetada para longo período sem utilização.

Dados Básicos:

- Tipo de comporta.....Vagão
- Número de aduções.....01

- Número comportas por adução 01
- Número total de comportas 01
- Número de elementos por comporta 02
- Número de jogos de peças fixas 01
- Número de jogos de dispositivos de calagem 01
- Paramento e plano de vedação ..... Montante
- Largura do vão livre ..... 3.500 mm
- Altura do vão livre ..... 2.600 mm
- Velocidade de movimentação (fechamento normal) ..... 1,0 m/min
- Velocidade de movimentação (abertura) ..... 1,0 m/min
- Velocidade de movimentação (fechamento de emergência) .... a definir pelo fornecedor da turbina
- Elevação da soleira ..... EL. 101,80 m
- Elevação do piso da estrutura da Tomada d'Água ..... EL. 123,50 m
- N.A. máximo normal ..... EL. 120,00 m
- N.A. máximo normal de projeto ..... EL. 121,00 m
- N.A. máximo maximorum ..... EL. 122,08 m
- Acionamento ..... Cilindro hidráulico e central oleodinâmica

3.10.11 Ponte Rolante da Tomada de Água de Desvio

A movimentação para montagem, operação e manutenção dos equipamentos hidromecânicos da tomada d'água de desvio e sistema de vazão sanitária será realizada por intermédio de uma ponte rolante, instalada sobre a estrutura da tomada de desvio.

A ponte deverá ter um guincho para manutenção e operação das comportas ensecadeiras e montagem da comporta vagão da estrutura de desvio, assim como para operação e manutenção das comportas do sistema de vazão sanitária.

Dados Básicos

- Quantidade 01

Caminho de Rolamento:

- Vão entre as linhas de centro dos trilhos ..... 7,75 m
- Extensão aproximada do caminho de rolamento ..... 12,50 m
- Elevação da base do caminho de rolamento ..... EL. 131,50 m
- Velocidade de translação do carro ..... 0,5 a 5,0 m/min (com variação contínua)
- Velocidade de translação da ponte ..... 1,0 a 10,0 m/min (com variação contínua)

Guincho Principal:

- Capacidade nominal do guincho ..... 190 kN (1)
- Curso do gancho ..... 60,00 m

- Velocidade do gancho principal .....0,5 a 5,0 m/min (com variação contínua)
- Alimentação Elétrica ..... 380 V, trifásica, 60 Hz
- Tensão nos circuitos de controle.....220 Volts

Nota (1): Valor a ser confirmado pelo fabricante da comporta vagão da estrutura de desvio.

3.10.12 Plataforma de Transporte de Painéis de Comporta da Estrutura de Desvio

O deslocamento dos painéis de comporta até a tomada de desvio e vazão sanitária, será realizado através de uma plataforma leve sobre trilhos, que serão instalados no deck e na ponte de acesso ao deck. Sua movimentação deverá ser realizada através de guincho móvel.

Dados Básicos

- Quantidade 01
- Comprimento dos trilhos .....87,00 m
- Capacidade da plataforma ..... 20 ton (1)
- Comprimento da plataforma.....3,00 m
- Largura da plataforma.....2,50 m

Nota (1): Valor a ser confirmado pelo fabricante da comporta vagão da estrutura de desvio.

3.10.13 Talha em Monovia da Tomada d'água de Adução

A movimentação para montagem, operação e manutenção dos equipamentos hidromecânicos da tomada d'água de adução será realizada por intermédio de uma talha em monovia, instalada sobre a estrutura da tomada de adução.

Dados Básicos

- Capacidade da talha elétrica.....65 kN (1)
- Altura total de elevação do gancho .....23,00 m
- Velocidade do gancho ..... 0,5 a 5,0 m/min
- Extensão da monovia .....10,00 m
- Alimentação Elétrica ..... 380 V, trifásica, 60 Hz
- Tensão nos circuitos de controle.....220 Volts

Nota (1): Valor a ser confirmado pelo fabricante da comporta vagão da tomada de adução.

3.10.14 Sistemas Auxiliares Mecânicos

Sistema de Água para Serviços Sanitários

Para o sistema de água para serviços sanitários, deverá ser previsto uma fonte de fornecimento de água potável, sendo essa fonte um poço artesiano ou um caminhão de água potável, sendo confirmada posteriormente.

A fonte de fornecimento de água potável alimentará uma caixa d'água localizada na laje da casa de comando. Uma rede de tubulações será responsável pela distribuição de água por gravidade para os pontos de consumo do banheiro e da copa.

No caso de utilização de poço artesiano, para o controle do nível nas caixas d'água será utilizada uma chave de nível, que será responsável pelos sinais de partida e parada da bomba do poço artesiano. A bomba também poderá ser operada manualmente através de botoeiras.

Sistema de Esgoto Sanitário

O Sistema de Esgoto Sanitário tem por finalidade captar as águas servidas provenientes das instalações sanitárias da casa de comando (sanitário, pias, etc...), fazer o tratamento adequado e dispor o efluente tratado em um sumidouro.

Está prevista 01 (uma) estação compacta de tratamento de esgoto do tipo biodigestor para receber o esgoto proveniente das instalações sanitárias. O biodigestor será instalado enterrado e deve ser capaz de tratar todo o esgoto coletado respeitando os parâmetros estabelecidos pela NBR 13969:1997 para descarte do efluente em sumidouro. O lodo residual do tratamento será armazenado em um leito de secagem.

3.10.15 Sistema de Alimentação Elétrica

A alimentação elétrica dos sistemas e componentes da barragem será realizada pela distribuidora de energia local, através de linha de média tensão (a tensão fornecida pela linha externa de média tensão deverá ser confirmada pela distribuidora local).

3.10.16 Transformador de Serviços Auxiliares

Um transformador está previsto para rebaixar a tensão da energia recebida para alimentação dos sistemas elétricos do Projeto.

a) Identificação:
   - TAG ..... TSA-BA
   - Área ..... Barragem
   - Quantidade ..... 1 (um)

b) Características do Sistema Elétrico:
   - Fonte ..... Linha externa
   - Classe de Tensão ..... 13,8 kV (*)
   - Frequência ..... 60 Hz

c) Características Elétricas do Equipamento:
   - Tipo ..... Trifásico
   - Isolação ..... Seco
   - Potência nominal ..... 75 kVA
   - Tensão nominal do primário ..... 13,8 kV (*)
   - Tensão nominal do secundário ..... 400/231 V
   - Comutador de tapes:
     - Modo de operação: ..... sem carga
     - local de instalação ..... enrolamento primário (13,8 kV)
     - Faixa de tensão: ..... ± 2 x 2,5%

- Comutação manual.
- Relação nominal do transformador: ..... 13800 ± 2 x 2,5% - 460/266 V

- Tensão de comando e sinalização..... 220 V
- Deslocamento angular..... Dyn1
- Resfriamento .....AN

3.10.17 Gerador Diesel

Previsto para situações em que a fonte primária de alimentação (concessionária) não está disponível.

d) Características Elétricas do Equipamento:

- Tipo do gerador .....Síncrono
- Classificação ..... *Prime*
- Fases ..... Trifásico
- Potência nominal ..... 75 kVA
- Tensão nominal de operação ..... 400 V
- Frequência ..... 60 Hz
- Fator de potência (indutivo) 0,8
- Excitação..... Dinâmica (*Brushless*)
- Tensão auxiliar ..... 220 V ± 10%
- Ligação..... Estrela com neutro acessível
- Conexão do neutro ..... Solidamente aterrado ou aterrado por resistor
- Partida.....Bateria (*)

(*) A bateria faz parte do fornecimento do sistema do Gerador Diesel.

3.10.18 Sistema de alimentação ininterrupta

Um Nobreak com autonomia de 2,5h, para uma demanda contínua de 1kVA, e potência nominal 2000VA / 1600W está previsto para verificar o fornecimento ininterrupto de energia aos componentes críticos do projeto.

4. LISTA DE QUANTIDADES

Para determinação das quantidades de obras civis, a INTERTECHNE elaborou um modelo 3D completo do empreendimento. Este modelo 3D tem como base as informações cartográficas, batimétricas e geológico-geotécnicas para sua concepção.

A partir destes dados básicos de entrada são incorporadas as escavações, aterros lançados e compactados das ensecadeiras e barragens, estruturas de concreto e tratamentos geológico-geotécnicos.

As dimensões, geometrias e demais características das estruturas, tanto de aterros como de concreto representam são representadas em metro e estão georeferenciadas.

A concepção deste modelo 3D permite a extração das quantidades de maneira precisa evitando erros de cálculo devido a geometrias complexas. A partir do modelo 3D, foram

extraídas as quantidades de todos os materiais presentes na concepção do arranjo geral.

A Figura 4.1 apresenta a planta do arranjo da Barragem dos Imigrantes extraída do modelo 3D.

Figura 4.1 – Planta do arranjo geral da Barragem dos Imigrantes

