



## **MEMORIAL DESCRITIVO**



## **CGH TAMARANA**

**TAMARANA - PR  
2024**



**CARVIC EMPREENDIMENTOS E PARTICIPAÇÕES LTDA**  
**CGH TAMARANA**

RIO APUCARANINHA  
BACIA 6 - PARANÁ  
SUB-BACIA 64 - RIOA PARANÁ, PARANAPANEMA E OUTROS

Responsável técnico:  
Jhoni Loro

CREA PR:  
65443-D

Volume I – Texto

Local: Tamarana - PR

REVISÃO	DESCRIÇÃO	DATA
R0	Emissão inicial	15/06/2023
R1	Revisão nº 1	06/11/2024



## SUMÁRIO

<b>7</b>	<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
	<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>7</b>
<b>1.</b>	<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>2.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA BACIA E MICROBACIA HIDROGRÁFICA .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Potencial energético do rio Apucarantina .....</b>	<b>14</b>
<b>4.2</b>	<b>Caracterização das Águas Superficiais .....</b>	<b>14</b>
<b>5.</b>	<b>ESTUDO HIDROLÓGICO .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1</b>	<b>Seleção das estações fluviométricas .....</b>	<b>23</b>
<b>5.2</b>	<b>Série de dados fluviométricos .....</b>	<b>26</b>
<b>5.3</b>	<b>Vazões mínimas .....</b>	<b>30</b>
<b>5.4</b>	<b>Vazões máximas .....</b>	<b>33</b>
<b>5.5</b>	<b>Vazão média de longo termo e vazão máxima turbinada .....</b>	<b>36</b>
<b>5.6</b>	<b>Níveis de água montante e jusante .....</b>	<b>36</b>
<b>5.7</b>	<b>Queda bruta e queda líquida .....</b>	<b>36</b>
<b>6.</b>	<b>ESTUDO ENERGÉTICO .....</b>	<b>36</b>
<b>6.1</b>	<b>Análise dos estudos hidrológicos e energéticos .....</b>	<b>41</b>
<b>6.2</b>	<b>Estudos hidráulicos e energéticos .....</b>	<b>42</b>
<b>7.</b>	<b>DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO .....</b>	<b>44</b>
<b>7.1</b>	<b>Histórico do empreendimento .....</b>	<b>44</b>
<b>7.2</b>	<b>Estruturas do projeto .....</b>	<b>45</b>
<b>7.2.1</b>	<b>Barramento .....</b>	<b>47</b>
<b>7.2.1.1</b>	<b>Cota Maximorum .....</b>	<b>48</b>
<b>7.2.2</b>	<b>Comporta Desarenadora .....</b>	<b>49</b>
<b>7.2.3</b>	<b>Tomada d'água .....</b>	<b>52</b>
<b>7.2.4</b>	<b>Canal de adução .....</b>	<b>55</b>
<b>7.2.5</b>	<b>Câmara de carga .....</b>	<b>58</b>
<b>7.2.6</b>	<b>Conduto forçado .....</b>	<b>62</b>
<b>7.2.7</b>	<b>Casa de força .....</b>	<b>65</b>
<b>7.2.8</b>	<b>Canal de fuga .....</b>	<b>69</b>
<b>7.2.9</b>	<b>Dessassoreamento do Canal de Fuga .....</b>	<b>71</b>
<b>7.2.9.1</b>	<b>Volumetria de Material .....</b>	<b>71</b>



7.2.9.2	Bota Fora .....	72
7.2.10	Trecho de Vazão Reduzida .....	73
7.2.11	Conexão.....	74
7.2.12	Estruturas auxiliares .....	75
7.2.12.1	<i>Canteiro de Obras</i> .....	75
7.2.12.2	<i>Gerenciamento dos resíduos sólidos</i> .....	76
7.2.12.3	<i>Tratamento dos efluentes líquidos</i> .....	79
<b>7.3</b>	<b>Área de bota-fora</b> .....	<b>81</b>
<b>7.4</b>	<b>Acessos</b> .....	<b>82</b>
<b>7.5</b>	<b>Método construtivo e demais especificações</b> .....	<b>83</b>
<b>7.6</b>	<b>Equipamentos de geração e auxiliares</b> .....	<b>84</b>
<b>7.7</b>	<b>Equipamentos e sistemas elétricos</b> .....	<b>85</b>
<b>7.8</b>	<b>Equipamentos hidromecânicos</b> .....	<b>86</b>
<b>7.9</b>	<b>Sistemas auxiliares e instalações</b> .....	<b>86</b>
<b>7.10</b>	<b>Obras e acessórios</b> .....	<b>87</b>
<b>7.11</b>	<b>Tanque de Abastecimento</b> .....	<b>88</b>
<b>8.</b>	<b>PLANEJAMENTO DA CONSTRUÇÃO E CRONOGRAMA FÍSICO</b> .....	<b>90</b>
8.1	Custos .....	91
8.2	Análise econômica .....	93
8.3	Orçamento .....	95
8.4	Cronograma .....	97
<b>9.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>99</b>



## 7 LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da CGH Tamarana .....	10
Figura 2 – Bacia e microbacia hidrográfica do rio Apucarantina .....	11
Figura 3 – Localização da CGH Tamarana .....	12
Figura 4 – Localização em relação as bacias hidrográficas.....	14
Figura 5 – Distribuição da precipitação dentro da bacia hidrográfica do rio Apucarantina ...	20
Figura 6 - Período de registro das vazões nas estações .....	25
Figura 7 -Curva de Permanência .....	29
Figura 8 - Gráfico das vazões mínimas .....	33
Figura 9 - Vazões máximas de acordo com o tempo de retorno. ....	35
Figura 10 - Potência instalada x energia gerada .....	39
Figura 11 - Potência instalada x Fator de capacidade. ....	40
Figura 12 – Geração de energia de acordo com a permanência de vazões. ....	42
Figura 13 – Energético CGH Tamarana. ....	43
Figura 14 - Esquema do funcionamento hidrelétrico da CGH Tamarana. ....	46
Figura 15 - Ilustração das estruturas instaladas .....	46
Figura 16 - Barramento existente da CGH Tamarana.....	48
Figura 17 - Comporta desarenadora do barramento .....	50
Figura 18 - Comporta desarenadora do barramento com detalhes do acionamento por cremalheira (detalhe A) e a saída da água no fundo (detalhe B). O detalhe C demonstra as dimensões da comporta existente em madeira a qual será substituída por uma nova.....	51
Figura 19 - Tomada d'água da CGH Tamarana. ....	53
Figura 20 - Vegetação na tomada d'água.....	53
Figura 21 - Vegetação a montante da tomada d'água .....	54
Figura 22 -Seção do Canal de adução da CGH Tamarana (A), com representação do perfil da montante para jusante (B). ....	56
Figura 23 - Canal de adução da CGH Tamarana, da montante para jusante .....	57
Figura 24 - Canal de adução, da jusante para montante .....	58
Figura 25 - Limpeza das grades e de dentro da câmara.....	59
Figura 26 – Detahe da comporta e o fluxo de detritos para limpeza das grades na câmara de carga .....	61
Figura 27 – Detahe da comporta para limpeza das grades na câmara de carga.....	62
Figura 28 - Conduto forçado, saindo da câmara de carga .....	63
Figura 29 - Detalhe dos berços.....	64
Figura 30 – Detalhamento dos berços e tubulações existentes e das adaptações dos berços com as novas tubulações a serem substituídas. ....	64
Figura 31 - Situação atual da casa de força .....	66
Figura 32 - Lado externo da casa de força atualmente .....	66
Figura 33 - Rastros da enchente na fábrica de papelão .....	67
Figura 34 – Turbinas da antiga usina. ....	68
Figura 35 – Exemplo de paredes estanques nas setas indicadores, juntamente com uma porta com sistema de selantes elastoméricos com porta tipo escotilha para passagem de pessoas, visando garantir a estanqueidade. ....	69
Figura 36 - Canal de fuga, da jusante para montante .....	70
Figura 37 - Canal de fuga, da montante para jusante .....	71



Figura 38 - Croqui com esquema de escavação da bacia de deposição do material e bota fora do proveniente do dessassoreamento.....	72
Figura 39 - Croqui com esquema de escavação da bacia de deposição do material proveniente do dessassoreamento. ....	73
Figura 40 - Modelo COPEL de cabina de medição .....	75
Figura 41 - Esquema do gerenciamento dos resíduos sólidos .....	78
Figura 42 - Esquema de funcionamento do biodigestor .....	79
Figura 43 - Instalação de biodigestor .....	80
Figura 44 - Área de bota-fora .....	82
Figura 45 - Acesso da cidade de Tamarana-PR até a CGH Tamarana .....	83
Figura 47 – Detalhes do Tanque de abastecimento de 2.000 litros.....	89



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados gerais do empreendimento .....	12
Tabela 2 – Estações pluviométricas identificadas .....	18
Tabela 3 – Precipitações médias mensais nas estações pluviométricas .....	19
Tabela 4 - Resultados dos parâmetros calculados para caracterização da bacia e microbacia hidrográfica .....	22
Tabela 5 - Estações fluviométricas selecionadas .....	24
Tabela 6 – Dados cadastrais da estação PCH Apucarantina Reservatório Fiu .....	25
Tabela 7 – Dados cadastrais da estação Londrina MTE. ETA SANEPAR .....	26
Tabela 8 - Vazões na estação base.....	27
Tabela 9 - Vazões na CGH Tamarana .....	28
Tabela 10 - Permanência das vazões .....	30
Tabela 11 – Vazões mínimas de sete dias para a CGH Tamarana.....	31
Tabela 12 – Valores de vazões sanitárias obtidos de acordo com as distribuições.....	32
Tabela 13 - Dados da vazão mínima de jusante .....	32
Tabela 14 - Vazões máximas anuais para a CGH Tamarana.....	33
Tabela 15 – Vazões máximas de retorno de acordo com o tempo e as distribuições .....	35
Tabela 16 – Simulação energética.....	38
Tabela 17 - Dados da alternativa selecionada. ....	40
Tabela 18 - Dados gerais do empreendimento. ....	41
Tabela 19 - Quantidade de pessoas atendidas pelo biodigestor .....	81
Tabela 21 - Orçamento.....	95





## **1. APRESENTAÇÃO**

A instalação da CGH Tamarana, de propriedade da Carvic Empreendimentos E Participações LTDA visa a geração de energia elétrica a partir do aproveitamento do potencial hídrico do rio Apucarantina, com potência instalada de 1,9 MW, no município de Tamarana no estado do Paraná.

O presente memorial descritivo irá complementar os estudos ambientais, visando analisar os recursos hídricos disponíveis e juntamente com as características operacionais do empreendimento e a queda líquida disponível quantificar os aspectos energéticos e definir a melhor alternativa de potência instalada para o empreendimento, bem como o arranjo das estruturas civis a fim de adquirir as licenças ambientais junto ao órgão ambiental competente, para posterior instalação e operação do empreendimento.

Este estudo inicia-se a partir da identificação e localização do empreendimento, seguidas pelos estudos hidrológicos e energéticos para quantificação fluviométrica do rio Apucarantina na seção de interesse e definição do potencial para geração de energia elétrica local. Sendo posteriormente apresentadas e detalhadas as estruturas, equipamentos e dimensionamento que compõem o aproveitamento, definidos no projeto a fim de completar os estudos ambientais.

O presente estudo está estruturado em dois volumes, sendo que o primeiro contempla os textos, com as seguintes informações:

- Cap. 1 Apresentação: abordagem geral de como será apresentado o projeto do empreendimento;
- Cap. 2 Introdução: objetivo e justificativa de implantação do empreendimento;
- Cap. 3 Caracterização da área de estudo: localização do empreendimento e suas características principais e a caracterização da bacia hidrográfica;
- Cap. 4 Caracterização da bacia e microbacia hidrográfica: potencial energético a caracterização das águas superficiais;
- Cap. 5 Estudo hidrológico: estudos de vazões para o aproveitamento;
- Cap. 6 Estudos energéticos: características energéticas do empreendimento;





- Cap 7. Detalhamento do projeto: histórico do empreendimento, detalhamento das estruturas e demais informações;
- Cap 8. Planejamento da construção e cronograma físico;
- Cap 9. Conclusão: considerações finais a respeito do empreendimento;

O volume II contempla os desenhos.

## 2. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica cresce proporcionalmente com o aumento êxodo rural dos últimos anos aliado com o avanço da tecnologia do mundo moderno. O preço da energia elétrica aumenta com a demanda energética chegando a ser reajustado em algumas localidades.

As Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH), visam transformar energia mecânica em energia elétrica, assim contribuindo para o aumento de oferta de energia elétrica, sendo um empreendimento de baixo custo e impacto ambiental, quando comparados com outros empreendimentos, utilizando uma fonte natural para a geração de energia, aproveitando da queda natural do relevo e sem prejudicar o curso d'água original. A instalação destas unidades não provoca alagamento das de grandes áreas, preservam o habitat natural das espécies que vivem próximas, além disso, podem ser construídas em rios com menor vazão, onde esses, auxiliam para a descentralização da geração elétrica no país.

Diferentemente de uma hidrelétrica de grande ou médio porte, as centrais geradoras hidrelétricas (CGH) não utilizam reservatórios para armazenamento de água. Elas operam a fio d'água, ou seja, permite que a passagem de água se mantenha contínua, aproveitando a força da correnteza e a vazão natural dos rios, com isso não requer uma área inundável.

O presente estudo foi elaborado com objetivo de apresentar as características técnicas da CGH Tamarana, contemplando a caracterização da área de estudo, e das estruturas e equipamentos definidos no projeto a fim de complementar os estudos ambientais apresentados.



Este estudo analisa os recursos hídricos disponíveis e juntamente com as características operacionais do empreendimento e a queda líquida disponível quantifica os aspectos energéticos e define a melhor alternativa de potência instalada para o empreendimento, bem como o arranjo das estruturas civis.

### 3. IDENTIFICAÇÃO DO EMPREENDIMENTO E DA ÁREA DE ESTUDO

O local do aproveitamento situa-se no município de Tamarana, no estado do Paraná. As coordenadas de localização do empreendimento são latitude 23°45'1.35"S e longitude 51° 1'30.59"O; Coord. UTM X 497294.10 m E; Coord. UTM Y 7373409.72 m S.

O acesso ao local faz-se a partir da cidade de Tamarana – PR, por meio da rodovia PR-483 e de estradas secundárias não pavimentadas. O local de instalação da CGH Tamarana fica aproximadamente 10,3 km distante da área urbana do município, como mostra a Figura 1, na mesorregião norte do Paraná.

Figura 1 – Localização da CGH Tamarana



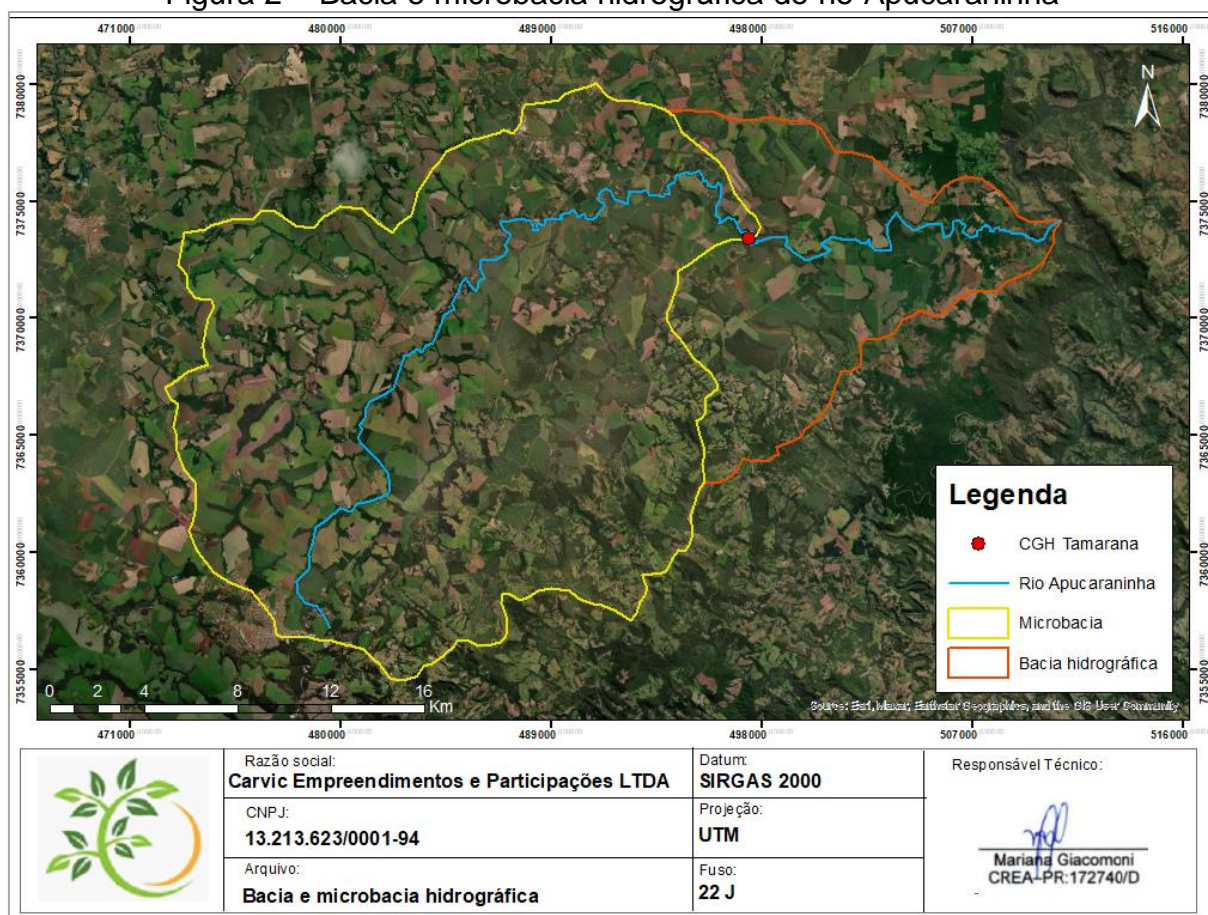
Fonte: Autor, 2023.



O aproveitamento leva em consideração o desnível natural existente no local, caracterizado por uma cachoeira e mais a instalação de barramento com sistema de adução pela margem direita do rio Apucarantina. A Figura 2 identifica o empreendimento CGH Tamarana dentro da bacia e microbacia do rio Apucarantina.

A área de drenagem encontrada com a delimitação da bacia do rio Apucarantina até a CGH foi de 432 km<sup>2</sup>, abrangendo os municípios de Tamarana, Mauá da Serra, Marilândia do Sul e Londrina.

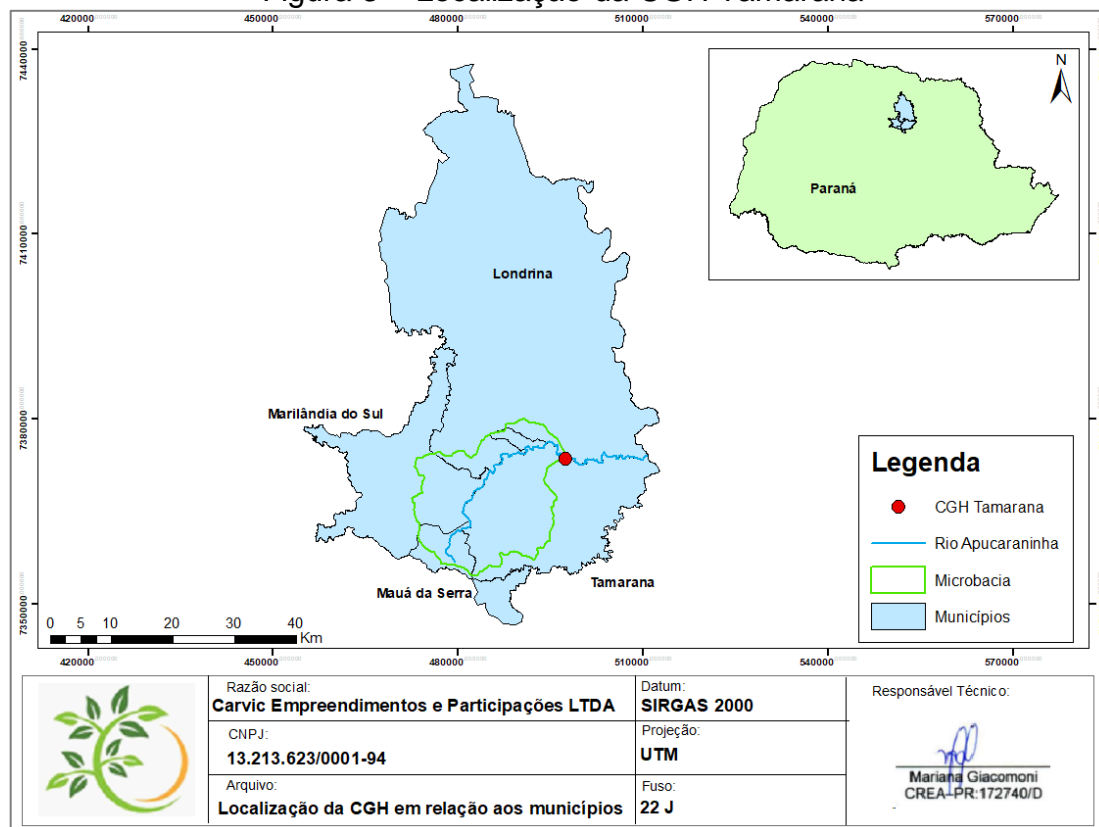
Figura 2 – Bacia e microbacia hidrográfica do rio Apucarantina



Fonte: Autor, 2023.



Figura 3 – Localização da CGH Tamarana



Fonte: Autor, 2023.

A CGH Tamarana será instalada no município de Tamarana - PR, no imóvel parcela 04, resultante da subdivisão do lote nº 319/A, este por sua vez da anexação dos lotes nºs 319, 317-A e 313-A, situados na Gleba nº 02, da colônia “G” Apucarantina, registrado sob a matrícula nº 51.784. Os principais dados de identificação do empreendimento são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados gerais do empreendimento

Razão social	Carvic Empreendimentos e Participações LTDA
Tipo de empreendimento	Central Geradora Hidrelétrica – CGH
Nome fantasia	CGH Tamarana
CNPJ	13.213.623/0001-94
Endereço	Fazenda Apucarantina, SN
Município	Tamarana- PR
Corpo de Água	Rio Apucarantina
Nº de Matrícula do Imóvel	51.784





Coordenada Geográfica

Lat: 23°45'1.37"S Long: 51° 1'35.59"O

Coordenadas UTM

X 497294.10 m E | Y 7373409.72 m S

Fonte: Autor, 2020.

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DA BACIA E MICROBACIA HIDROGRÁFICA

A área de estudo no presente memorial descritivo compreende o trecho do rio Apucarantina entre as seções de captação e de restituição da água, bem como parte do imóvel rural que compõe o local de instalação da CGH Tamarana.

➤ Coordenadas da CGH Tamarana:

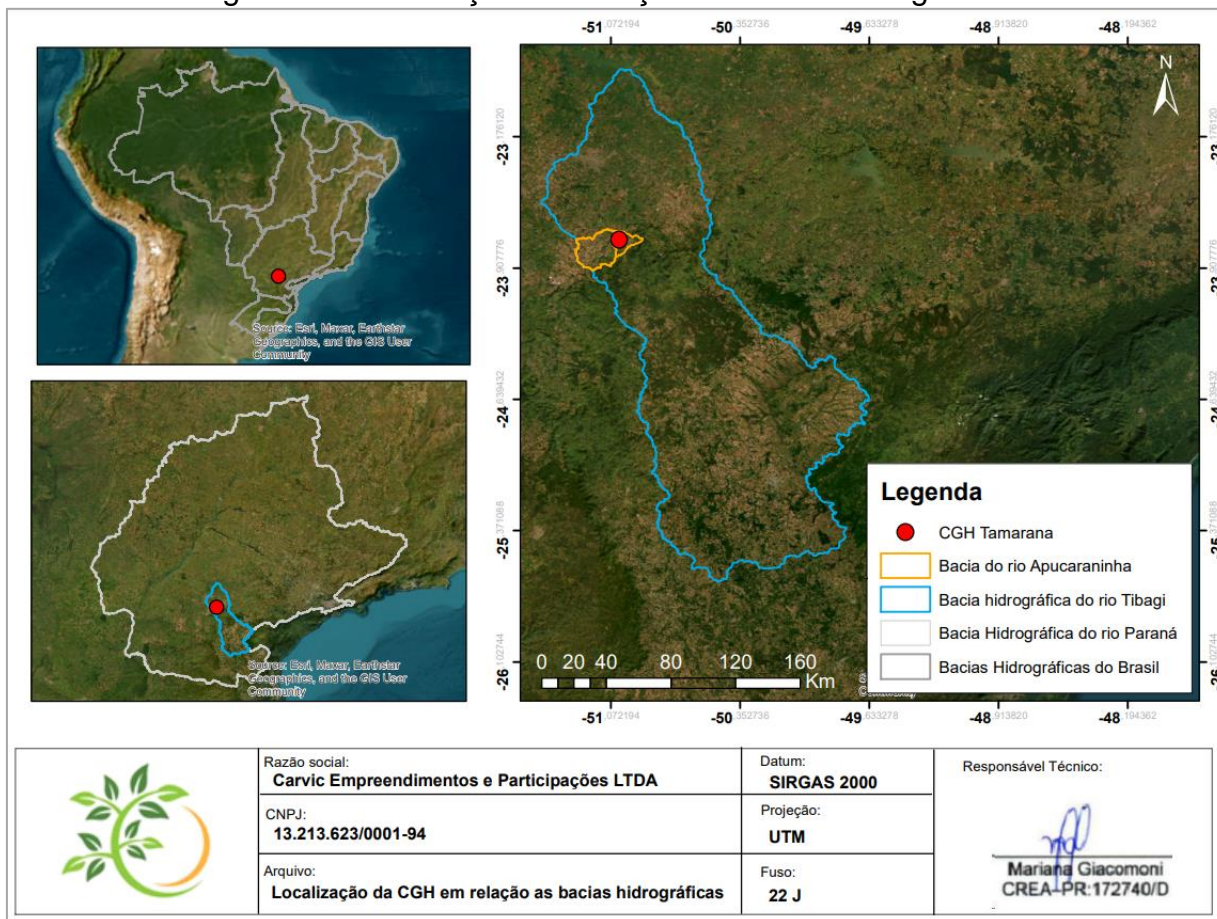
Latitude: 23°45'1.35"S; Coordenada UTM X 497294.10 m E

Longitude: 51° 1'30.59"O; Coordenada UTM Y 7373409.72 m S

O rio Apucarantina pertence a bacia hidrográfica do Rio Paraná e a sub-bacia do rio Tibagi. A bacia hidrográfica do rio Apucarantina possui área de 553 km<sup>2</sup>, sendo seus principais afluentes o rio Claro, rio do Ermesto, Rio Santa Cruz e rio Valêncio, com nascente em Mauá da Serra, localizada próximo as coordenadas latitude 23°54'3.43"S; Coord. UTM X 479522.33 m E e longitude 51°12'4.24"O; Coord. UTM Y 7356724.73 m, desaguando no rio Tibagi, sob as coordenadas latitude 23°44'37.72"S; Coord. UTM X 510732.69 m E e longitude 50°53'40.87"; Coord. UTM Y 7374132.69 m S, na Figura 4.



Figura 4 – Localização em relação as bacias hidrográficas



Fonte: Autor, 2023.

#### 4.1 Potencial energético do rio Apucarantina

Após consulta ao Centro de Documentações da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, observou-se que o rio Apucarantina não possui inventário hidrelétrico.

#### 4.2 Caracterização das Águas Superficiais

A caracterização das águas superficiais procedeu-se inicialmente com a caracterização fisiográfica da bacia e da microbacia, a qual possui por finalidade identificar as características físicas e sua interação com o regime hidrológico, compreendendo os processos naturais atuantes na bacia.

A metodologia para caracterização compreendeu sua delimitação,



processamento de dados por meio de Sistemas de Informação Geográficas, sendo utilizados os softwares ArcMap 10.6.1 e Google Earth Pro, para os quais utilizaram-se arquivos disponíveis em diferentes bancos de dados, como cartas topográficas disponibilizadas pelo Banco de Dados do Exército Brasileiro – BDGEx e arquivos vetoriais disponibilizados pela Agência Nacional das Águas, procedendo-se o cálculo dos parâmetros apresentados a seguir:

- Área (A): Compreende a área limitada pelos divisores de água, em que a captação natural da água precipitada contribui para o escoamento no rio principal e seus tributários.
- Perímetro (P): Percurso delimitador da bacia hidrográfica, que coincide com os divisores de água.
- Forma: As bacias hidrográficas podem ter forma circular, radial (ramificada) ou elíptica. A forma da bacia hidrográfica tem efeito direto sobre o comportamento hidrológico e pode ser expressa quantitativamente através de alguns fatores, como o fator de forma, índice de conformação e índice de compacidade.
- Índice de compacidade: Expressa a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com a mesma área.

$$K_C = \frac{0,282 * P}{\sqrt{A}}$$

Onde:

Kc = Índice de compacidade

P = Perímetro da bacia (km)

A = Área de bacia (km<sup>2</sup>)

- Índice de conformação (Fc): Expressa a relação da área da bacia com a área de um quadrado no qual o lado é igual ao comprimento axial da bacia. Quanto mais próximo de 1 o fator de conformação, maior a possibilidade de ocorrência de picos de cheia.





$$F_c = \frac{A}{L^2}$$

Onde:

F<sub>c</sub> = Índice de conformação;

A = Área da bacia (km<sup>2</sup>);

L = Comprimento axial (km).

- Índice de circularidade: o índice de circularidade expressa a relação entre área da bacia hidrográfica e o perímetro de um círculo com a mesma área. Valores próximos a um indicam que a bacia possui formato circular, sendo que a medida que esse valor diminui indica que a bacia possui formato mais alongado.

$$IC = \frac{12,57 * A}{P^2}$$

Onde:

IC = Índice de circularidade;

A = Área da bacia (km<sup>2</sup>);

P = Perímetro da bacia (km)

- Índice de declividade: consiste na razão entre a diferença de elevação na nascente e na foz do rio e o seu comprimento, podendo ser expressa em porcentagem ou em m/m.

$$S = \frac{Z_{cabeceira} - Z_{foz}}{L}$$

Onde:

Z<sub>cabeceira</sub> = Elevação na nascente (m);

Z<sub>foz</sub> = Elevação na foz (m);

L = Comprimento do rio (m).

- Padrão de drenagem: O padrão de drenagem tanto para a bacia hidrográfica quanto para a microbacia é classificado como dendrítico. De acordo com Manoel



e Rocha (2017), o padrão de drenagem dendrítico, é conhecido também como arborescente, pois a disposição dos rios e seus afluentes assemelha-se a uma árvore e seus galhos, distribuindo-se em todas as direções e unem-se formando ângulos agudos, mas nunca retos. O padrão de drenagem dendrítico, é desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme ou em estruturas sedimentares horizontais.

- Tempo de concentração: É o tempo para que uma gota de água precipitada no ponto mais distante da bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial na sessão de interesse.

De acordo com a equação de Watt e Chow, o tempo de concentração pode ser obtido através do comprimento do rio principal e da declividade do rio, sendo expresso por:

$$T_c = 7,68 \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,79}$$

Onde:

L = Comprimento do rio principal (km);

S = índice de declividade (m/m)

- Condições de precipitação: Dentre os elementos climáticos que mais interferem na vida humana a precipitação é uma das que mais causa preocupação pelo seu excesso ou pela sua escassez.

Os estudos hidrológicos foram efetuados após a obtenção dos dados pluviométricos obtidos nas estações localizadas em Tamarana e municípios limítrofes, obtendo-se a distribuição através da correlação da pluviometria média. Os dados estão indicados na Tabela 2, Tabela 3 e Figura 5.



Tabela 2 – Estações pluviométricas identificadas

Código	Estação	Município	Período de registro	Base de dados
A835	Maringá	Maringá	2006 - 2023	INMET
A871	Japira	Ibaiti	2008 - 2023	INMET
A821	Joaquim Távora	Joaquim Távora	2006 - 2023	INMET
A872	Ventania	Ventania	2011 - 2023	INMET
2351039	LERROVILLE	Londrina	1975 - 1996	Hidroweb
2350015	PCH Apucarantina	Tamarana	1948-2004	Hidroweb
2350071	Montante Barragem FIU	Tamarana	2019-2004	Hidroweb
2350038	Fazenda R.R.	Ortigueira	1975-1991	Hidroweb
2351003	Londrina	Londrina	1976 - 2019	Hidroweb
2351063	Mauá da Serra	Mauá da Serra	1979 - 1991	Hidroweb

Fonte: Adaptado pelo autor do Hidroweb e INMET, 2023.



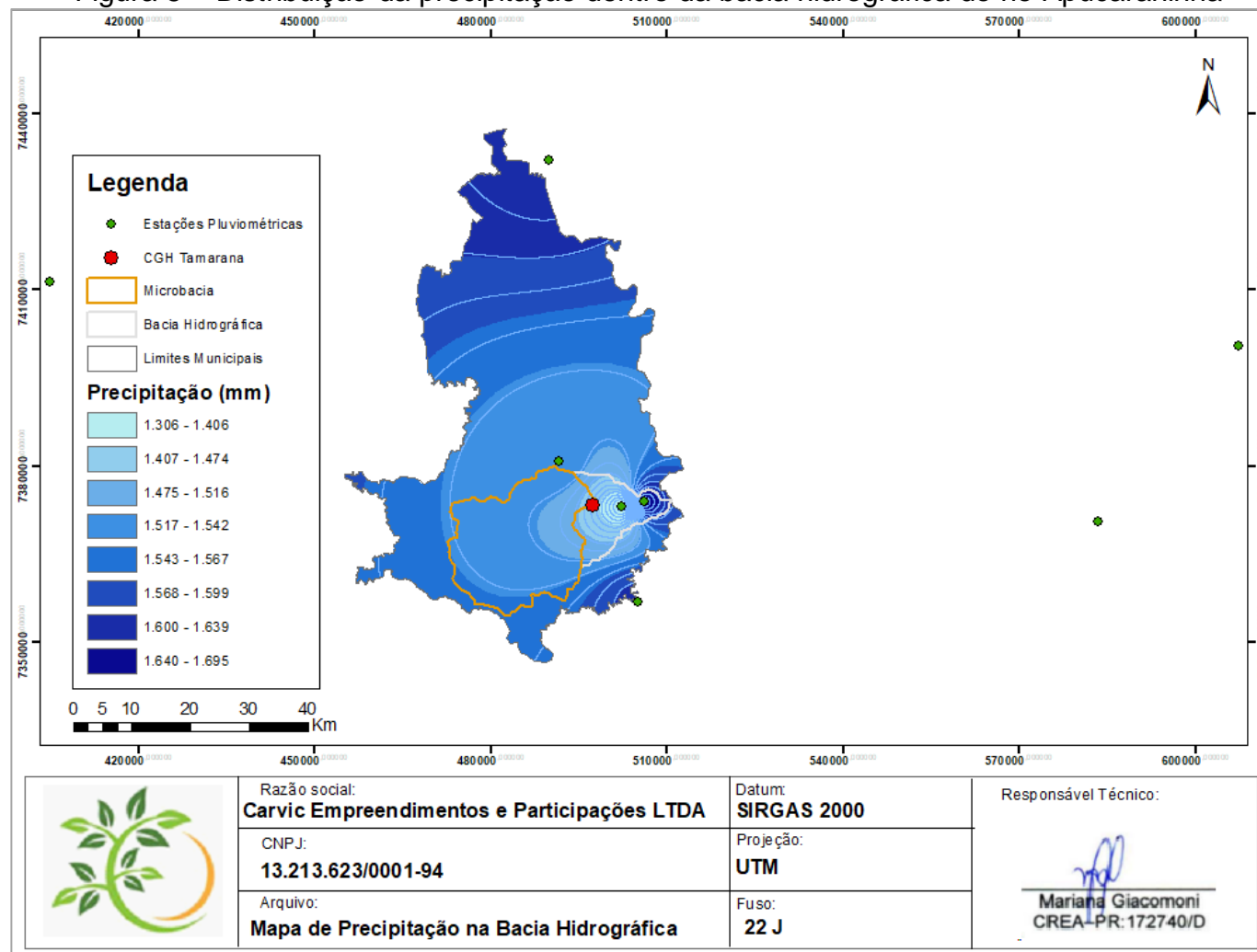
Tabela 3 – Precipitações médias mensais nas estações pluviométricas

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
<b>PCH Apucarantina</b>	198,7	229,1	147,1	118,7	107,8	128,0	49,3	60,4	139,2	160,9	158,5	197,2	1695,1
<b>Fazenda R.R.</b>	154,2	194,5	141,3	105,6	177,5	85,5	75,7	83,7	128,4	116,6	148,8	203,3	1615,0
<b>LERROVILLE</b>	180,6	157,2	131,5	91,8	128,2	84,6	96,6	78,0	131,9	116,3	141,7	198,5	1537,0
<b>Montante Barragem FIU</b>	233,2	121,9	94,4	94,5	63,2	91,1	90,2	60,7	75,2	135,3	100,7	145,1	1305,5
<b>Maringá</b>	166,2	284,4	263,8	164,2	149,8	62,4	60,0	104,4	122,6	184,8	143,6	141,2	1847,4
<b>Jápira</b>	197,2	214,2	165,8	87,6	145,2	80,4	52,2	144,6	77,6	152,4	150,4	184,8	1652,4
<b>Joaquim Távora</b>	175,8	148,2	105,2	40,6	188,2	97,6	66,4	114,8	61,0	149,0	163,2	167,8	1477,8
<b>Ventania</b>	144,0	264,8	171,0	121,4	129,4	95,8	63,2	139,3	203,6	187,4	155,4	182,0	1857,3
<b>Londrina</b>	223,9	187,1	137,6	108,0	116,6	94,5	71,3	54,1	115,7	152,2	165,6	205,8	1632,4
<b>Mauá da Serra</b>	217,8	191,1	170	120,2	195,8	126,6	87,3	73,5	144,9	147,0	187,7	217,1	1879,0
<b>Total</b>	189,2	199,3	152,8	105,3	140,2	94,7	71,2	91,4	120,0	150,2	151,6	184,3	1649,9

Fonte: Autor, 2023.



Figura 5 – Distribuição da precipitação dentro da bacia hidrográfica do rio Apucarantina



Fonte: Autor, 2023.



De modo específico, a análise das precipitações médias mensais de acordo com o mapa de distribuição indica uma precipitação média anual variando de 1.475 mm a 1.516 mm para o local da CGH Tamarana, no entanto, considerando a média anual de todas as estações a precipitação é de 1.649,9 mm.

Ao analisar as precipitações médias mensais para cada estação, observa-se que no mês de fevereiro ocorrem os maiores índices, e no mês de julho os menores.

- Infiltração: A infiltração é dada pela capacidade de absorção de água pelo solo durante a ocorrência de uma chuva. A capacidade de absorção pode variar de acordo com o tipo de solo, teor de umidade e tipo de uso do solo, sendo que no decorrer de uma chuva a capacidade de absorção do solo diminui à medida que o teor de umidade aumenta, até que o solo fique saturado e então inicie o processo de escoamento superficial.

Desta forma, a determinação da infiltração no solo foi calculada pela diferença entre o volume precipitado e o volume escoado tanto para a bacia como para a microbacia.

$$I = 1 - \frac{V_{esc}}{V_{pre}}$$

Onde:

I = Infiltração de água no solo;

V<sub>esc</sub> = Escoamento laminar (mm/ano);

V<sub>pre</sub> = Precipitação (mm/ano).

Tanto para a bacia quanto para a microbacia, a precipitação média anual é de 982,27 mm / ano. Quanto ao volume escoado, foi calculado a partir da vazão média de longo termo, sendo obtidos valores iguais para a bacia e microbacia, resultando em 982,3 mm / ano.



$$I = 1 - \frac{982,27}{1.649,9} = 0,4046 = 40,46\%$$

Desta forma, 40,46% do volume precipitado é infiltrado, resultando em aproximadamente 667,63 mm / ano.

Os resultados para a caracterização da bacia estão resumidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultados dos parâmetros calculados para caracterização da bacia e microbacia hidrográfica

Parâmetro	Bacia hidrográfica	Microbacia hidrográfica
Área	554 km <sup>2</sup>	424 km <sup>2</sup>
Perímetro	117 km	94,9 km
Forma	Radial ou ramificada	Radial ou ramificada
Índice de compacidade	0,87	1,30
Comprimento axial	40,09 km	27,2 km
Índice de conformação	0,34	0,57
Índice de circularidade	0,51	0,59
Comprimento do rio principal	65.429 m = 65,4 km	45.429 m = 45,4 km
Elevação na cabeceira	1.088 m	1.088 m
Elevação na foz	430 m	680 m
Índice de declividade	0,01	0,009
Padrão de drenagem	Dendrítica	Dendrítica
Tempo de concentração	1.284,39 min = 21h e 24 min	1006,63 min = 16 h e 46 min
Precipitação média anual	1.649,9 mm	1.649,9 mm
Identificação de estruturas hidráulicas já implantadas	Barragem e canal de adução, casa de força	Barragem e canal de adução, casa de força
Estruturas hidráulicas previstas	Barragem, tomada d'água e canal de adução	Barragem, tomada d'água e canal de adução
Evaporação	1.134 mm/ano	1.134 mm/ano
Infiltração	667,63 mm/ano	667,23 mm/ano

Fonte: Autor, 2023.





## **5. ESTUDO HIDROLÓGICO**

A disponibilidade hídrica do rio Apucarantina foi definida a partir do estudo hidrológico, o qual consiste em identificar a série de vazões para a seção de interesse baseando-se em dados quantitativos disponíveis em estações fluviométricas locais.

Conhecer a disponibilidade hídrica do rio Apucarantina na seção de interesse é de fundamental importância para a determinação da potência instalada, da energia média gerada, bem como da vazão máxima de engolimento a ser outorgada para a operação do empreendimento.

O estudo hidrológico foi desenvolvido a partir de dados das estações fluviométrica e pluviométrica disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas–Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA).

O estudo hídrico é fundamental para dimensionamento e desenvolvimento de uma Central Geradora Hidrelétrica, pois com os dados pluviométricos é possível calcular as vazões máximas através de um modelo de transformação de chuva em vazão, a qual varia de acordo com os parâmetros climáticos, sendo a entrada de água definida a partir da precipitação e a saída a partir da combinação de diferentes características como temperatura, insolação, evapotranspiração, bem como o uso do solo e a declividade média.

Os estudos hidrológicos são realizados com base nas características fisiográficas e climatológicas da bacia hidrográfica tendo como finalidade o conhecimento das quantidades e das distribuições dos recursos hídricos em determinada região.

### **5.1 Seleção das estações fluviométricas**

Para definição da estação base, a ser utilizada para o desenvolvimento do estudo hidrológico foram identificadas seis estações fluviométricas disponíveis no Portal Hidroweb, e localizadas próximas a CGH Tamarana a ser instalada, sendo identificadas as seguintes:



## Memorial Descritivo

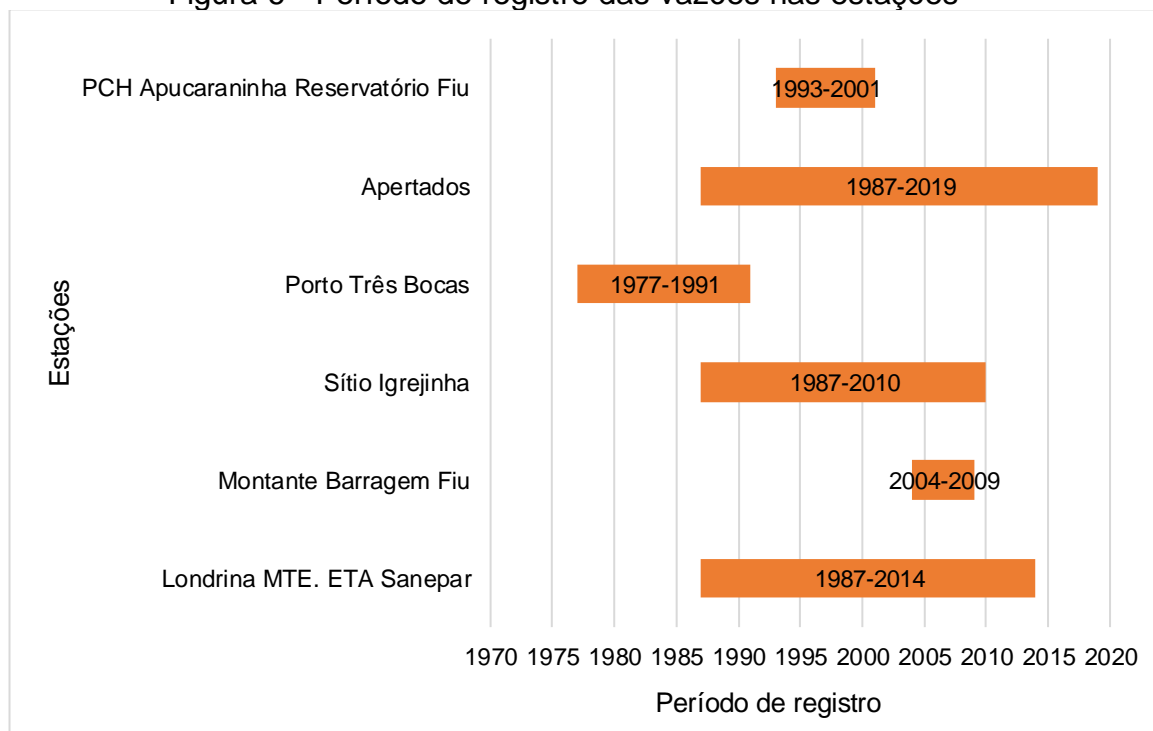
Tabela 5 - Estações fluviométricas selecionadas

Estação	Código	Município	Período de leituras	Q média (m³/s)	Área de drenagem (km²)	Q específica (l/s.km²)	Corpo hídrico
Londrina MTE. ETA Sanepar	64504591	Londrina	1987-2014	3,10	134	23,13	Ribeirão Cafezal
Montante Barragem Fiu	64494950	Tamarana	2004-2009	11,85	505	23,47	Tamarana
Sítio Igrejinha	64502000	Londrina	1987-2010	36,71	820	44,77	Taquara
Porto Três Bocas	64504700	Londrina	1977-1991	464,99	21700	21,43	Tibagi
Apertados	64504550	Londrina	1987-2019	5,61	331	16,95	Ribeirão Dos Apertados
PCH Apucarantina Reservatório Fiu	64497000	Londrina	1993-2001	14,64	536	27,31	Apucarantina

Fonte: Adaptado de ANA, 2023.



Figura 6 - Período de registro das vazões nas estações



Fonte: Autor, 2020.

Considerando que a estação PCH Apucarantina Reservatório Fiu é a única que encontra-se no rio Apucarantina, tomou-se a mesma como base para a obtenção da série hidrológica, a qual foi ampliada com os dados quantitativos de vazão da estação Londrina MTE. ETA Sanepar, obtendo-se uma série hidrológica com dados de vazão entre 1987 e 2014, totalizando 28 anos.

Tabela 6 – Dados cadastrais da estação PCH Apucarantina Reservatório Fiu

Código ANA	644497000
Nome	PCH Apucarantina Reservatório Fiu
Bacia	6- Rio Paraná
Sub-bacia	65 – Rios Paraná, Paranapanema e outros
Rio	Rio Apucarantina
Estado	Paraná
Município	Londrina
Responsável	COPEL
Operadora	COPEL



## Memorial Descritivo

Latitude	-23.7489
Longitude	-50.406
Altitude	
Área de drenagem (km²)	536

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 7 – Dados cadastrais da estação Londrina MTE. ETA SANEPAR

Código ANA	64504591
Nome	Londrina MTE. ETA SANEPAR
Bacia	6- Rio Paraná
Sub-bacia	65 – Rios Paraná, Paranapanema e outros
Rio	Ribeirão do Cafezal
Estado	Paraná
Município	Francisco Beltrão
Responsável	ANA
Operadora	IAT - PR
Latitude	-23.3544
Longitude	-51.1961
Altitude	485
Área de drenagem (km²)	134

Fonte: Autor, 2023.

## 5.2 Série de dados fluviométricos

A obtenção da série de vazões para a CGH Tamarana ocorreu por meio da regionalização de vazões, onde utilizou-se o método tradicional, tendo como variável explicativa, a área de drenagem, conforme equação a seguir:

$$Q_z = \left( \frac{Q_{m.j}}{A_{m.j}} \right) A_z$$

Onde:

$Q_z$  = vazão na seção de interesse [m³.s¹].



## Memorial Descritivo

$Q_{m.j}$  = vazão no posto a montante ou a jusante [ $m^3.s^{-1}$ ].

$A_{m.j}$  = área de drenagem no posto a montante ou a jusante [ $km^2$ ].

$A_z$  = área de drenagem na seção de interesse [ $km^2$ ].

Desta forma, as séries de vazões médias mensais no posto base e na CGH Tamarana, estão dispostas na Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8 - Vazões na estação base

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1987										1,97	4,42	3,30	3,23
1988	2,98	2,76	2,71	1,95	2,51	2,95	2,81	2,26	1,58	1,56	0,94	0,76	2,15
1989	2,38	2,88	3,23	3,08	1,94	2,30	2,25	2,43	2,34	2,07	2,27	2,96	2,51
1990	8,73	5,89	5,45	6,18	8,41	5,36	3,57	6,62	6,82	5,83	5,01	5,22	6,09
1991	5,42	2,72	2,77	2,62	2,37	2,37	2,20	2,00	1,63	1,52	1,95	2,50	2,51
1992	2,09	2,39	3,87	4,10	6,15	5,81	4,20	2,91	2,76	2,51	2,20	1,99	3,41
1993	13,1	23,1	13,1	15,1	10,2	13	8,58	7,66	11,9	22,8	8,77	8,69	13,00
1994	8,8	8,53	32,2	7,42	7,05	10,2	14,11	7,36	6,35	11,8	15	11,1	11,66
1995	24	21,8	15,5	14,2	10,2	12,1	14	9,27	4,77	13,3	9,3	7,97	13,03
1996	12,1	27,08	14,6	9,01	4,72	4,45	3,66	1,64	4,85	5,3	10,4	7,38	8,77
1997	21,7	54,6	26,1	17,3	21,3	31	28	20,5	22	21,7	27,7	25,7	26,47
1998	22,3	25,9	38,9	48,4	32,3	25,1	17,8	13,6	21,7	27	14,5	12,7	25,02
1999	13,2	14,4	11,9	18,57	11,7	10,7	14,7	10,3	6,28	7,99	6,52	6,46	11,06
2000	6,21	13,4	13,1	10,2	7,91	5,62	6,49	6,87	14,3	10,3	9,22	9,35	9,41
2001	3,31	3,83	3,24	3,22	2,93	2,92	2,69	2,41	2,35	1,67	1,69	2,08	2,70
2002	2,85	2,73	2,55	1,83	3,25	1,84	1,44	2,42	1,88	1,28	2,3	2,2	2,21
2003	2,92	3,42	3,25	3,09	2,49	1,8	2,63	1,53	1,4	0,87	0,68	1,5	2,13
2004	0,62	0,77	0,83	0,58	1,61	1,62	2,06	1,82	1,6	3,2	2,58	4,5	1,82
2005	4,42	5,98	2,98	2,87	1,93	1,57	1,96	1,6	2,51	2,09	1,8	1,47	2,60
2006	2,03	2,3	3,12	2,18	2,35	3,16	1,39	1,27	1,9	1,68	2,06	2,02	2,12
2007	3,96	3,53	3,35	3,2	2,93	2,89	2,47	1,87	1,99	1,41	2,54	2,41	2,71
2008	2,79	2,79	3,09	2,89	3,06	2,78	2,14	2,42	1,61	1,51	2,22	1,41	2,39
2009	2,88	4,39	3,15	3,4	2,79	2,35	2,78	2,91	3,77	4,89	6,08	5,32	3,73
2010	5,71	6,34	6,52	5,72	4,57	3,39	2,51	1,76	1,6	1,17	2,12	3,6	3,75
2011	3,24	3,12	3,24	2,87	2,81	2,69	2,6	1,82	1,55	1,66	2,14	1,94	2,47
2012	2,76	2,09	2,1	1,9	1,56	4,05	3,54	3,1	2,6	2,09	1,77	1,68	2,44
2013	2,16	4,03	5,1	6,12	5,14	5,31	5,36	4,25	3,18	2,15	2,62	2,24	3,97
2014	1,62	2,56	2,29	2,29	2,95	2,74	2,4	1,44	2,03	1,67	1,79	2,62	2,20
Média	6,83	9,38	8,45	7,42	6,19	6,30	5,86	4,59	5,08	5,82	5,38	5,04	6,36
Máxima	24,00	54,60	38,90	48,40	32,30	31,00	28,00	20,50	22,00	27,00	27,70	25,70	
Mínima	0,62	0,77	0,83	0,58	1,56	1,57	1,39	1,27	1,40	0,87	0,68	0,76	
Vazões na estação 64497000								Vazões na estação 64504591					



## Memorial Descritivo

Tabela 9 - Vazões na CGH Tamarana

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
1987										6,23	13,99	10,45	10,22
1988	9,42	8,75	8,58	6,17	7,95	9,33	8,89	7,14	4,98	4,92	2,96	2,41	6,79
1989	7,53	9,12	10,21	9,76	6,14	7,28	7,12	7,69	7,40	6,55	7,18	9,37	7,94
1990	27,62	18,64	17,24	19,55	26,61	16,96	11,30	20,95	21,58	18,45	15,85	16,52	19,27
1991	17,15	8,61	8,76	8,29	7,50	7,50	6,96	6,33	5,16	4,81	6,17	7,91	7,93
1992	6,61	7,56	12,25	12,97	19,46	18,38	13,29	9,22	8,72	7,95	6,97	6,28	10,80
1993	10,36	18,27	10,36	11,94	8,07	10,28	6,79	6,06	9,41	18,04	6,94	6,87	10,28
1994	6,96	6,75	25,47	5,87	5,58	8,07	11,16	5,82	5,02	9,33	11,87	8,78	9,22
1995	18,99	17,24	12,26	11,23	8,07	9,57	11,07	7,33	3,77	10,52	7,36	6,3	10,31
1996	9,57	21,42	11,55	7,13	3,73	3,52	2,9	1,3	3,84	4,19	8,23	5,84	6,94
1997	17,17	43,19	20,65	13,69	16,85	24,52	22,15	16,22	17,4	17,17	21,91	20,33	20,94
1998	17,64	20,49	30,77	38,29	25,55	19,86	14,08	10,76	17,17	21,36	11,47	10,05	19,79
1999	10,44	11,39	9,41	14,69	9,26	8,46	11,63	8,15	4,97	6,32	5,16	5,11	8,75
2000	4,91	10,6	10,36	8,07	6,26	4,45	5,13	5,43	11,31	8,15	7,29	7,4	7,45
2001	10,46	12,11	10,26	10,2	9,28	9,22	8,51	7,63	7,43	5,27	5,34	6,57	8,52
2002	9,02	8,62	8,06	5,78	10,29	5,83	4,57	7,65	5,96	4,03	7,28	6,97	7,01
2003	9,23	10,83	10,29	9,78	7,86	5,69	8,31	4,84	4,43	2,75	2,16	4,74	6,74
2004	1,96	2,45	2,62	1,82	5,08	5,12	6,52	5,75	5,05	10,13	8,15	14,23	5,74
2005	13,98	18,93	9,42	9,09	6,11	4,96	6,2	5,06	7,93	6,6	5,71	4,65	8,22
2006	6,41	7,28	9,88	6,89	7,44	10	4,41	4,01	6,01	5,31	6,51	6,4	6,71
2007	12,53	11,17	10,6	10,13	9,27	9,14	7,82	5,92	6,3	4,47	8,03	7,61	8,58
2008	8,84	8,84	9,77	9,13	9,67	8,79	6,78	7,67	5,09	4,79	7,03	4,46	7,57
2009	9,12	13,88	9,95	10,76	8,83	7,42	8,79	9,19	11,94	15,47	19,24	16,85	11,79
2010	18,08	20,05	20,64	18,1	14,46	10,71	7,95	5,55	5,06	3,7	6,72	11,38	11,87
2011	10,25	9,87	10,25	9,09	8,9	8,5	8,24	5,77	4,89	5,25	6,77	6,14	7,83
2012	8,74	6,62	6,64	6,02	4,93	12,81	11,21	9,8	8,23	6,61	5,59	5,33	7,71
2013	6,84	12,76	16,15	19,36	16,26	16,79	16,95	13,45	10,07	6,8	8,28	7,09	12,57
2014	5,14	8,11	7,24	7,26	9,33	8,65	7,59	4,56	6,42	5,29	5,65	8,29	6,96
Média	10,92	13,09	12,21	11,15	10,32	10,07	9,12	7,75	7,98	8,31	8,22	8,29	9,80
Máxima	27,62	43,19	30,77	38,29	26,61	24,52	22,15	20,95	21,58	21,36	21,91	20,33	
Mínima	1,96	2,45	2,62	1,82	3,73	3,52	2,90	1,30	3,77	2,75	2,16	2,41	
Vazões na estação 64497000								Vazões na estação 64504591					

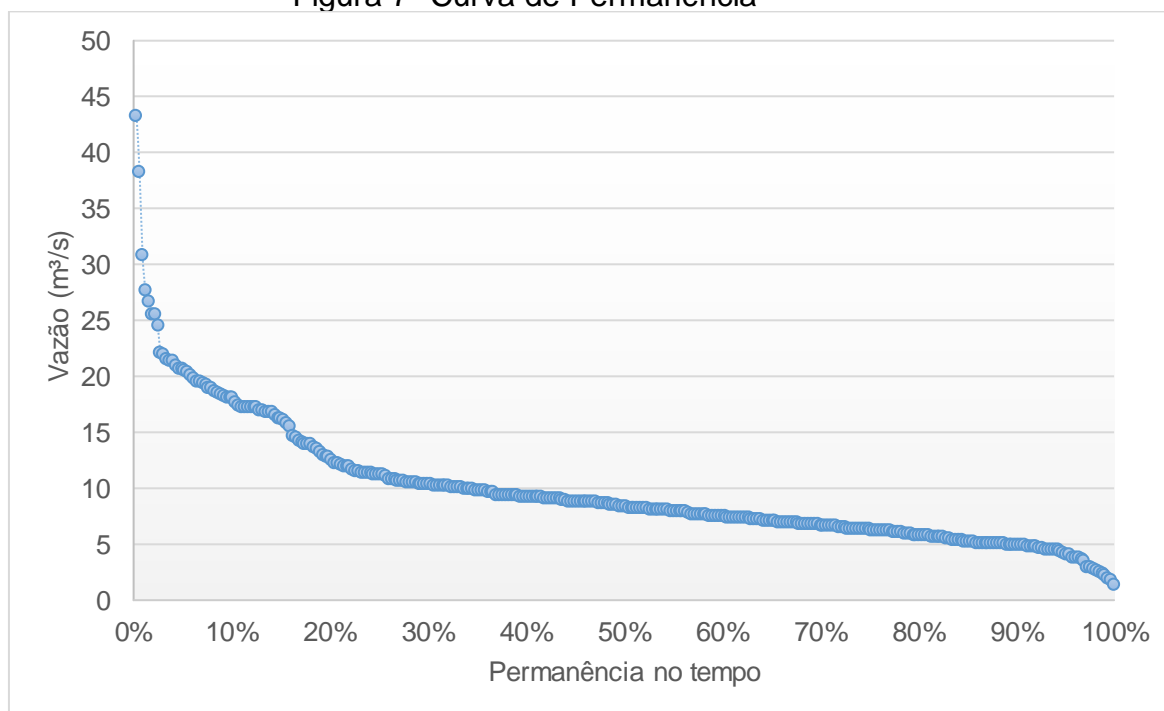


Desta forma, com base na série de vazões obtiveram-se os seguintes dados:

Vazão Média Mensal.....9,80 m<sup>3</sup>/s  
Vazão Mínima Mensal.....1,30 m<sup>3</sup>/s  
Vazão Máxima Mensal.....43,19m<sup>3</sup>/s

A partir da série de vazões médias mensais, obteve-se a permanência das vazões para a estação base e para a CGH Tamarana, resultando em uma permanência em 99% do tempo de respectivamente 2,05 m<sup>3</sup>/s.

Figura 7 -Curva de Permanência



Fonte: Autor, 2020.





Tabela 10 - Permanência das vazões

Permanência (5%)	Vazão (m³/s)	Permanência (5%)	Vazão (m³/s)
5	20,48	55	7,97
10	17,32	60	7,33
15	14,57	65	6,88
20	11,91	70	6,53
25	10,88	75	6,02
30	10,28	80	5,64
35	9,83	85	5,12
40	9,23	90	4,86
45	8,82	95	3,95
50	8,24	99	2,05

Fonte: Autor, 2023.

### 5.3 Vazões mínimas

A identificação das vazões mínimas na CGH Tamarana procedeu-se com auxílio do *Software* SisCAH que utiliza como base de dados os arquivos nos formatos .TXT e .MDB, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), através do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb).

O cálculo das vazões mínimas procedeu-se primeiramente através do descarte dos anos com falhas, em seguida procedeu-se o ajuste de cinco diferentes distribuições, sendo elas: Gumbel, Pearson 3, Logpearson 3, Lognormal 2, Lognormal 3.

Os dados quantitativos utilizados para o cálculo foram obtidos a partir da estação fluviométrica 64497000, em seguida, procedeu-se a transferência dos dados quantitativos obtidos pela estação para o local da CGH Tamarana, o qual procedeu-se a partir da equação a seguir:

$$Q_{CGH} = Q_{est} \frac{AD_{CGH}}{AD_{Est}}$$



Onde:

$Q_{CGH}$  = Vazão máxima ou mínima na PCH ( $m^3/s$ );

$Q_{Est}$  = Vazão máxima ou mínima na estação fluviométrica ( $m^3/s$ );

$AD_{CGH}$  = Área de drenagem no barramento ( $km^2$ );

$AD_{Est}$  = Área de drenagem na estação ( $km^2$ );

A Tabela 11 apresenta a identificação dos valores de vazões mínimas anuais, a data de ocorrência e os respectivos dias válidos utilizados na análise.

Tabela 11 – Vazões mínimas de sete dias para a CGH Tamarana

Ano	Data de início	Vazão Mínima ( $m^3/s$ )	Dias válidos
1993/1994	09/02/1993	7,23	365
1994/1995	10/07/1994	5,33	334
1995/1996	14/09/1995	0,60	365
1996/1997	19/08/1996	1,05	337
1997/1998	01/06/1997	5,75	365
1998/1999	25/08/1998	6,41	365
1999/2000	06/06/1999	4,66	335
2000/2001	22/06/2000	4,17	366
2001/2002	01/08/2001	7,92	212

Fonte: Autor, 2023.

Considerando a Norma de Outorga NO 003\_RAH para aproveitamentos hidrelétricos, a vazão mínima de jusante deve equivaler a 50% da  $Q_{7,10}$ , portanto, para a CGH Tamarana, a vazão mínima de jusante ou vazão sanitária equivale a 0,56  $m^3/s$ .



Tabela 12 – Valores de vazões sanitárias obtidos de acordo com as distribuições

Distribuição	Q <sub>7,10</sub> na estação (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>7,10</sub> na CGH (m <sup>3</sup> /s)	50% da Q <sub>7,10</sub> na CGH(m <sup>3</sup> /s)
Weibull	1,59	1,26	0,63
Pearson 3	1,43	1,13	0,57
Logpearson 3	1,42	1,12	0,56
Lognormal 2	2,24	1,77	0,89

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 13 - Dados da vazão mínima de jusante

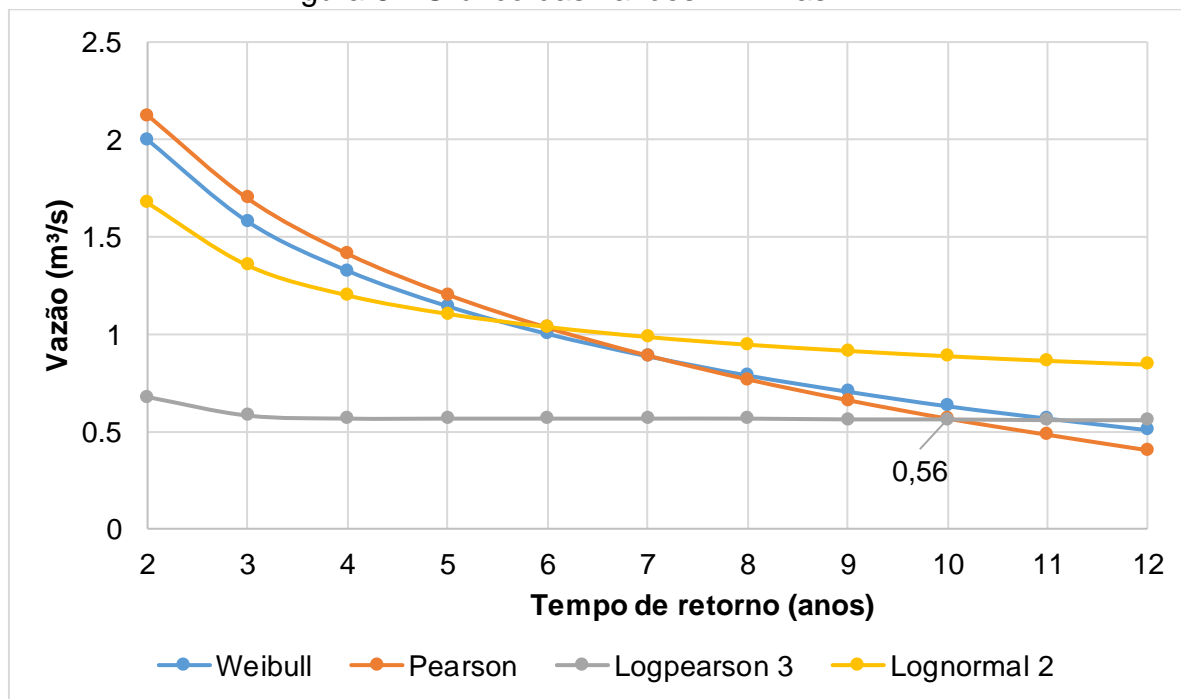
Parâmetros	Resultado
Distribuição com melhor ajuste	Logpearson 3
Erro padrão para a distribuição de Logpearson 3	0,58
Q <sub>7,10</sub> no posto base	1,42 m <sup>3</sup> /s
Q <sub>7,10</sub> na CGH Tamarana	1,12 m <sup>3</sup> /s
50% da Q <sub>7,10</sub> na PCH CGH Tamarana	0,56 m <sup>3</sup> /s

Fonte: Autor, 2020.

A partir dos parâmetros estatísticos, observou-se que a distribuição de Logpearson 3 apresentou melhor ajuste, visto que, possui os menores valores para erro padrão, variância e assimetria.



Figura 8 - Gráfico das vazões mínimas



Fonte: Autor, 2020.

#### 5.4 Vazões máximas

Assim como as vazões mínimas, as vazões máximas foram ajustadas a diferentes modelos de distribuição disponíveis no SisCAH, sendo eles, Gumbel, Pearson 3, Lognormal 2 e Lognormal 3.

A Tabela 14 apresenta a identificação dos valores de vazões máximas anuais, a data de ocorrência e os respectivos dias válidos utilizados na análise.

Tabela 14 - Vazões máximas anuais para a CGH Tamarana

Ano	Data	Máximas	Dias válidos
1987	11/06/1987	21,42	59,36
1988	03/03/1988	12,97	35,94
1989	16/01/1989	7,33	20,31
1990	-	-	-



1991	-	-	-
1992	18/10/1992	11,14	30,87
1993	04/09/1993	12,97	35,94
1994	28/01/1994	8,43	23,36
1995	21/10/1995	11,86	32,87
1996	15/11/1996	10,10	27,99
1997	02/03/1997	19,04	52,76
1998	29/09/1998	20,53	56,89
1999	02/01/1999	10,97	30,40
2000	13/09/2000	6,88	19,07
2001	14/02/2001	13,73	38,05
2002	21/05/2002	14,50	40,18
2003	07/08/2003	6,26	17,35
2004	14/12/2004	7,80	21,62
2005	25/01/2005	8,43	23,36
2006	03/02/2006	5,09	14,11
2007	11/10/2007	14,50	40,18
2008	03/09/2008	9,59	26,58
2009	26/02/2009	11,68	32,37
2010	17/02/2010	12,04	33,37
2011	03/01/2011	4,25	11,78
2012	20/06/2012	35,98	99,71
2013	13/04/2013	12,60	34,92
2014	27/05/2014	7,18	19,90

Fonte: Autor, 2022.

Considerando os parâmetros indicativos, observou-se que o método com melhor ajuste foi a Distribuição de Gumbel, que resultou em uma vazão máxima igual a 202,44 m<sup>3</sup>/s para um tempo de retorno equivalente a dez mil anos. As tabelas e a imagem abaixo apresentam as respectivas características e a distribuição das vazões de retorno para a CGH Tamarana.

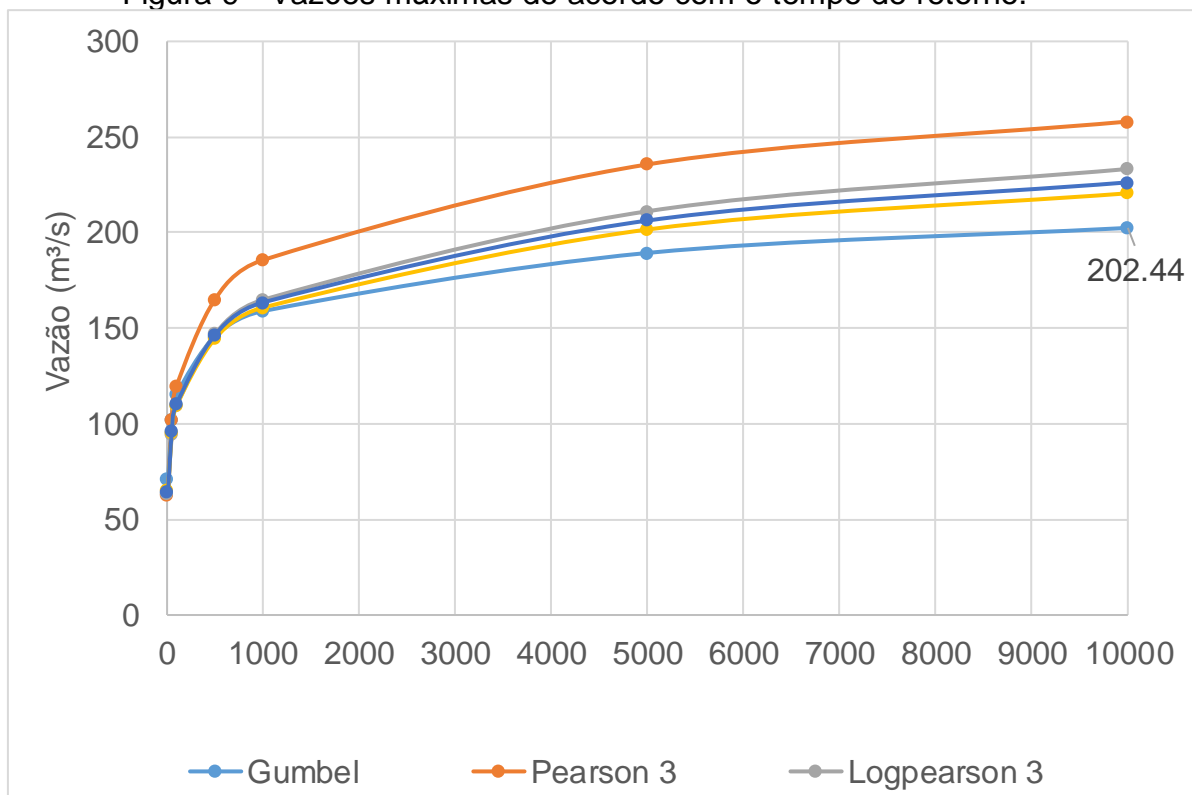


Tabela 15 – Vazões máximas de retorno de acordo com o tempo e as distribuições

Distribuição	Vazões (m³/s) de acordo com tempos de retorno (anos)						
	10	50	100	500	1000	5000	10000
Gumbel	71,05	102,23	115,40	145,87	158,97	189,34	<b>202,44</b>
Pearson 3	62,83	101,73	119,95	165,14	185,67	235,64	258,07
Logpearson 3	63,81	94,86	109,45	146,98	164,89	211,15	233,26
Lognormal 2	64,80	95,53	109,58	144,57	160,80	201,59	220,54
Lognormal 3	64,64	95,91	110,30	146,53	163,49	206,27	226,27

Fonte: Autor, 2023.

Figura 9 - Vazões máximas de acordo com o tempo de retorno.



Fonte: Autor, 2020.



### **5.5 Vazão média de longo termo e vazão máxima turbinada**

A partir da série de vazões médias mensais, identificou-se que a vazão média de longo termo na CGH Tamarana corresponde a  $9,61 \text{ m}^3/\text{s}$ , com relação a vazão máxima turbinada, identificada a partir do estudo energético e da potência instalada selecionada, definiu-se que a mesma equivale a  $10,86 \text{ m}^3/\text{s}$ .

### **5.6 Níveis de água montante e jusante**

O nível de água ou N.A. normal de montante, assim como o N.A. máximo montante equivalem a cota 678,50 m. O nível de água jusante corresponde a 657,05 m.

### **5.7 Queda bruta e queda líquida**

A queda bruta equivale a diferença de cotas entre os N.A. montante e jusante, e, portanto, é igual a 21,45 m, enquanto que a queda líquida equivale a queda bruta, descontando-se as perdas de carga no sistema adutor, considerado 5%, equivalendo à 20,38 m.

## **6. ESTUDO ENERGÉTICO**

Para determinar a potência a ser instalada e da energia média realizou-se a simulação energética, levando em consideração algumas hipóteses descritas abaixo:

- Série de vazões: Contempla o período de 1987 a 2014;
- Níveis de operação do reservatório: Considerando que o reservatório funciona a fio d'água, o  $NA_{\text{mínimo}}$  operacional do reservatório é igual ao  $NA_{\text{máximo}}$  operacional, que é o próprio  $NA_{\text{normal}}$ ;
- Número de unidades geradoras: Considerou-se a usina operando com 2 unidades geradoras com vazão de partida igual a 40% da vazão máxima turbinável.





- Rendimento do conjunto turbina gerador: O rendimento médio ponderado adotado para as turbinas foi de 91,5% e para os geradores foi de 96,0 %, totalizando um rendimento médio previsto de 87,5% para o conjunto turbina e gerador.
- Vazão Ecológica (Remanescente): A simulação energética foi realizada considerando a vazão sanitária, calculada de acordo a metodologia  $Q_{7,10}$ , para a qual identificou-se um valor igual a 0,56 m<sup>3</sup>/s.

A determinação da energia seguiu a equação a seguir:

$$E = Q.Hliq.u.g$$

Onde:

E = energia (kW);

Hliq = queda líquida (m);

u = rendimento do conjunto turbina gerador;

g = aceleração da gravidade (9.81 m/s<sup>2</sup>).

A determinação da energia gerada é realizada em função da queda líquida do aproveitamento e rendimento do conjunto turbina e gerador para cada valor de vazão média mensal.

Com relação a vazão de projeto, a mesma foi determinada considerando a equação a seguir:

$$Q_{proj} = PI * Hliq * u * g$$

Onde:

Qproj = vazão de projeto ou vazão máxima de engolimento (m<sup>3</sup>/s);

PI = potência instalada (kW);

Hliq = queda líquida (m);

u = rendimento do conjunto turbina gerador;

g = aceleração da gravidade (9.81 m/s<sup>2</sup>).



A alternativa de potência selecionada corresponde a um ganho incremental de energia maior que 10% e fator de capacidade acima de 0,5. Desta forma, a potência instalada definida para o empreendimento é de 1,9 MW, cujas características estão apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 – Simulação energética

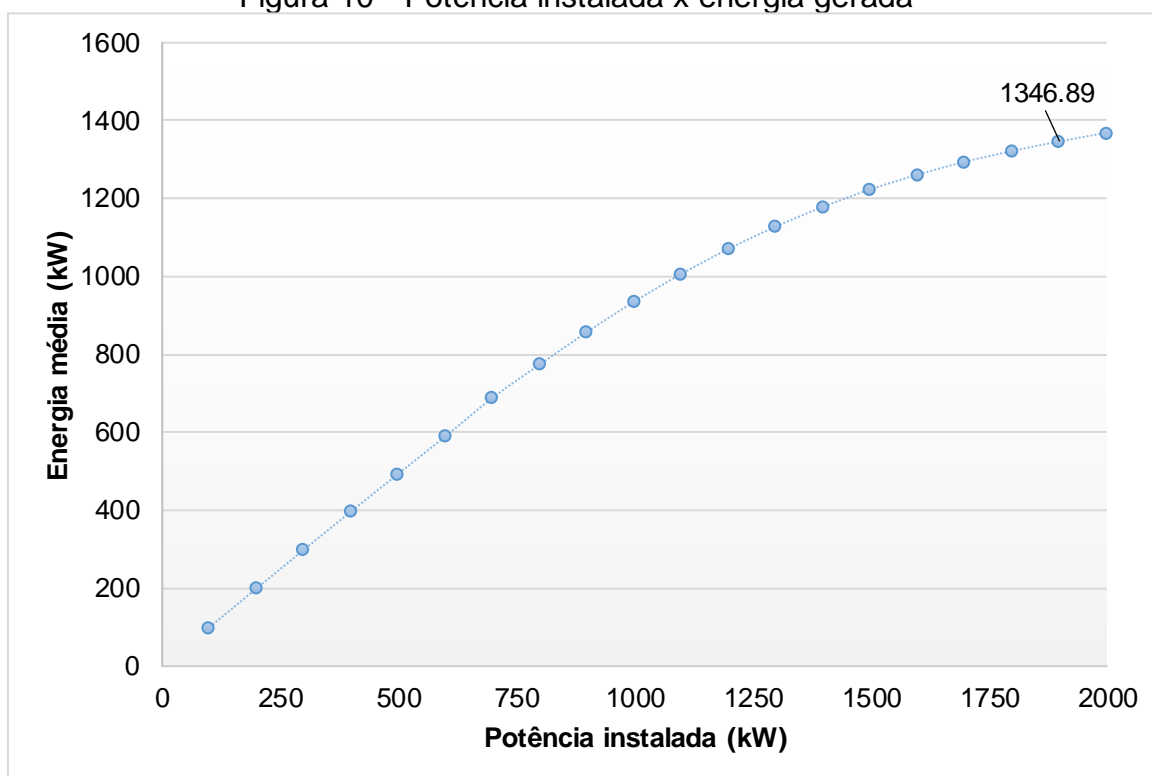
Potência Instalada (kW)	Energia média (kW)	Fator de capacidade	Q máxima engolimento(m <sup>3</sup> /s)
100	100,00	100%	0,57
200	199,78	100%	1,14
300	298,99	100%	1,72
400	397,13	99%	2,29
500	494,14	99%	2,86
600	590,30	98%	3,43
700	689,32	98%	4,00
800	774,87	97%	4,57
900	858,06	95%	5,15
1000	935,97	94%	5,72
1100	1007,24	92%	6,29
1200	1071,44	89%	6,86
1300	1128,56	87%	7,43
1400	1179,09	84%	8,00
1500	1223,82	82%	8,58
1600	1261,51	79%	9,15
1700	1294,63	76%	9,72
1800	1322,12	73%	10,29
1900	1346,89	71%	10,86
2000	1368,88	68%	11,43

Fonte: Autor, 2020.



A Figura 10 aponta a relação entre potência instalada e energia gerada de acordo com os dados da simulação energética. A Figura 11 mostra a relação entre a potência instalada com o fator de capacidade. E a Tabela 18 gruba os dados gerais do empreendimento.

Figura 10 - Potência instalada x energia gerada



Fonte: Autor, 2020.

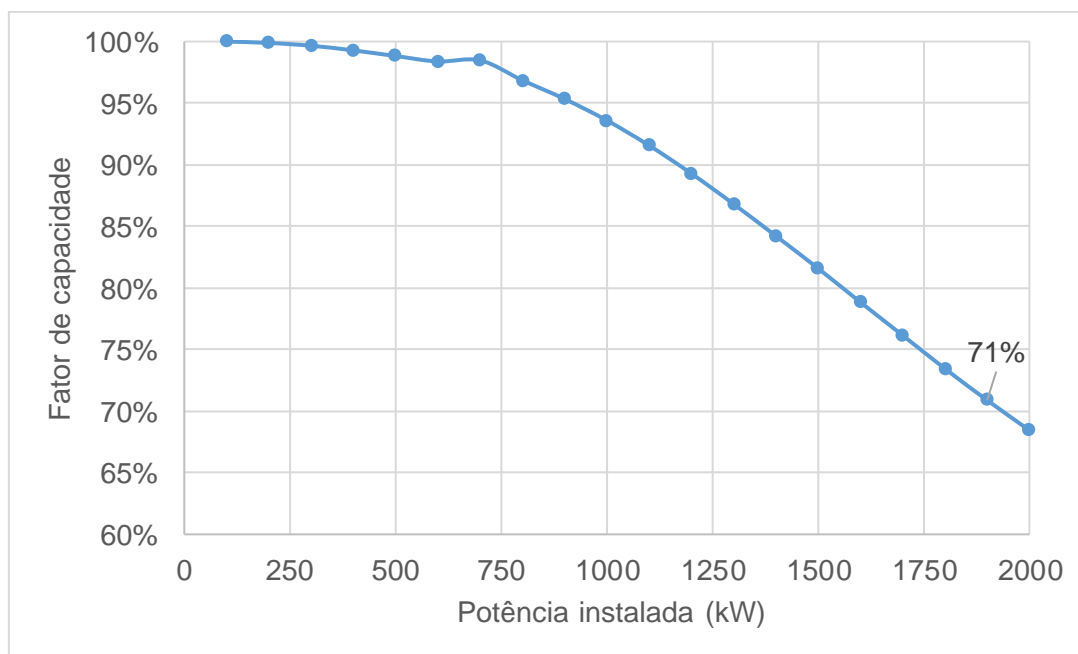


Tabela 17 - Dados da alternativa selecionada.

PI (kW)	E (kWméd.)	Perm. da potência (%)	Perm. da energia (%)	F.C. (%)	Qmáx. (m³/s)
1.900	1.346,89	23	50	71	10,86

Fonte: Autor, 2020

Figura 11 - Potência instalada x Fator de capacidade.



Fonte: Autor, 2020.

A partir da simulação energética, definiu-se que a potência instalada para a CGH Tamarana é de 1,9 MW ou 1.900 kW, com energia média equivalente a 1.346,89 kW e fator de capacidade igual a 71%.

As características gerais para o aproveitamento hidrelétrico local estão descritas na Tabela 18.



Tabela 18 - Dados gerais do empreendimento.

Dados	Descrição
Tipo de turbina	Francis Simples
Nº de Unidades Geradoras	2
Potência instalada máquina 1 (MW)	0,95MW
Vazão máxima de engolimento	5,43 m³/s
Potência instalada máquina 2 (MW)	0,95 MW
Vazão máxima de engolimento	5,43 m³/s
Engolimento total (m³/s)	10,86
Engolimento mínimo (m³/s)	2,17
Rendimento do gerador (%)	96%
Rendimento da turbina (%)	91,5%
Rendimento médio ponderado	87,5%
HI - Queda líquida (m)	20,38 m
Fator de capacidade	71%
Temperatura (°C)	25°C

Fonte: Autor, 2020.

### 6.1 Análise dos estudos hidrológicos e energéticos

Desta forma, considerando a permanência de vazões na CGH Tamarana, bem como as vazões sanitárias e de engolimento, tem-se as seguintes situações:

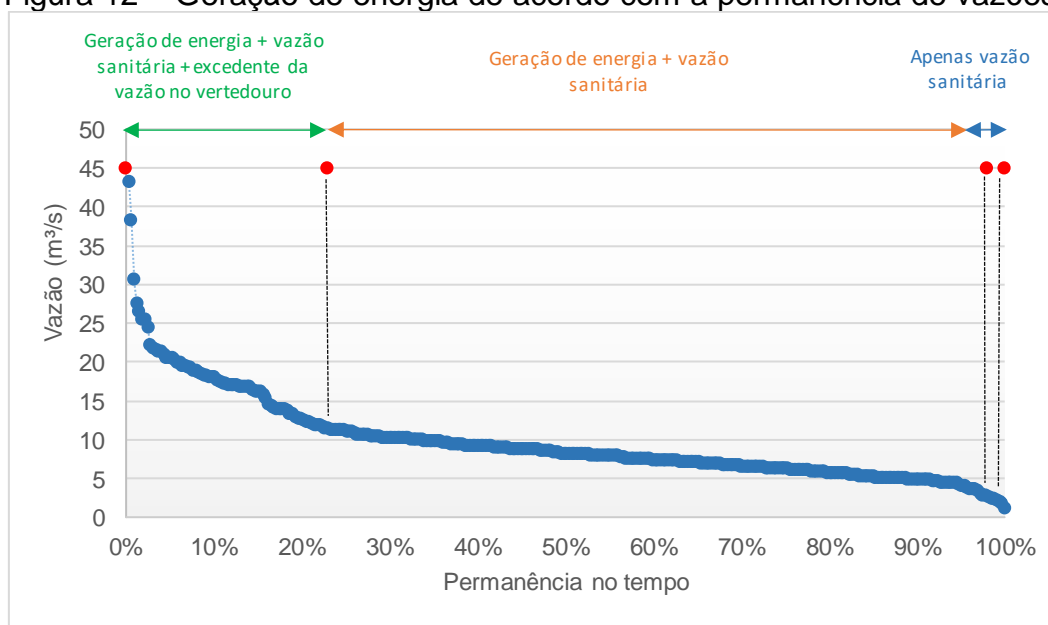
- Considerando que a vazão sanitária é 0,56 m³/s e que o engolimento mínimo da unidade geradora é 2,17 m³/s, em 2% do tempo ocorre apenas a passagem da vazão sanitária;
- Considerando que para a geração de energia é necessário engolimento mínimo de 2,17 m³/s e máximo de 10,86 m³/s, e a vazão sanitária igual a 0,56 m³/s, em 75% do tempo ocorre a geração de energia mais a passagem da vazão sanitária;



- Considerando que o engolimento máximo é  $10,86 \text{ m}^3/\text{s}$  e a vazão sanitária igual a  $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ , em 23% do tempo, a vazão disponível no rio permite a geração de energia, em capacidade máxima mais a passagem da vazão sanitária e ainda o excedente da vazão pelo vertedouro.

A Figura 12 ilustra essa geração de energia de acordo com a permanência das vazões.

Figura 12 – Geração de energia de acordo com a permanência de vazões.



Fonte: Autor, 2022.

A vazão média de longo termo do rio Apucarantina na seção onde localiza-se o aproveitamento é equivalente a  $9,80 \text{ m}^3/\text{s}$ , e de acordo com o gráfico de permanência, mantêm-se em 36% do tempo, gerando aproximadamente 1.616,21 kW de energia.

## 6.2 Estudos hidráulicos e energéticos

A Figura 13, apresentada a seguir, contém o resumo dos resultados obtidos durante a elaboração dos estudos energéticos do empreendimento.

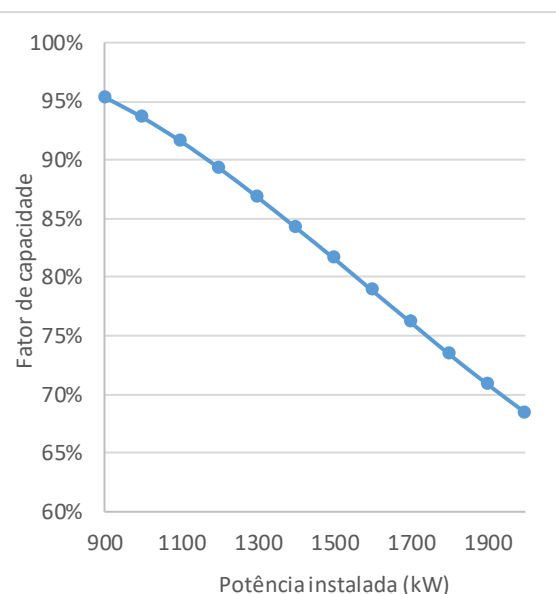


Figura 13 – Energético CGH Tamarana.

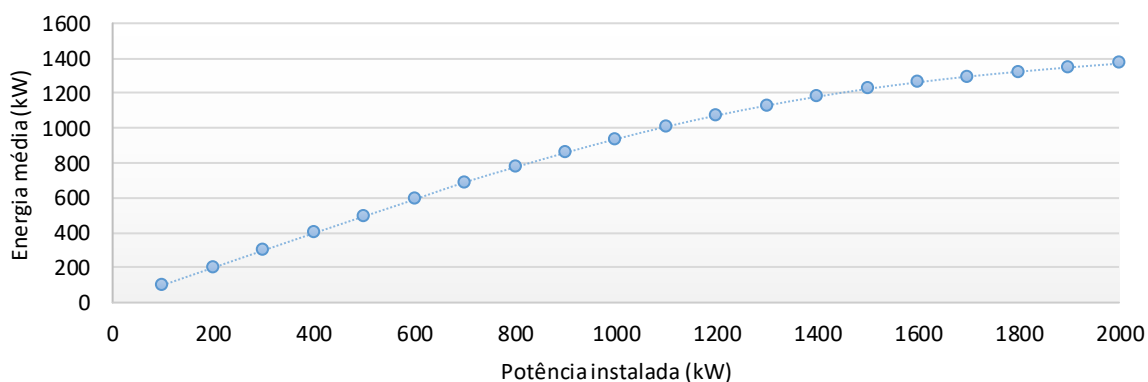
CARACTERÍSTICAS HIDROLÓGICAS			
Área de drenagem	432 Km <sup>2</sup>	Vazão máxima média mensal	26,61 m <sup>3</sup> /s
Vazão média de longo termo	9,80 m <sup>3</sup> /s	Vazão mínima média mensal	2,62 m <sup>3</sup> /s
Vazão específica média	18,28 L/s/km <sup>2</sup>	Vazão remanescente	0,56 m <sup>3</sup> /s

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Nível de água normal de montante	678,5 m
Nível de água normal de jusante	657,05 m
Queda bruta Hb	21,45 m
Queda líquida HI	20,38
Perda de carga (%Hb)	5%

ANÁLISE DE MOTORIZAÇÃO				
Potência Instalada (kW)	Energia média (kWméd)	Fator de Capacidade	Vazão Turbinada (m <sup>3</sup> /s)	Engolimento específico (l/s/km <sup>2</sup> )
900	858,06	0,95	5,15	9,60
1000	935,97	0,94	5,72	10,67
1100	1007,24	0,92	6,29	11,73
1200	1071,44	0,89	6,86	12,80
1300	1128,56	0,87	7,43	13,87
1400	1179,09	0,84	8,00	14,93
1500	1223,82	0,82	8,58	16,00
1600	1261,51	0,79	9,15	17,07
1700	1294,63	0,76	9,72	18,13
1800	1322,12	0,73	10,29	19,20
1900	1346,89	0,71	10,86	20,27
2000	1368,88	0,68	11,43	21,33



### Estimativa de Geração



PARÂMETROS FINAIS			
Potência instalada total	1.900 kW	Potência instalada unidade hidráulica 1	950 kW
		Potência instalada unidade hidráulica 2	950 kW
Engolimento total	10,86 m <sup>3</sup> /s	Fator de potência do gerador	96%



Energia média anual	1.346,89 kW <sub>méd</sub>	Engolimento mínimo da turbina	2,17 m <sup>3</sup> /s
Fator de capacidade (Eméd)	0,71	Rendimento nominal da turbina	91,5%
		Rendimento nominal do gerador	96%

Fonte: Autor, 2023.

## 7. DESCRIÇÃO GERAL DO PROJETO

### 7.1 Histórico do empreendimento

A empresa Carvic Empreendimentos e Participações Ltda - CGH Tamarana - foi fundada no dia 04 de fevereiro de 2011 com a finalidade de gerar energia através de recursos hídricos e suas estruturas serão instaladas na cidade de Tamarana, estado do Paraná.

Mas a história da CGH Tamarana começa muito antes. Em 04 de dezembro de 1962, Moacir Vianna & Cia Ltda, depois sucessora Vianna Germano & Cia Ltda, consegue a outorga que dá a concessão para o aproveitamento no Rio Apucarantina.

Essa usina gerava energia para a empresa Papelão Apucarantina Ltda (fábrica de papelão) que existia nesse local, através de duas turbinas Francis Simples aproveitada para produzir pasta mecânica utilizada na fábrica de papelão. A energia gerada através de outras duas turbinas hidráulicas eram aproveitadas para a alimentação de motores elétricos e iluminação da fábrica de papelão. Uma fração de energia ainda era usada para abastecer parte da vila residencial da indústria.

Até que em janeiro de 2016 houve uma grande enchente, onde a fábrica de papelão foi destruída, encerrando assim as suas atividades e consequentemente encerrada também a geração de energia.

Hoje em dia, no local ainda existem as estruturas que constituíam a Pequena Central Hidrelétrica e para voltar a gerar energia é necessário algumas reformas e adequações, que serão apresentadas nos itens subsequentes.





## **7.2 Estruturas do projeto**

A geração de energia em empreendimentos hidrelétricos ocorre a partir do aproveitamento da energia cinética de desníveis topográficos em cursos d'água e sua transformação em energia elétrica por meio de dispositivos específicos. A energia hidroelétrica é a principal fonte de energia utilizada para produzir eletricidade no país. Atualmente, 90% da energia elétrica consumida no país advém de usinas hidrelétricas.

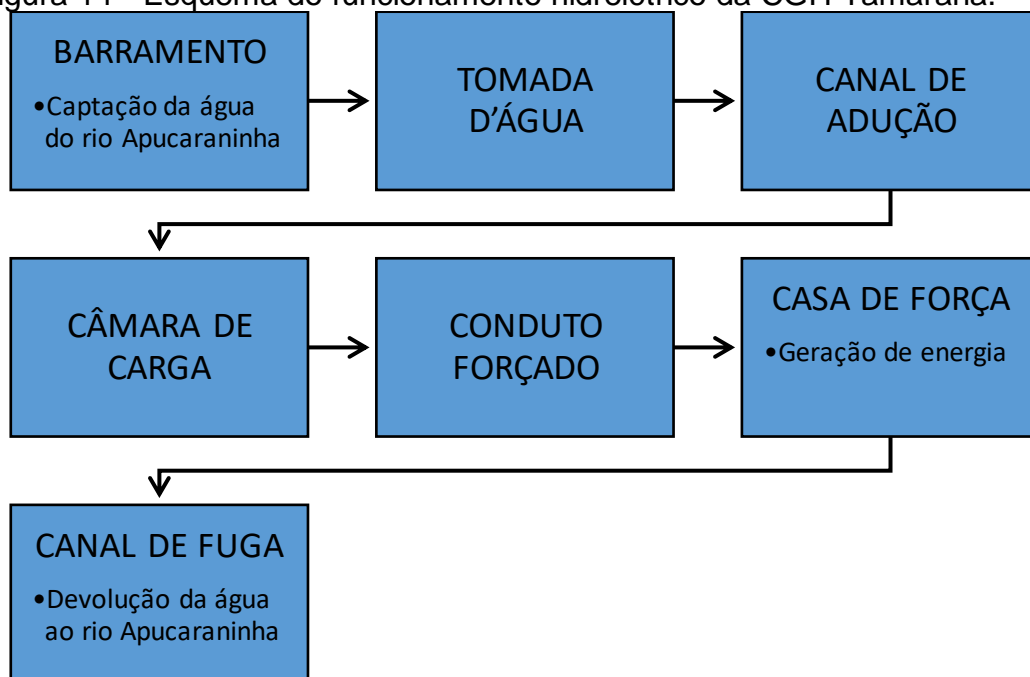
De acordo com a classificação da Agência Nacional de Energia Elétrica, as Centrais Geradoras Hidrelétricas podem ter o potencial de gerar de 0 até 5 MW de energia, com estruturas pequenas e simples, que funcionam a fio d'água, sem causar alagamento e formar reservatório. De modo geral não são utilizados barramentos e sim soleiras vertentes (soleira livre) que possibilitam o desvio da água para o circuito de adução.

O uso da água para a geração de eletricidade será dado de forma não consuntiva, ou seja, não há modificação expressiva no volume de água captado, pois o mesmo retorna ao corpo hídrico sem diminuição de sua disponibilidade.

Considerando a simplicidade de arranjo e que a CGH Tamarana já está instalada, necessitando apenas de algumas reformas, as estruturas que compõem a mesma são apresentada no fluxograma da Figura 14 e na imagem da Figura 15.



Figura 14 - Esquema do funcionamento hidrelétrico da CGH Tamarana.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 15 - Ilustração das estruturas instaladas



Fonte: Autor, 2023.



### 7.2.1 Barramento

O arranjo da CGH Tamarana é do tipo derivativo, onde ocorre a captação de água à montante e sua devolução em um ponto à jusante, aproveitando assim o desnível gerado pela diferença de cotas para a produção de energia.

Para o trecho do rio Apucarantina localizado entre a captação e a devolução mantem-se a passagem da vazão sanitária ou vazão ecológica garantindo condições ambientais para a preservação da biota.

A CGH Tamarana já possui o barramento de gravidade e soleira livre feito de blocos de pedra assentados, como mostra a Figura 16, com altura máxima de 3,7 metros e comprimento de 60 m. Junto a essa comporta desarenadora haverá a passagem da vazão sanitária, que equivale a 0,56 m<sup>3</sup>/s. Em geral, o barramento encontra-se em boas condições de operação, devendo ser arrumado apenas algumas partes de infiltração entre as pedras assentadas e está localizado sob as coordenadas:

Latitude..... 23°45'1.49"S  
Longitude..... 51° 1'30.24"O  
Coordenada UTM X..... 497445.55 mE  
Coordenada UTM Y..... 7373405.44 m S.



Figura 16 - Barramento existente da CGH Tamarana



Fonte: Autor, 2020.

#### 7.2.1.1 Cota Maximorum

A cota maximorum refere-se ao nível máximo que a água pode atingir em um determinado ponto, seja em um rio, reservatório, barragem ou outro corpo d'água. Esse termo é especialmente usado em contextos de engenharia hidráulica, hidrologia e gestão de recursos hídricos para delimitar o limite superior de cheia ou de operação segura em um sistema.

Para calcular a altura da lâmina d'água sobre o barramento, você pode usar a equação de vazão para um vertedouro retangular. Nesse caso, como você já tem o comprimento do barramento e a vazão, a altura da lâmina pode ser estimada pela fórmula:

$$Q = C_d \times L \times H^{1.5} \times \sqrt{2g}$$

Onde:

- Q é a vazão máxima (202,44 m³/s),



- $C_d$  é o coeficiente de descarga do vertedouro (adotado 0,6 para vertedouros retangulares);
- $L$  é o comprimento do barramento (57 m),
- $H$  é a altura da lâmina d'água,
- $g$  é a aceleração da gravidade (aproximadamente  $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Para simplificar, podemos rearranjar a fórmula para resolver  $H$  (altura da lâmina d'água):

$$H = \left( \frac{Q}{C_d \times L \times \sqrt{2g}} \right)^{\frac{2}{3}}$$

A altura da lâmina d'água sobre o barramento é de aproximadamente 1,30 metros. Sendo assim a cota Maximorum definida é de  $678,50\text{m} + 1,30\text{m}$ , resultando em  $679,80\text{m}$ .

#### 7.2.2 Comporta Desarenadora

A comporta desarenadora é um elemento essencial em usinas hidrelétricas, especialmente em regiões onde o fluxo de água transporta muita areia ou sedimentos. Esse tipo de comporta é geralmente instalado no barramento ou próximo ao canal de adução para remover partículas em suspensão antes que elas entrem nas turbinas. A retenção de areia e sedimentos evita o desgaste dos componentes internos das turbinas e aumenta a eficiência e a vida útil do sistema.

Ela funciona desviando o fluxo de água para uma área de decantação, onde os sedimentos se depositam, enquanto a água limpa segue em direção às turbinas. O design e a localização da comporta desarenadora são cruciais para garantir que ela mantenha uma vazão adequada enquanto retém os sedimentos.





A comporta desarenadora instalada na CGH Tamarana é de madeira com dimensões de vão livre de 1,5m x 1,90 com acionamento manual tipo cremalheira (ver Figura 17 e Figura 18). Esta comporta será substituída por uma comporta de aço carbono com pintura epoxi nas mesmas dimensões, aproveitando a guia de acionamento existente.

Figura 17 - Comporta desarenadora do barramento

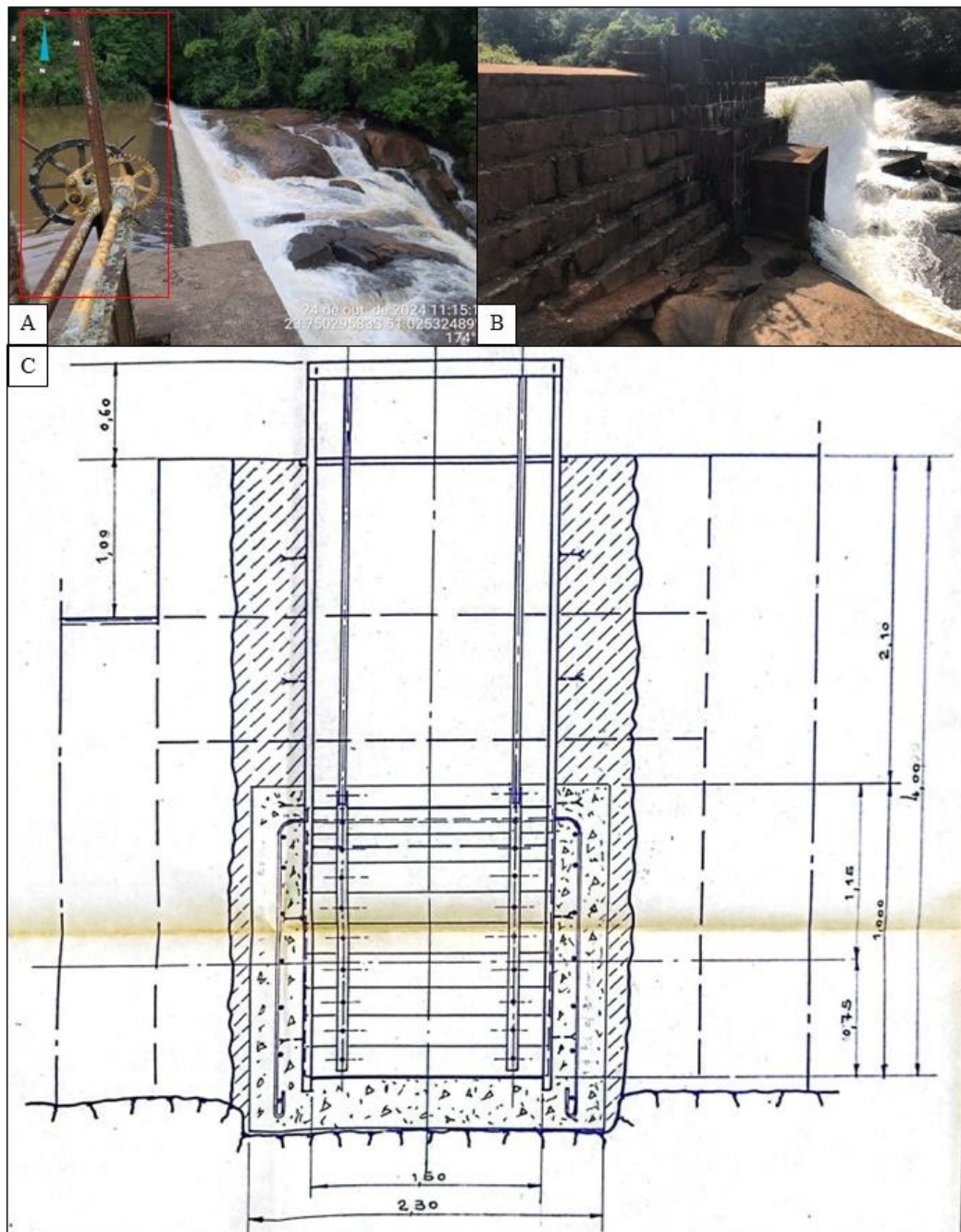


Fonte: Autor, 2023.

Caso necessite, ao longo do período de operação, a remoção dos sedimentos acumulados no fundo da barragem, o processo de dessassoreamento, exige técnicas adicionais, como o uso de dragas ou sistemas hidráulicos especializados, que retiram fisicamente o sedimento do fundo da barragem. Todo o detalhamento deste tipo de atividade bem como o local de deposição do material, bacias de despejo e de decantação encontram-se no documento Plano de Dessassoreamento.



Figura 18 - Comporta desarenadora do barramento com detalhes do acionamento por cremalheira (detalhe A) e a saída da água no fundo (detalhe B). O detalhe C demonstra as dimensões da comporta existente em madeira a qual será substituída por uma nova.



Fonte: Autor, 2024.



### 7.2.3 Tomada d'água

O circuito hidráulico ocorre pela margem direita do rio, diminuindo a distância entre o barramento de soleira livre e a casa de força, ou casa de máquinas. A captação da água é feita através da tomada d'água, sendo que a mesma já está construída e necessitará apenas ser feita a troca das comportas e a limpeza do fundo, pois está tomado de vegetação e sedimentos. As dimensões da tomada d'água são 2 m de comprimento por 8 m de largura, representada pela Figura 19 e Figura 20. A Figura 21 mostra a vegetação na entrada do circuito hidráulico impedindo a livre passagem de água no sistema adutor.





Figura 19 - Tomada d'água da CGH Tamarana.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 20 - Vegetação na tomada d'água



Fonte: Autor, 2023.

Figura 21 - Vegetação a montante da tomada d'água





Fonte: Autor, 2020.

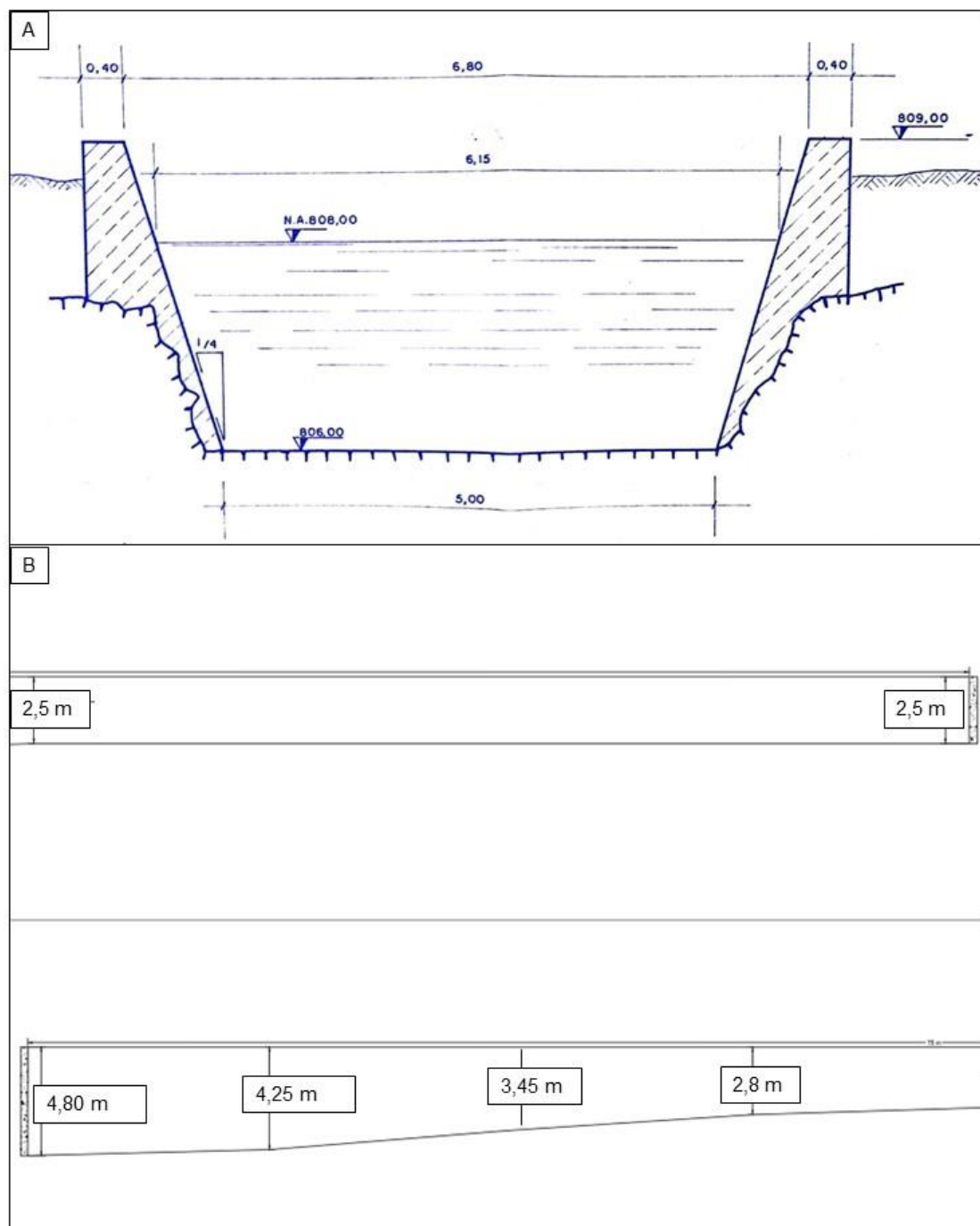
#### 7.2.4 Canal de adução

O canal de adução é a estrutura na qual ocorre o escoamento de água sem pressão até a câmara de carga. Para a CGH Tamarana, o canal de adução está instalado e foi construído de pedra rebocada com argamassa de areia e cimento. A seção inicial do canal de adução é trapezoidal com um valor de base de 5 metros e de topo de 6,8 metros (ver a Figura 22A). Possui aproximadamente 75 m de comprimento com profundidade variando de 2,5m no início próximo a tomada de água, com profundidade ascendente em 2,8, 3,45, 4,25 m até chegar próximo a câmara de carga nas grades com 4,5 m de profundidade (ver a Figura



22B). O canal de adução será mantido com as dimensões atuais, sendo feita apenas a limpeza para remoção do material sedimentado e vegetação.

Figura 22 -Seção do Canal de adução da CGH Tamarana (A), com representação do perfil da montante para jusante (B).



Fonte: Autor, 2024.





Figura 23 - Canal de adução da CGH Tamarana, da montante para jusante



Fonte: Autor, 2023.





Figura 24 - Canal de adução, da jusante para montante



Fonte: Autor, 2023.

#### 7.2.5 Câmara de carga

A câmara de carga é a estrutura na qual ocorre a transição do fluxo de água sem pressão no canal de adução para escoamento pressurizado no conduto forçado. A estrutura da câmara de carga consiste basicamente em uma caixa de concreto capaz de formar um volume de água suficiente para atender a variação de potência instantânea causada pela partida e parada das máquinas, bem como formar uma lâmina de água que impeça a formação de vórtice, evitando a entrada de ar no conduto forçado.

A câmara de carga da CGH Tamarana está instalada e também é feita de blocos de concreto e possui aproximadamente 12 m de comprimento por 5,75





de largura. A intervenção a ser feita na câmara de carga é a substituição das comportas e limpezas, como é visível na Figura 25.

Figura 25 - Limpeza das grades e de dentro da câmara



Fonte: Autor, 2020.

A limpeza da câmara de carga será feita junto com a limpeza do canal. Para maiores detalhes acessar o Plano de Dessassoreamento. Durante a fase de operação do empreendimento a limpeza se dará por uma comporta auxiliar ao lado esquerdo do canal, próximo da grade. O fluxo de água com possíveis acúmulos de detritos e sedimentos é direcionado imediatamente ao abrir a comporta detacada na Figura 26. Ao realizar a abertura da comporta o material tende a percorrer o sentido apontado na seta indicadora. A comporta de fundo deste local tem dimensões de 0,9m de largura x 0,9 m de altura, possuindo 1m<sup>2</sup> de área útil, sendo acionada por pedestal de manobra com volante manual.

A coluna d'água sobre a comporta é de 3 metros. Por sua vez deduz-se a velocidade da água que é dado por:



$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Onde:

- $v$  é a velocidade da água,
- $g$  é a aceleração da gravidade ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ),
- $h$  é a altura da coluna d'água.

A vazão ( $Q$ ) pode ser calculada multiplicando a velocidade da água pela área da seção transversal da tubulação ou do canal ( $A$ ):

$$Q = V \cdot A$$

Onde:

- $Q$  é a vazão (em  $\text{m}^3/\text{s}$ ),
- $v$  é a velocidade da água,
- $A$  é a área da seção transversal (em  $\text{m}^2$ ).

Este método é amplamente utilizado em engenharia hidráulica para dimensionamento de canais, sistemas de irrigação, e até mesmo em turbinas hidrelétricas. Com uma coluna d'água de 3 metros, a velocidade da água seria aproximadamente  $7,67 \text{ m/s}$  que por sua vez, confere uma vazão de  $4,9 \text{ m}^3/\text{s}$ .





Figura 26 – Detalhe da comporta e o fluxo de detritos para limpeza das grades na câmara de carga

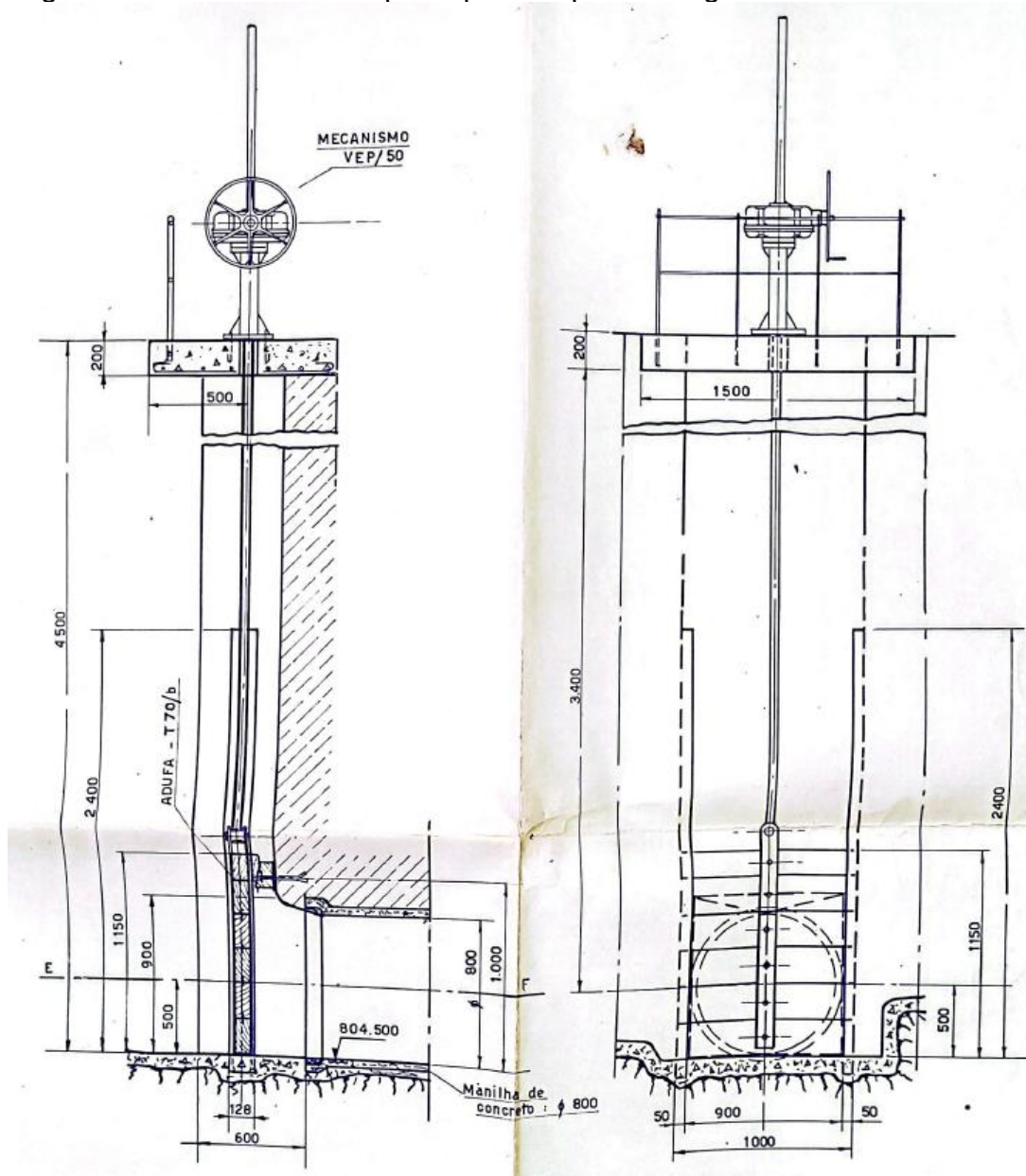


Fonte: Autor, 2024.

A comporta desarenadora da câmara de carga instalada na CGH Tamarana é de madeira com dimensões de vão livre de 0,8 m x 0,8 com acionamento com pedestal e volante de manobra (ver Figura 27). Esta comporta será substituída por uma comporta de aço carbono com pintura epoxi nas mesmas dimensões, aproveitando a guia de acionamento existente.



Figura 27 – Detalhe da comporta para limpeza das grades na câmara de carga



Fonte: Autor, 2024.

### 7.2.6 Conduto forçado

O conduto forçado tem a função de pressurizar a água e direcioná-la até a turbina. A CGH Tamarana dispõe de dois condutos forçados já instalados, cada um com diâmetro interno de 1,2 m e extensão de 45 metros (Figura 28 e Figura 29). Esses condutos apresentam pintura não identificada e estão visivelmente





desgastados, com danos internos e externos. Devido ao estado atual de conservação, será realizada a substituição integral dos condutos, além da adequação dos berços de apoio em concreto armado (Figura 29).

Figura 28 - Conduto forçado, saindo da câmara de carga



Fonte: Autor, 2023.

Os novos condutos forçados consistem em duas unidades, cada uma com diâmetro interno de 1,6 m e espessura de 1/4" (6,35 mm). Esses condutos receberão aplicação de pintura epóxi anticorrosiva, com espessura de 0,4 mm tanto interna quanto externamente. O comprimento total das duas unidades será de 50 metros.

Os berços são estruturas de suporte que acomodam os condutos ao longo de sua extensão. Na configuração atual da CGH Tamarana, há seis berços de apoio com base de 1,7 m de largura e altura de 1,2 m. Os novos berços serão modificados e alongados para acomodar a tubulação forçada de 1,6 m de diâmetro. Para uma melhor visualização das adaptações nos berços e nas novas tubulações, consulte Figura 30.

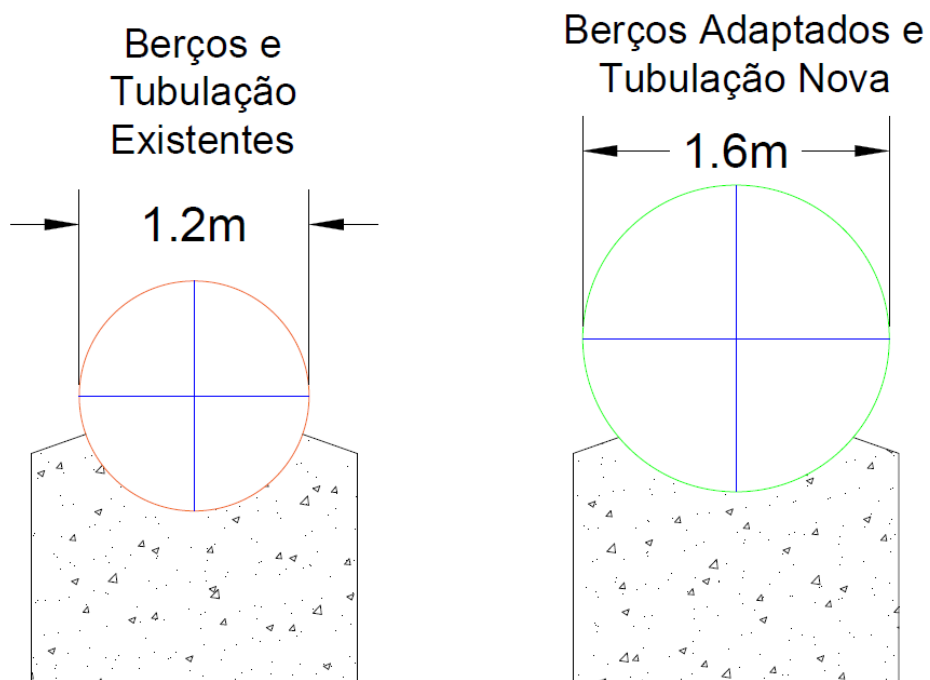


Figura 29 - Detalhe dos berços



Fonte: Autor, 2023.

Figura 30 – Detalhamento dos berços e tubulações existentes e das adaptações dos berços com as novas tubulações a serem substituídas.



Fonte: Autor, 2024.



#### 7.2.7 Casa de força

A casa de força é a estrutura que abriga os equipamentos para geração de energia, sendo dividida em duas partes, a primeira refere-se à sala de máquinas, que será edificada em concreto armado sem a presença de aberturas, no caso, será estanque impedindo a entrada de água até a cota de proteção contra enchentes. A sala de máquinas é o local destinado a instalação dos conjuntos turbinas e geradores, unidades hidráulicas do regulador de velocidade e de lubrificação mecânica e válvula borboleta, servindo também como área de montagem.

A segunda parte é composta pela sala de painéis e será edificada em alvenaria, comportando em seu interior os painéis de controle e proteção, os cubículos, mesa para o operador e banheiro.

Considerando as condições atuais da casa de força, como pode ser observado na Figura 31, Figura 32 e Figura 33, e que em períodos de enchente ocorre o alagamento da mesma, a casa de força será reformulada, sendo construídas paredes estanque, impedido a entrada de água na mesma e as demais estruturas que porventura estão comprometidas.





Figura 31 - Situação atual da casa de força



Fonte: Autor, 2023.

Figura 32 - Lado externo da casa de força atualmente



Fonte: Autor, 2023.





Figura 33 - Rastros da enchente na fábrica de papelão



Fonte: Autor, 2023.

A casa de força será feita no mesmo local e mantendo dimensões atuais. Existe ainda no local turbinas do tipo Francis do tempo que ainda operavam, como mostra a Figura 34. Essas serão substituídas por duas turbinas do tipo Francis Simples de 950 kW cada.



Figura 34 – Turbinas da antiga usina.



Fonte: Autor, 2023.

A casa de força será feita no mesmo local e mantendo dimensões atuais. Existe ainda no local turbinas do tipo Francis do tempo que ainda operavam, como mostra a Figura 34. Essas serão substituídas por duas turbinas do tipo Francis Simples de 950 kW cada.

O piso da casa de força atual está localizado na cota 659,50 m, com a cota de cobertura em 666,00 m, resultando em uma altura de pé direito de 6,50 m. A cota de enchente registrada em janeiro de 2016 foi de 663,80 m. Para evitar que futuras enchentes causem danos à casa de força, será realizada uma reforma, elevando o nível estanque (paredes) da estrutura para a cota 665,30 m, o que representa um aumento de 1,5 m em relação à cota máxima atingida pelas cheias em 2016.





Para garantir que a parede suporte as forças da água em caso de enchentes, ela será reforçada com elementos estruturais adicionais, como concreto armado, pilares e vigas (ver Figura 35). Isso aumenta a resistência da parede, evitando que ela se deforme ou sofra danos durante eventos de grande magnitude, como cheias. As juntas entre as diferentes partes da parede, como a fundação e as paredes laterais, serão vedadas com materiais como argamassa especial ou selantes elastoméricos, que ajudam a evitar que a água penetre na estrutura. Além disso, as portas de acesso equipadas com vedantes resistentes à água, contemplando uma porta tipo escotilha para passagem de pessoas.

Figura 35 – Exemplo de paredes estanques nas setas indicadores, juntamente com uma porta com sistema de selantes elastoméricos com porta tipo escotilha para passagem de pessoas, visando garantir a estanqueidade.



Fonte: Autor, 2024.

#### 7.2.8 Canal de fuga

O canal de fuga serve para direcionar e devolver a vazão de água que circulou em todo sistema ao rio, sendo assim ele conclui o circuito hidráulico da Central Geradora Hidrelétrica Tamarana. O canal de fuga existente na CGH Tamarana encontra-se com bastante vegetação e sedimentos, como pode ser



observado na Figura 36 e Figura 37, portanto a intervenção necessária a ser feita no canal de fuga é a limpeza do mesmo.

Figura 36 - Canal de fuga, da jusante para montante



Fonte: Autor, 2023.





Figura 37 - Canal de fuga, da montante para jusante



Fonte: Autor, 2023.

O canal de fuga existente possui 6,60 metros de largura e uma profundidade média atual de 0,5 m. No entanto, devido a mais de cinco anos de inatividade, o canal sofreu um processo de assoreamento, reduzindo sua capacidade de escoamento.

#### 7.2.9 Dessassoreamento do Canal de Fuga

##### 7.2.9.1 Volumetria de Material

A área necessária de dessassoreamento é de aproximadamente 416m<sup>2</sup>, conforme evidencia a Figura 38. O cálculo de volume é dado por:  
 $\text{Volume} = \text{Área} \times h$





Onde:

Volume total em m<sup>3</sup>

Área de dessassoreamento em m<sup>2</sup>

H: altura, representando a profundidade escavada

Logo Volume =  $416 \times 0,5 = 208\text{m}^3$ . Considerando uma margem de segurança de 10%, totaliza em  $228\text{m}^3$ .

#### 7.2.9.2 Bota Fora

O bota fora está localizado a 100m da área de remoção dos resíduos, encontra-se em área não vegetada, sem nenhum impedimento de restrições ambientais, possuindo  $470\text{m}^2$  de área, conforme a Figura 38.

Figura 38 - Croqui com esquema de escavação da bacia de deposição do material e bota fora do proveniente do dessassoreamento.

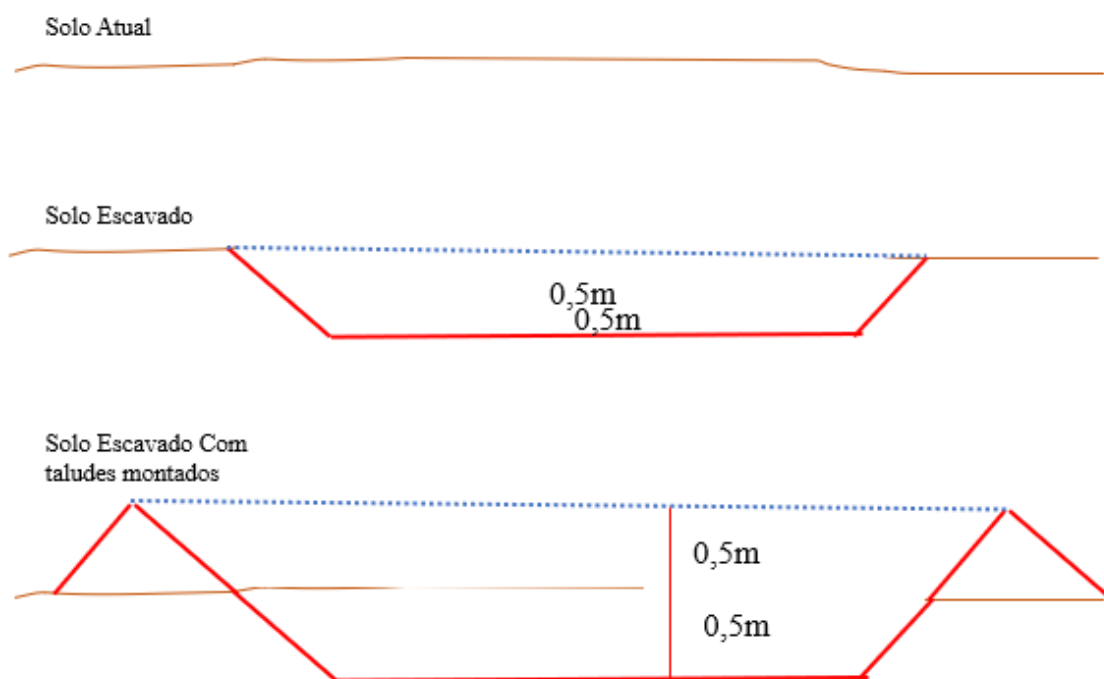


Fonte: Autor, 2024.



O bota fora deverá ter uma altura útil de  $228\text{m}^2 / 470\text{m}^2 = 0,48\text{m}$  ou 50cm. Para isso deverá ser escavada uma área de  $470\text{m}^2$  depositando o material escavado nas laterais, criando uma bacia de contenção, conforme aponta a Figura 39.

Figura 39 - Croqui com esquema de escavação da bacia de deposição do material proveniente do dessassoreamento.



A bacia de deposição é fundamental para a gestão de sedimentos, controlando o acúmulo que pode comprometer a eficiência de estruturas hidráulicas, como represas e canais. Além disso, sua presença contribui para a proteção ambiental ao minimizar a erosão e o assoreamento, ajudando a preservar ecossistemas aquáticos e terrestres adjacentes. Outra função importante da bacia é o armazenamento temporário de água, que regula o fluxo durante chuvas intensas e ajuda a prevenir possíveis transbordos.

#### 7.2.10 Trecho de Vazão Reduzida

O trecho de vazão reduzida refere-se a uma seção de rio situada a jusante de um barramento de uma usina hidrelétrica onde o volume de água natural é temporariamente diminuído, devido à captação para geração de energia. Esse



trecho é caracterizado por um fluxo inferior ao curso natural do rio, uma vez que parte da vazão é desviada pelo canal ou tubulação da usina para alimentar as turbinas. Para mitigar impactos ambientais e preservar a biota aquática, é geralmente estipulada uma "vazão ecológica" mínima que deve ser mantida nesse trecho, garantindo as condições mínimas necessárias para o ecossistema local, bem como o uso sustentável dos recursos hídricos. Esta vazão é de 0,560 m<sup>3</sup>/s conforme Portaria de Outorga nº 25376/2023/OP-GOUT por meio do Protocolo 20.024.501-6 expedido pelo Instituto de Água e Terra do Paraná (IAT).

Na CGH Tamarana, o Trecho de Vazão Reduzida (TVR) estende-se por 155 metros, até encontrar a saída do canal de fuga, onde as águas são devolvidas ao rio. Nesse ponto de restituição, as águas retornam com qualidade preservada, compatível com a do fluxo natural, uma vez que passam por um processo controlado durante a geração de energia. Esse retorno contribui para a manutenção das condições ambientais e garante que os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água sejam mantidos, preservando o ecossistema aquático e assegurando a sustentabilidade do uso hídrico na região.

### 7.2.11 Conexão

A cabina de medição é a estrutura que aloca todos os equipamentos necessários para a medição, proteção e/ou transformação da energia, sendo a mesma dimensionada e alocada de acordo com normas específicas da COPEL.

A conexão também é realizada de acordo com normas, sendo o local definido primeiramente através da informação de acesso.

A Norma Técnica Copel NTC 903100 estabelece o Fornecimento em Tensão Primária de Distribuição e estabelece padrões construtivos, que junto às demais especificações uniformizam exigências técnicas e de segurança recomendadas pelas normas brasileiras, a Figura 40 mostra uma imagem ilustrativa semelhante ao que deverá ser implantada da CGH Tamarana.





Figura 40 - Modelo COPEL de cabina de medição



Fonte: Autor, 2023.

#### 7.2.12 Estruturas auxiliares

##### 7.2.12.1 *Canteiro de Obras*

Em geral, o canteiro de obras é o local destinado para realização dos serviços necessários em conjunto com a obra, onde neste caso, a principal





atividade é a armação das ferragens. Este local também é utilizado com o fim de armazenar os materiais utilizados na obra, tais como madeira, formas e ferragens, além de ferramentas e maquinários. Importante ressaltar que o concreto utilizado na obra será usinado e fornecido por empresas terceirizadas, não havendo a necessidade de produção *in loco*.

Junto ao canteiro de obra está prevista a instalação de uma estrutura provisória para o armazenamento dos resíduos sólidos produzidos durante a reforma na usina, bem como sistema de tratamento de efluentes, água potável para consumo e área de vivência.

Não está prevista a instalação de alojamento e nem necessidade de preparação de alimentos no local, pois o empreendimento encontra-se próximo a cidade de Tamara que oferece tais serviços.

Outra medida importante a ser observada é que no local de instalação da CGH não está prevista a utilização de tanques para armazenamento de combustíveis e abastecimento dos veículos, no entanto, caso seja necessário, o armazenamento do combustível deverá ocorrer em local coberto, sobre piso impermeável e com caixa de contenção, evitando a contaminação do solo em caso de derramamentos.

### 7.2.12.2 Gerenciamento dos resíduos sólidos

Considerando que os resíduos sólidos que são gerados em obras são semelhantes e que há a necessidade de segregar corretamente para garantir a destinação final adequada, serão dispostas lixeiras para o acondicionamento interno junto ao canteiro de obras.

Os resíduos gerados em obra são popularmente conhecidos como entulho, também serão gerados resíduos comuns, tais como plástico, papel, papelão, bem como resíduos provenientes de materiais de construção como pedaços de tubulações, retalhos de ferro e sacos de argamassa.

Para os resíduos sólidos classificados como orgânicos, rejeitos e recicláveis serão utilizadas lixeiras de 200 litros, com sacos plásticos e



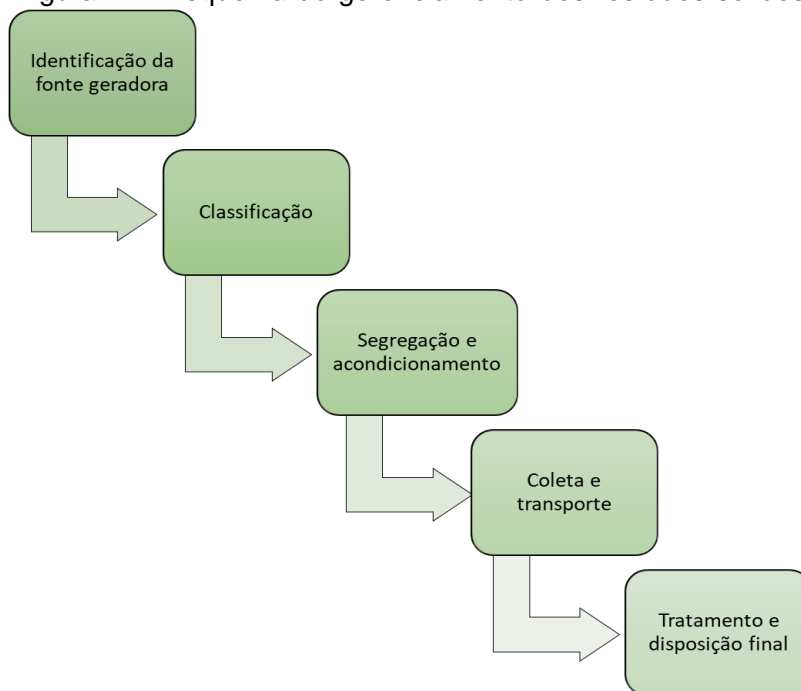
devidamente identificadas. Já os resíduos como retalhos de ferro e pedaços de madeira serão dispostos em baias devidamente identificadas, para armazenamento, sendo o descarte realizado apenas após esgotadas todas as possibilidades de reutilização.

Resíduos sólidos comuns, semelhantes aos resíduos domésticos e gerados em pequena escala podem ser coletados pelo serviço público municipal, enquanto, os demais podem ser coletados por empresas terceirizadas, especializadas em tal atividade e devidamente licenciadas.

De modo geral, as características quantitativas e qualitativas dos resíduos sólidos gerados, bem como sua classificação, e as especificações para separação, armazenamento, coleta e destinação serão especificadas no Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos – PGRS a ser elaborado para a CGH Tamarana em etapas posteriores. O gerenciamento dos resíduos sólidos seguirá esquema do fluxograma exibido na Figura 41.



Figura 41 - Esquema do gerenciamento dos resíduos sólidos



Fonte: Autor, 2023.

A geração de resíduos ocorre de forma mais intensa durante a fase de instalação de um empreendimento, no entanto considerando que a CGH Tamarana passará apenas por processo de reativação, o momento com maior geração de resíduos sólidos surge na fase de reforma das estruturas, visto que poderão ser gerados diferentes tipos de resíduos da construção, como restos de demolição (tijolos, concreto e madeira), além de rejeitos advindo de instalações sanitárias e possíveis embalagens contaminadas com tintas e solventes.

Com relação aos efluentes líquidos provenientes de sanitários e lavabos será instalada fossa séptica, composta por sistema de fossa, filtro e sumidouro.

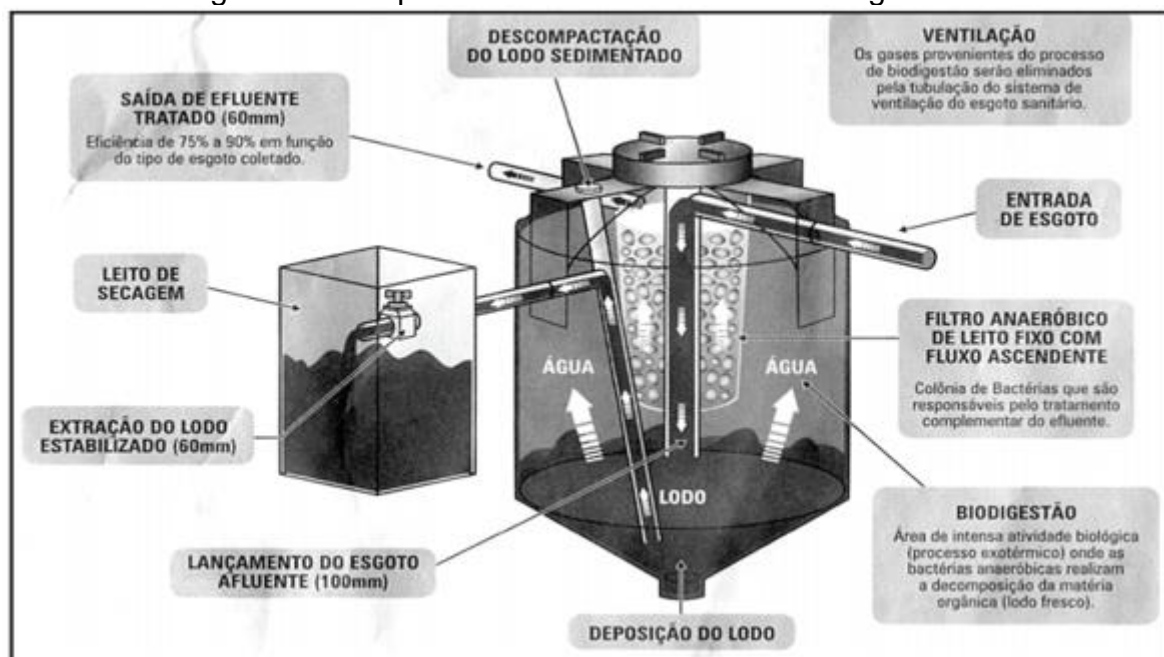
Ressalta-se que no Plano de Acompanhamento, Monitoramento e Controle Ambiental haverá a descrição mais específica dos resíduos sólidos e sua destinação.



### 7.2.12.3 Tratamento dos efluentes líquidos

Todo o efluente gerado no canteiro de obras através de sanitários e lavabos será coletado e direcionado ao sistema de tratamento, este, por sua vez é composto por um biodigestor, o qual funciona como uma miniestação de tratamento de esgoto, formando em um só produto tanque séptico, filtro anaeróbico e para a extração de lodos não há a necessidade de caminhão limpa-fossa, como mostra a Figura 42.

Figura 42 - Esquema de funcionamento do biodigestor



Fonte: Autor, 2023.

O biodigestor substitui o tanque séptico e filtro anaeróbico, porém, os demais itens do sistema de tratamento de esgoto (caixa de gordura, caixa grelhada e destino final – sumidouro ou vala de infiltração) são necessários para o funcionamento do sistema, como mostra a Figura 43.



Figura 43 - Instalação de biodigestor



Fonte: Autor, 2023.

Durante o processo de biodigestão da matéria orgânica do esgoto são liberados dois subprodutos do tratamento: o lodo e o biogás. A cada 6 meses o registro da tubulação do lodo deverá ser aberto para que esse se encaminhe para o depósito de lodo, já o biogás é continuamente liberado por uma tubulação coletora de gás. Para o dimensionamento do biodigestor é levado em conta o número de usuários devido a contribuição diária de esgoto. A situação é atendida conforme a Tabela 19.



Tabela 19 - Quantidade de pessoas atendidas pelo biodigestor

OCUPANTES E TIPO DE EDIFICAÇÃO	CONTRIBUIÇÃO DIÁRIA DE ESGOTO (L/PESSOA)	Nº DE PESSOAS ATENDIDAS (500 L/DIA)	Nº DE PESSOAS ATENDIDAS (1500 L/DIA)
Residência de alto consumo de água	160	3	9
Residência de médio consumo de água	130	4	11
Residência de baixo consumo de água	100	5	15
Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	100	5	15
Alojamento provisório	80	6	18

Fonte: Fortlev, adaptado pelo autor, 2023.

Considerando que durante a reforma a CGH Tamarana contará com 4 trabalhadores, dessa maneira, é necessário uma unidade de biodigestor com capacidade de 500 l/dia para atender a demanda dos trabalhadores na obra, que tem a capacidade para até 6 pessoas.

### 7.3 Área de bota-fora

A área de bota-fora será destinada ao material sedimentado e vegetação que será retirado das estruturas para a limpeza das mesmas para a água ter passagem livre pelo circuito hidráulico. Essa área será alocada fora da Área de Preservação Permanente – APP, no local que mostra na Figura 44.





Figura 44 - Área de bota-fora



Fonte: Autor, 2023.

#### 7.4 Acessos

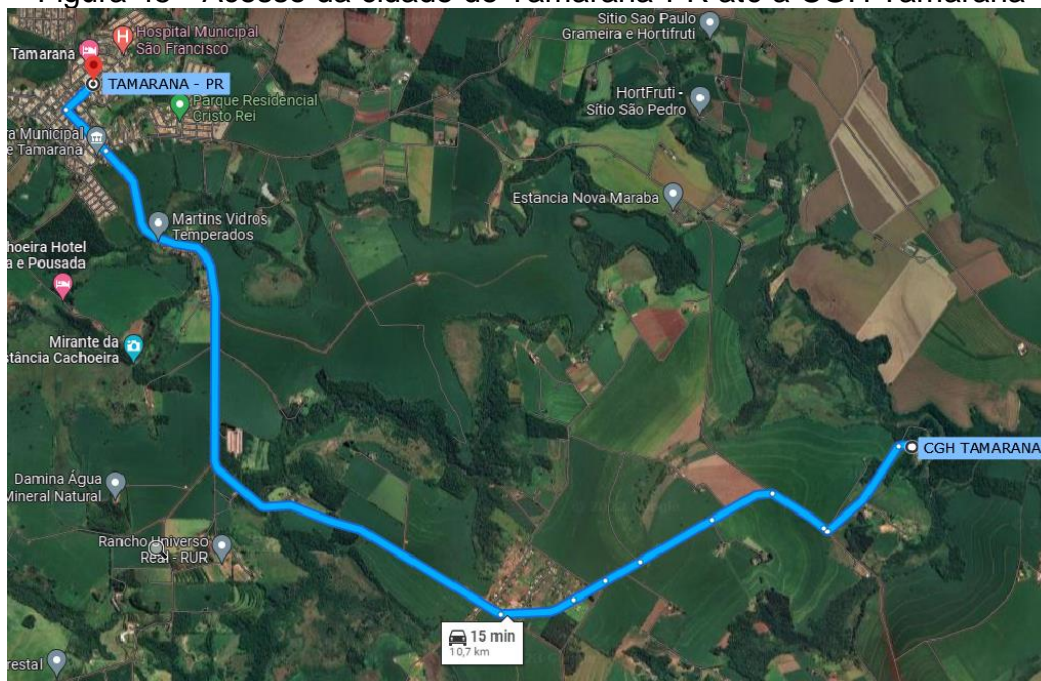
A CGH Tamarana está a uma distância total de 335 km da capital paranaense, Curitiba. O acesso pode ser feito percorrendo 297 km pela rodovia federal BR 376, de Curitiba até o trevo de acesso até Londrina onde segue-se a direita pela PR 455 por mais 25 km até o trevo de acesso a Tamarana. Da cidade de Tamarana segue-se por aproximadamente 10 km em estradas parte de asfalto e parte em cascalho, onde chega-se ao aproveitamento. A Figura 45 mostra a distância da cidade de Tamarana até a CGH.





O acesso assegura o transporte de todos os veículos e equipamentos necessários para proporcionar a chegada de materiais, equipamentos e máquinas e permitir a realização dos trabalhos necessários. Não haverá a necessidade de construir novos acessos.

Figura 45 - Acesso da cidade de Tamarana-PR até a CGH Tamarana



Fonte: Autor, 2023.

## 7.5 Método construtivo e demais especificações

Conforme citado no decorrer do memorial descritivo, a CGH Tamarana é um empreendimento hidrelétrico de pequeno porte com potência instalada de 1,900 MW que será construído na margem direita do rio Apucarantina.

Desta forma, a instalação da CGH Tamarana ocorrerá mediante licenciamento ambiental nos órgãos competentes, neste caso, conforme aprovação do Instituto Água e Terra.

Para a execução da CGH Tamarana será feita a utilização de funcionários e serviços de diferentes áreas, sendo os mesmos da própria empresa, podendo ser eles diretos e indiretos. Em um primeiro momento será utilizado da mão de



obra para execução dos serviços civis, compondo uma equipe com aproximadamente 04 profissionais.

Junto a execução das estruturas civis ocorre a contratação de serviços auxiliares como máquina escavadeira hidráulica para limpeza do local e, por fim, a utilização dos profissionais da própria empresa para execução de serviços elétricos, tais como iluminação.

Com relação aos serviços terceirizados é necessário contratar empresa fornecedora de equipamentos hidromecânicos e eletromecânicos, já os equipamentos elétricos, comportas, grades, painéis de controle e de proteção serão produzidos e fornecidos pela própria empresa.

Além disso, será utilizado dos serviços e mão de obra da própria empresa para automação, montagem da cabina de medição, conexão com a rede de distribuição, instalação de alarmes e internet. Juntamente a essas atividades será realizada a execução de todos os programas ambientais e demais condicionantes definidas na licença.

## **7.6 Equipamentos de geração e auxiliares**

Os principais equipamentos que constituem um empreendimento hidrelétrico são a turbina e o gerador. A turbina é responsável pela conversão da energia potencial hidráulica em energia mecânica, enquanto os geradores convertem energia mecânica em energia elétrica.

A usina será equipada com duas unidades geradoras alimentadas a partir de um circuito hidráulico constituído pela tomada d'água, canal de adução, câmara de carga e condutos forçados.

Na casa de força serão instaladas duas turbinas Francis simples, cada uma com 950 kW de potência, totalizando uma potência instalada de 1,9 MW, composta por uma caixa espiral metálica e alimentação acima do eixo, estimadas pela queda bruta de 21,45 metros e vazão total de 10,86 m<sup>3</sup>/s.



Quanto aos geradores, ambos são do tipo síncrono, trifásicos, com eixo horizontal e juntos fornecem uma potência de 1900 kVA, com fator de potência igual a 0,9 e fator de capacidade de 0,71.

As turbinas deverão ser fornecidas completas, compreendendo tubulação de transição entre o conduto forçado e a válvula borboleta, caixa espiral, distribuidor e mecanismo de acionamento, servomotor óleo-hidráulico, rotor em aço inoxidável, tubo de sucção metálico, eixo, mancais de guia, escora, regulador de velocidade, etc.

As turbinas hidráulicas deverão ser projetadas para operar satisfatoriamente sob quedas correspondentes às condições previstas para a operação do reservatório, sob as diversas faixas de carga, de forma confiável e segura, livre de vibrações, ruídos e instabilidade.

Cada turbina possuirá uma válvula borboleta à montante da caixa espiral. Elas são responsáveis pelo isolamento de uma turbina em relação a outra e ao sistema de adução único, permitindo a drenagem e manutenção do grupo, sem interferir na operação da outra unidade.

## **7.7 Equipamentos e sistemas elétricos**

O diagrama unifilar de proteção e medição representa a concepção do sistema elétrico da PCH Tamarana, pelo qual se destacam as seguintes características:

- Os geradores terão ligação estrela com neutro aterrado na alta e delta na baixa via transformador de aterramento. A definição do tipo e valor da impedância deverá ser objeto de estudo específico na hora do projeto executivo;
- Cada gerador será protegido contra surtos de tensão por meio de um conjunto de equipamentos instalados na caixa de ligação do gerador;
- A sincronização, o chaveamento e proteção dos geradores serão realizados via painel de controle e proteção (PCPU) de cada unidade



geradora conectando-os a barra 380 V. A barra será conectada a baixa tensão do transformador elevador (TE);

- Os serviços auxiliares serão alimentados por transformadores de serviços auxiliares (TSA) localizado próximo ao transformador elevador;
- A CGH será operada via Centro de Operação da Geração (COG) permitindo a operação remota da CGH.

## **7.8 Equipamentos hidromecânicos**

O isolamento hidráulico do sistema de adução é feito pelas comportas da manutenção da tomada d'água localizada na entrada das tubulações forçadas a montante da entrada para a casa de força. Das turbinas será assegurado por comportas de isolamento, com capacidade de suportar a pressão do sistema de adução, colocadas a jusante das mesmas, próximas das turbinas correspondentes.

O acionamento das comportas será feito por talhas elétricas sobre monotrilhos ou sistema hidráulico compatível.

## **7.9 Sistemas auxiliares e instalações**

Os serviços auxiliares mecânicos são os equipamentos de bombeamento para drenagem e esgotamento da casa de força, água de serviço, água potável, proteção contra incêndio com CO<sub>2</sub>, ventilação e ar-condicionado. As instalações são as tubulações de drenagem e esgotamento de água de serviço, sistema de água potável e de esgoto sanitário, tratamento e coleta de efluentes, serão distribuídas pelas edificações e estruturas da usina conforme os setores que necessita.

Os serviços auxiliares elétricos são os sistemas de proteção, controle, automação e controle supervisor local e remoto das unidades geradoras,



subestação e linha de transmissão, os equipamentos de fornecimento e distribuição de corrente alternada e corrente contínua, telecomunicações e de monitoramento. As instalações elétricas são formadas por aterramento e proteção contra descargas atmosféricas e tensões transitórias, iluminação e distribuição de força, leitos de cabos, comunicações internas, remanejadas pelas edificações e estruturas de acordo com os setores que deverão ser atendidos.

#### **7.10 Obras e acessórios**

O acesso na região da usina será por meio de acessos e ligações já existentes. Apenas alguns trechos de estrada serão readequados e contarão com revestimento primário em pedra irregular e valetas laterais para escoamento de água pluvial. A estrada de acesso para a casa de força deverá ser pensada para o uso não só apenas enquanto estiver em obras, mas que também deverá ser utilizada para acesso e área de manobra à usina durante toda a sua vida útil.

Não se faz necessário construções para abrigo dos operadores e pessoal de manutenção da usina depois de concluída a obra. As áreas necessárias estarão localizadas na casa de força da usina. Além disso, contará com um anexo a sala de controle, escritório de administração e instalações sanitárias.

Nas estruturas e obras civis possuirão as instalações onde for relevante:

- Drenagem de água pluvial;
- Distribuição de água canalizada;
- Estabilização de terrenos e taludes;
- Iluminação externa;
- Proteção contra descargas atmosféricas e aterramento.





### **7.11 Tanque de Abastecimento**

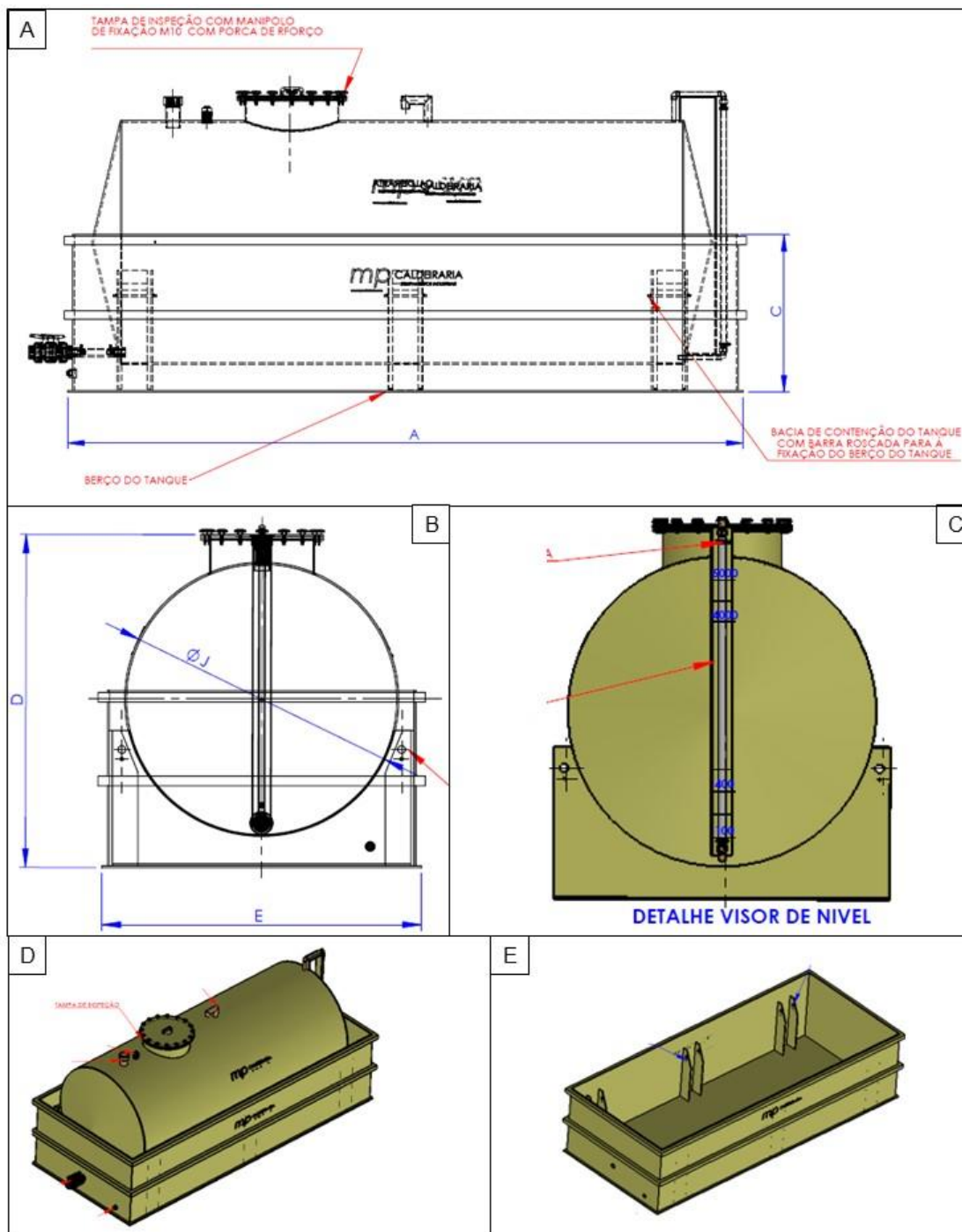
O tanque de abastecimento de diesel proposto para a obra foi projetado com capacidade adequada para atender à demanda de combustível no local, considerando o volume necessário de 2.000 litros. A estrutura conta com uma bacia de contenção dimensionada para comportar integralmente o volume do tanque, garantindo segurança em caso de vazamentos acidentais e evitando o derramamento de óleo no solo e no ambiente circundante. A bacia foi planejada para ser construída com material impermeável, possuindo altura e espessura adequadas para reter completamente o combustível, prevenindo contaminações ambientais.

Adicionalmente, o sistema de contenção é complementado por uma caixa separadora de água e óleo, composta por quatro estágios de filtração. Esse sistema é essencial para tratar e separar qualquer mistura de água com óleo que possa ocorrer devido a infiltrações ou chuvas incidentes na área da bacia de contenção. Cada estágio da caixa foi dimensionado para reter partículas de óleo de forma progressiva, garantindo a eficiência na remoção de resíduos e a liberação de água tratada com baixo risco de poluição. Esse projeto busca atender às normas do Instituto Água e Terra (IAT) para o controle de poluentes e assegurar que o tanque opere de forma segura e sustentável dentro do contexto da obra.

O tanque terá dimensões de 3 metros de comprimento, 1,46m de largura, com um diâmetro de 1,216m (ver Figura 46). A altura da base até a tampa de inspeção é de 3,06m. A bacia de contenção tem capacidade de contenção de 2.000 litros com adicional de 200 litros (10% de margem de segurança).



Figura 46 – Detalhes do Tanque de abastecimento de 2.000 litros.



## 8. PLANEJAMENTO DA CONSTRUÇÃO E CRONOGRAMA FÍSICO



## 8.1 Custos

Os custos do aproveitamento hidrelétrico integram os valores a serem gastos com a construção civil e a aquisição dos equipamentos, com a construção e manutenção do canteiro de obras, aquisição de terrenos e o tratamento dos aspectos ambientais, a administração do proprietário (projetos, gerenciamento e administração durante a construção).

O procedimento utilizado para a determinação dos custos, com o nível de tratamento do projeto de engenharia na fase do projeto básico, deverá ter uma tendência de redução dos investimentos no empreendimento quando feito o detalhamento na fase subsequente e como consequência na redução de custo médio da geração, tornando o aproveitamento mais atrativo.

Para o orçamento inicial, os itens da planilha foram calculados segundo a divisão adotada no projeto básico, praticado valores compostos. Assumiu-se uma porcentagem dos custos direto e indiretos e fim de cobertura a gastos não previstos, variações em quantidades e custos definitivos do empreendimento.

Os custos indiretos foram baseados em valores de obras similares e aplicados como percentuais do custo direto total.

### ➤ Licenças ambientais e demais deliberações

Este item descreve alguns documentos previstos para a obtenção de licenças ambientais, não sendo listados todos os documentos, apenas os que possuem custos.

- Outorga d'água: é o ato administrativo pelo qual é concedido o direito de uso da água por um determinado tempo.

- Licença prévia: como o próprio nome diz, aprova previamente a viabilidade ambiental do empreendimento.

- Anuência do IPHAN: documento que estabelece os parâmetros a serem seguidos a fim de reduzir ao máximo os impactos sobre os imóveis tombados e áreas envoltórias.



- Licença instalação: autoriza a instalação do empreendimento de acordo com os estudos ambientais apresentados, considerando as medidas e condicionantes ambientais estabelecidas.

- Licença de operação: aprova a operação do empreendimento após comprovação do cumprimento das exigências das licenças anteriores.

Os custos envolvem principalmente o pagamento de taxas e a elaboração de estudos como o Relatório Ambiental Simplificado – RAS e o Plano de Controle Ambiental – PCA.

Quanto aos custos de projeto, considera-se o valor investido em estudos preliminares e no projeto básico, mais valores dos serviços ainda não executados (projetos antes do início da construção e em seguida na fase executiva).

➤ Obras civis

A implantação de um empreendimento de geração de energia requer a construção de diversas estruturas civis, bem como a elaboração de projetos. O custo das obras civis foi calculado a partir dos preços unitários de serviço e de construção referentes a obras similares. São preços praticados em obras de centrais geradoras hidrelétricas em construção ou em fase de conclusão, adaptados para essa CGH.

➤ Eletromecânicos

Este item refere-se aos custos relacionados a projetos, equipamentos, materiais e serviços da parte eletromecânica do empreendimento. O custo de transporte dos equipamentos eletromecânicos principais, contemplando o fornecimento, montagem e condicionamento das unidades geradora e equipamentos mecânicos e elétricos da usina e subestação. Isso é com base em ofertas dadas pelos fornecedores.

➤ Hidromecânicos





Este item descreve os custos relacionados a equipamentos hidromecânicos para a tomada d'água e conduto forçado, como comporta, grade metálica, chapa de aço, bem como a mão de obra para instalação.

➤ **Conexão**

Estes itens referem-se à conexão da usina ao sistema de distribuição da COPEL, os requisitos técnicos e valores foram tirados das informações de acesso de empreendimentos semelhantes. Vale lembrar que essa informação deverá ser renovada no momento que se determinar o início das atividades de construção.

## **8.2 Análise econômica**

O objetivo da análise econômica é determinar os parâmetros econômicos e financeiros que indicam o nível de viabilização do empreendimento.

O levantamento dos custos relacionado ao empreendimento envolve todas as despesas para a implantação, desde a obtenção das licenças até a transmissão da energia gerada. Os valores que serão apresentados são da data base de junho de 2023.

Para a análise econômica e retorno financeiro foram considerados alguns aspectos, são eles:

- **Potência instalada:** refere-se a capacidade de produção de energia da CGH, que para o empreendimento em questão é de 1,900 MW;
- **Fator de capacidade:** expressa a quantidade de energia produzida em relação à capacidade máxima, para a CGH Tamarana este fator é de 0,71;
- **Preço de venda da energia:** com base no valor de leilões realizados anteriormente adota-se o preço de R\$ 460,00 por MW/h;
- **Custo operacional:** refere-se ao valor gasto anualmente com a manutenção dos equipamentos, sendo o valor de R\$10.000,00;



- Custo total: refere-se ao custo total da obra desde a fase de planejamento até o início da operação do empreendimento.
- Imposto: considera-se 12% da receita bruta.

Para o cálculo da receita, considerou-se a energia gerada mensalmente, sendo a mesma obtida a partir da potência instalada e do fator de capacidade, corresponde a:

$$1,9 \text{ MW/h} \times 0,71 \times 720 \text{ h/mês} = 971,28 \text{ MW/mês}$$

Tomou-se como base o preço de venda de energia em empreendimentos semelhantes como R\$ 460,00 / MWh, resultando em uma receita bruta mensal igual a R\$ 446.788,80.


Desta forma, considerando todos os custos e despesas da CGH Pitanga o tempo de retorno do investimento é de aproximadamente 13 meses, ou seja, 1 ano e um mês. O orçamento com os custos detalhado está no item 8.3.



### 8.3 Orçamento

O orçamento com o detalhamento das obras civis e equipamentos necessários pode ser visualizado na Tabela 20.

Tabela 20 - Orçamento

ORÇAMENTO						TOTAL	
<div></div> <div>Obras civis e equipamentos</div>						R\$ 5.055.848,00	
Item	Descrição	Unidade	Quantidade	Custo unitário	Sub-totais		
					Sub-item	Sub-conta	%
1 PRELIMINARES						R\$ 453.000,00	9,0
1.1	Licenças ambientais	serv.	1,00	R\$ 400.000,00	R\$ 400.000,00		
1.2	Recolhimento de resíduos sólidos	serv.	1,00	R\$ 2.000,00	R\$ 3.000,00		
1.3	Regularização dos acessos	hM	100,00	R\$ 500,00	R\$ 50.000,00		
2 ELABORAÇÃO DE PROJETOS						R\$ 72.000,00	1,4
2.1	Projeto estrutural	serv.	1,00	R\$ 45.000,00	R\$ 45.000,00		
2.2	Projeto arquitetônico	serv.	1,00	R\$ 20.000,00	R\$ 20.000,00		
2.3	Topografia	serv.	1,00	R\$ 7.000,00	R\$ 7.000,00		



## Memorial Descritivo

<b>3 BARRAMENTO/ TOMADA D'ÁGUA/ CANAL DE ADUÇÃO/ CÂMARA DE CARGA</b>						<b>R\$ 295.000,00</b>	<b>5,8</b>
3.1	Limpeza das estruturas	hM	100,00	R\$ 500,00	R\$ 50.000,00		
3.2	Substituição das comportas	und	4,00	R\$ 60.000,00	R\$ 240.000,00		
3.3	Reparos no barramento	serv	1,00	R\$ 5.000,00	R\$ 5.000,00		
<b>4 CONDUITO FORÇADO</b>						<b>R\$ 276.500,00</b>	<b>5,5</b>
4.1	Substituição do conduto	serv	1,00	R\$ 250.000,00	R\$ 250.000,00		
4.2	Adequação dos berços	m³	50,00	R\$ 530,00	R\$ 26.500,00		
<b>5 CASA DE FORÇA</b>						<b>R\$ 3.241.000,00</b>	<b>64,1</b>
5.1	Limpeza	hM	80,00	R\$ 500,00	R\$ 40.000,00		
5.2	Concreto	m³	300,00	R\$ 530,00	R\$ 159.000,00		
5.3	Armadura	kg	33.000,00	R\$ 9,60	R\$ 316.800,00		
5.4	Formas	m²	1.200,00	R\$ 115,00	R\$ 138.000,00		
5.5	Alvenaria - blocos de concreto	m²	160,00	R\$ 45,00	R\$ 7.200,00		
5.6	Turbinas e gerador	und.	2,00	R\$ 1.290.000,00	R\$ 2.580.000,00		
<b>6 SALA DE PAINEIS</b>						<b>R\$ 173.475,00</b>	<b>3,4</b>
6.1	Concreto	m³	25,00	R\$ 530,00	R\$ 13.250,00		
6.2	Armadura	kg	2.750,00	R\$ 9,60	R\$ 26.400,00		
6.3	Formas	m²	100,00	R\$ 115,00	R\$ 11.500,00		
6.4	Alvenaria - blocos de concreto	m²	46,50	R\$ 50,00	R\$ 2.325,00		
6.5	Cobertura	vb	1,00	R\$ 40.000,00	R\$ 40.000,00		



### Memorial Descritivo

6.6	Acabamentos arquitetônicos	vb	1,00	R\$ 80.000,00	R\$ 80.000,00	
<b>7</b>	<b>CABINA DE MEDIÇÃO</b>					R\$ 544.873,00 10,8
7.1	Escavação comum e em rocha	hM	8,00	R\$ 500,00	R\$ 4.000,00	
7.2	Concreto	m³	15,00	R\$ 530,00	R\$ 7.950,00	
7.3	Armadura	kg	1.650,00	R\$ 9,60	R\$ 15.840,00	
7.4	Forma	m²	56,70	R\$ 115,00	R\$ 6.520,50	
7.5	Alvenaria - blocos de concreto	m²	211,25	R\$ 50,00	R\$ 10.562,50	
7.6	Transformador e subestação interna	vb	1,00	R\$ 500.000,00	R\$ 500.000,00	

Fonte: Autor, 2023.

## 8.4 Cronograma

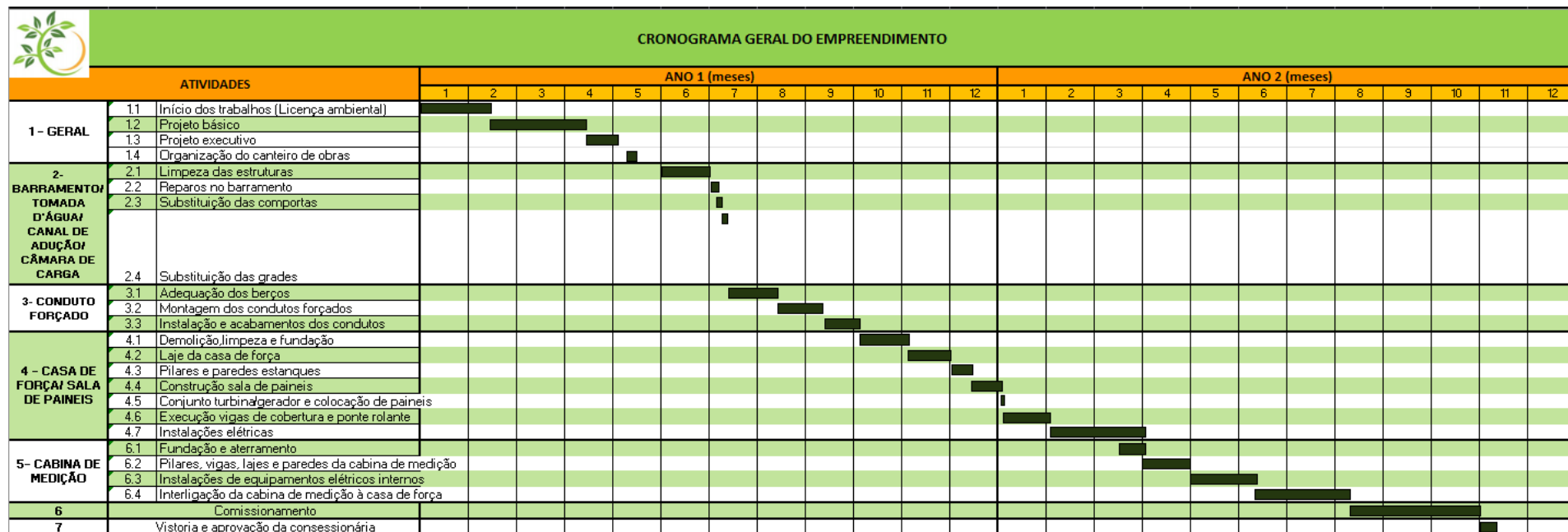
O cronograma da obra é um documento que precisa ser elaborado levando em conta os prazos e a duração das atividades de uma obra. Para a CGH Tamarana foi desenvolvido um cronograma em formato de planilha, detalhando as atividades a serem realizadas.

Essa planilha apresenta o resumo das principais datas das principais atividades, apresentadas a seguir.





## Memorial Descritivo





## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente memorial descritivo apresentou as principais características técnicas da CGH Tamarana, compreendendo o estudo hidrológico e energético, bem como a definição e a alocação das estruturas civis, estruturas de apoio, a instalação da obra, acessos e demais especificações.

Desta forma, a instalação da CGH Tamarana irá aumentar a oferta de energia elétrica, sendo a mesma produzida de forma sustentável, utilizando recurso renovável e causando baixo impacto ambiental, quando comparado a empreendimentos hidrelétricos de grande porte.

Por fim, com base nos estudos realizados conclui-se que a CGH Tamarana terá potência instalada de 1,9 MW, e as estruturas necessárias, serão compostas por barragem, vertedouro, canal de adução, câmara de carga, casa de força, sala de painéis, cabina de medição e conexão.

Com relação aos demais aspectos relativos ao empreendimento, os mesmos serão apresentados em estudos complementares.



Jhoni Loro



**CARVIC EMPREENDIMENTOS E PARTICIPAÇÕES LTDA**  
**CGH TAMARANA**

RIO APUCARANINHA  
BACIA 6 - PARANÁ  
SUB-BACIA 64 - RIOA PARANÁ, PARANAPANEMA E OUTROS

Responsável técnico:  
Jhoni Loro

CREA PR:  
65443-D

Volume II – Desenhos

Local: Tamarana - PR

REVISÃO	DESCRIÇÃO	DATA
R0	Emissão inicial	15/06/2023
R1	Revisão 1	06/11/2024
R2	Revisão 2	04/02/2025