SUMÁRIO

CAPÍTULO 4

4. DESCRIÇÃO DO PROJETO 4-1
4.1. ARRANJO GERAL DO PROJETO 4-1
4.2. DESVIO DO RIO 4-5
4.3. BARRAGEM 4-7
4.4. VERTEDOURO 4-7
4.5. CIRCUITO HIDRÁULICO 4-8
4.6. CASA DE FORÇA E CANAL DE FUGA 4-14
4.7. TURBINAS E GERADORES 4-16
4.7.1. Especificações técnica das turbinas 4-17
4.7.2. Especificações técnicas do gerador 4-24
4.7.2.1. Eixo da unidade geradora 4-25
4.7.2.2. Mancais 4-26
4.7.2.3. Sistemas de ventilação 4-27
4.8. SISTEMAS ELETROMECÂNICOS 4-27
4.9. SUBESTAÇÃO 4-28
4.10. TRANSFORMADOR ELEVADOR 4-28
4.11. LINHA DE TRANSMISSÃO 4-29

4. DESCRIÇÃO DO PROJETO

4.1. ARRANJO GERAL DO PROJETO

O arranjo selecionado para a PCH Cianorte busca o aproveitamento máximo das quedas naturais existentes trecho de rio considerado.

O aproveitamento é caracterizado por ser de desvio, ou seja, capta água do rio em um determinado ponto, desviando uma parcela da vazão do seu curso natural por meio de estruturas adutoras para a geração de energia até restituir a água ao curso natural mais a jusante. Para o trecho atalhado é proposta a liberação permanente da vazão remanescente ambiental de 1,06 m³/s. O arranjo geral é mostrado nas Figuras 4.1 a 4.3.

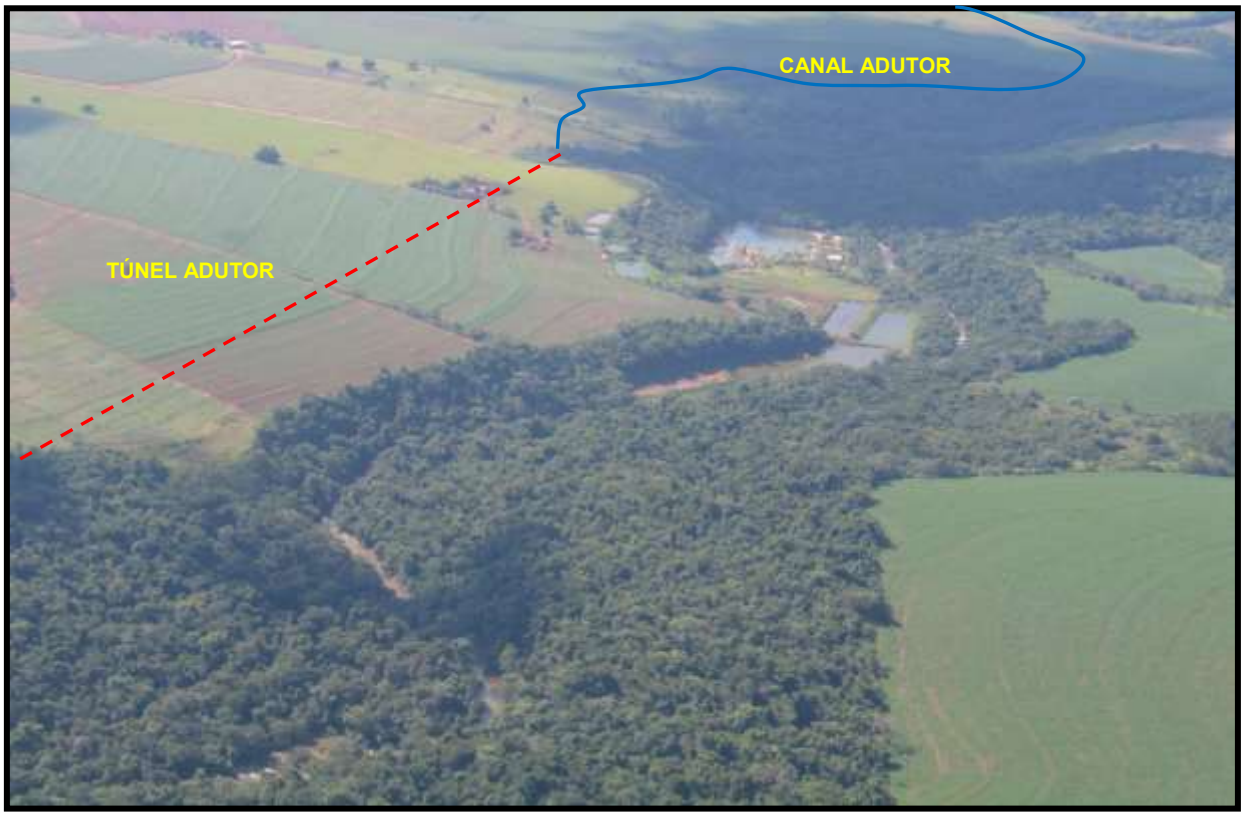


Figura 4.1 - Traçado do túnel e canal adutor evitando interferência com o recanto.

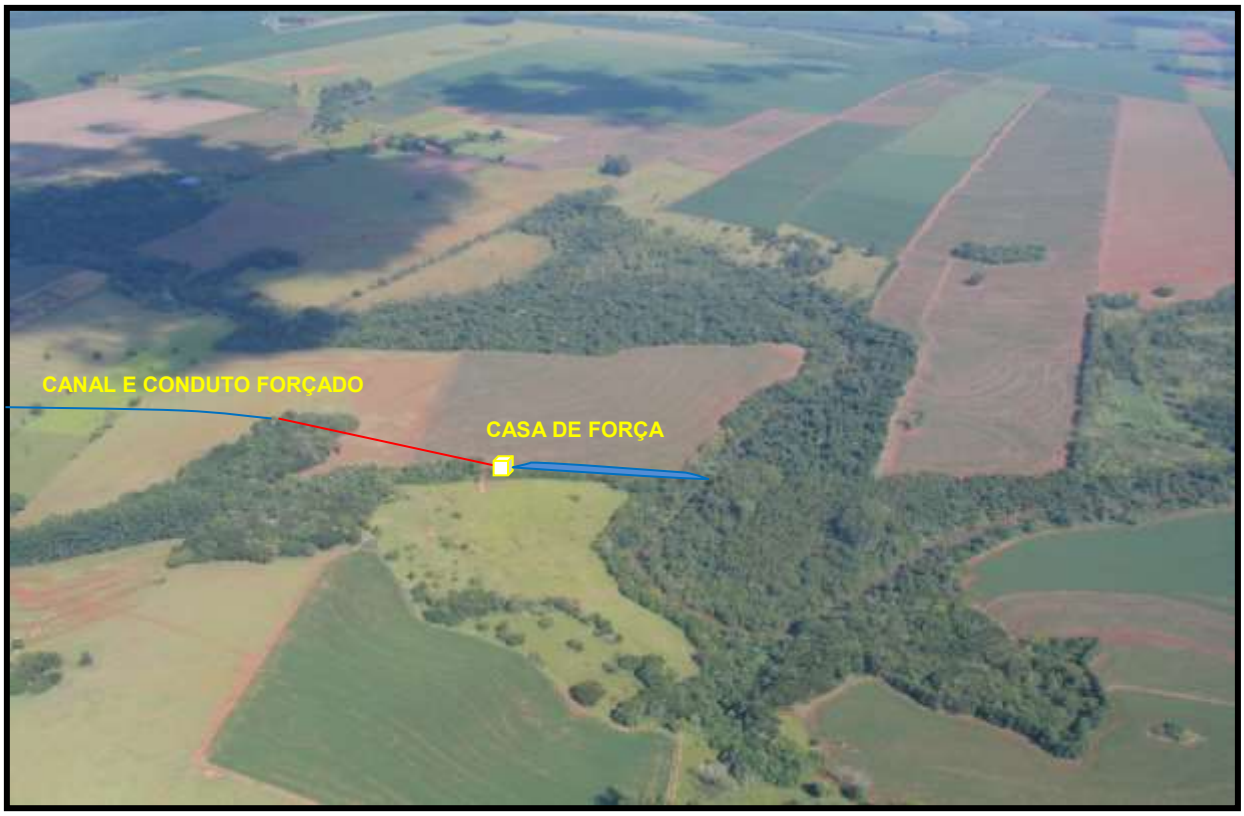


Figura 4.2 - Vista da região da casa de força da PCH Cianorte.



Figura 4.3 - Local logo a jusante da barragem comprova fundação em rocha sã – Basalto com diaclasamento colunar.

O circuito hidráulico da PCH Cianorte ocorre pela margem esquerda do rio Ligeiro, inicia-se em um canal de aproximação escavado em rocha com 105 m de comprimento até a tomada d'água posicionada no emboque do túnel. Esta estrutura é dotada de comporta para controlar o fluxo d'água aduzido e de grade grossa para evitar a entrada de galhos e troncos pelo circuito de adução.

O túnel adutor é despressurizado e escavado em rocha, apresenta 1.865 m de extensão e diâmetro de 5,0 m em seção arco-retângulo. Após o desemboque do túnel o circuito hidráulico prossegue em canal a céu aberto inicialmente escavado em rocha e posteriormente escavado em solo e revestido com geomembrana PEAD, evitando assim erosões decorrentes da passagem da água, percorrendo por 1.327 m.

Ao final do canal adutor há a câmara de carga, dotada de grade fina, limpa grades e comporta.

A partir desta estrutura a adução ocorre de forma pressurizada através de um ramal de conduto forçado de diâmetro 2,40 m por 230 m de comprimento até bifurcar, dos quais partem dois condutos independentes de diâmetro 1,70 m por 12 m de extensão até as unidades hidrogeradoras.

O circuito hidráulico finda na casa de força que será construída afastada da margem do rio Ligeiro, valendo-se de um canal de fuga com 170Nm de comprimento e a cota de restituição d'água (NAJ) está previsto na elevação 370,00.

O nível de água de jusante da PCH Cianorte ficou, portanto estabelecido na el. 370,00. Seu nível normal de montante foi definido na el. 416,00, configurando uma queda bruta de 46,0 m. Estes níveis respeitam integralmente as condições definidas no estudo de Inventário Hidrelétrico.

A potência instalada sugerida para este aproveitamento modelado é de 6,00 MW, com engolimento nominal de 15,7 m³/s, que possibilita uma geração média anual esperada de 3,12 MWmed ou 27.322 MWh/ano.

O critério de motorização adotado para este eixo, apoiado em uma análise de benefícios e custos incrementais, resultou em fator de capacidade 0,52 para a energia média, o que permite um bom aproveitamento do potencial,

resultando em engolimento nominal acima do valor da vazão média de longo termo de 9,8 m³/s neste eixo.

Foi considerado o desconto da vazão sanitária de 1,06 m³/s, correspondendo ao critério 50% $Q_{7,10}$.

A área alagada total resultou 12,77 ha, dos quais 6,22 ha referem-se a calha natural do rio, resultando em uma área efetivamente alagada de 6,55 ha. A faixa de 30 m da margem do alagamento reservada à área de preservação permanente foi calculada em 17,31 ha. O volume total represado atinge 0,185 x 10^6 m³. Como não há deplecionamento do reservatório o volume útil é nulo.

Quando da proposição deste arranjo sondaram-se algumas alternativas de traçado objetivando, em um só lance o aproveitamento integral das quedas disponíveis desde o ponto de barramento até o local previsto da casa de força.

A questão da liberação da vazão sanitária a jusante do barramento foi projetada para ser provida por orifícios junto aos pranchões stop-log das adufas de desvio, liberando esta vazão ao pé da barragem.

Tabela 6.1 - Liberação da vazão remanescente da PCH Cianorte.

Vazão remanescente	1,06 m^3/s
Número de orifícios (un.)	6
Cota do centro de pressão	413,47 m
Diâmetro do orifício	0,20 m
Área total do orifício	0,031 m^2
Coefiente de perda de carga na entrada	0,20

A seguir é apresentado um descritivo geral do projeto.

Processo ANEEL Estudo de Inventário Aprovado 48500.000657/2007-76
Empresa .....Rio Ligeiro Energia Ltda.
CNPJ 08.394.100/0001-51
Projeto .....PCH Cianorte
Processo ANEEL Projeto Básico 48500.006763/2011-11
Rio e quilômetro a partir da foz .....rio Ligeiro km 41,9
Município .....Cianorte - Margem esquerda
Município .....Jussara - Margem direita
Sub-bacia 64

Bacia 06
Estado .....Paraná
Área de drenagem .....546 km^2
Vazão média de longo termo Qmlt .....9,8 m^3/s
Vazão sanitária a ser permanentemente liberada (50% $Q_{7,10}$) .....1,06 m^3/s
Vazão Turbinada .....15,7 m^3/s
Nível de água máximo de montante NAMmáx (Tr10.000) 417,13
Nível de água normal de montante NAM 416,00
Nível de água mínimo de montante NAMmin 416,00
Depleção máxima do reservatório .....0,0 m
Volume útil associado .....0,000*10^6 m^3
Volume morto .....0,185*10^6 m^3
Volume total ..... 0,185*10^6 m^3
Área total alagada .....12,77 ha
Área da calha natural do rio .....5,22 ha
Área efetivamente alagada .....5,55 ha
Área de preservação permanente (APP faixa de 30 m) .....17,31 ha
Nível de água médio de montante (p/ cálculos energéticos) 416,00
Nível de água normal de jusante NAJ 370,00
Queda bruta média .....46,00 m
Perda de carga no circuito hidráulico ..... 2,33 m
Queda de projeto da turbina ou design head .....43,67 m
Potência instalada .....6,00 MW
Fator de capacidade p/ energia MLT 0,52
Energia média gerada .....3,12 MWmed
Energia média anual gerada ..... 27.322 MWmed/ano

4.2. DESVIO DO RIO

Adotou-se como período de recorrência para determinação e dimensionamento das estruturas e níveis relacionados ao desvio do rio um tempo de recorrência de10 anos.

As margens do rio Ligeiro a jusante da barragem não são habitadas e um eventual rompimento da ensecadeira de baixa altura não envolve risco de perdas de vidas humanas, sendo os prejuízos restritos a paralisação da obra propriamente dita.

O desvio do rio será executado em duas fases. Na primeira fase do desvio, uma ensecadeira será construída com cota da crista na el. 413,50 enlaçando

a margem esquerda e permitindo as escavações a seco do canal de desvio e construção das adufas. Nesta fase o rio continua correndo em seu leito natural, apenas com um desvio como mostra a Figura 4.4.

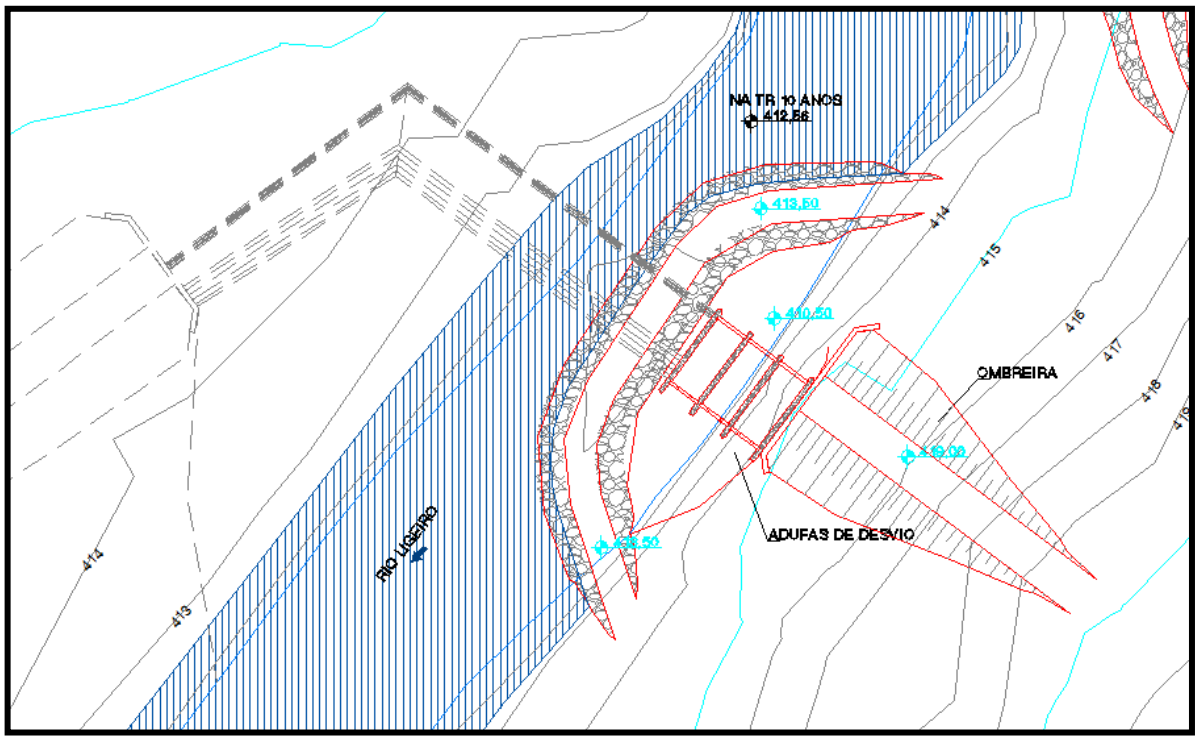


Figura 4.4 - Desvio do rio Ligeiro para construção da PCH Cianorte – primeira fase.

Na segunda fase do desvio todo o fluxo d'água do leito do rio Ligeiro é direcionado para as adufas de desvio.

Para isto será construída uma ensecadeira de montante e jusante, coroada na el. 415,00, fazendo o curso d'água passar pelas adufas de desvio, assim o leito do rio será ensecado permitindo a construção do restante da barragem a seco (Figura 4.5).

Para o fechamento da estrutura de desvio, as adufas serão construídas com nichos no concreto a fim de receber pranchões stop-log também fundidos em concreto. Desta forma se dará o enchimento do reservatório.

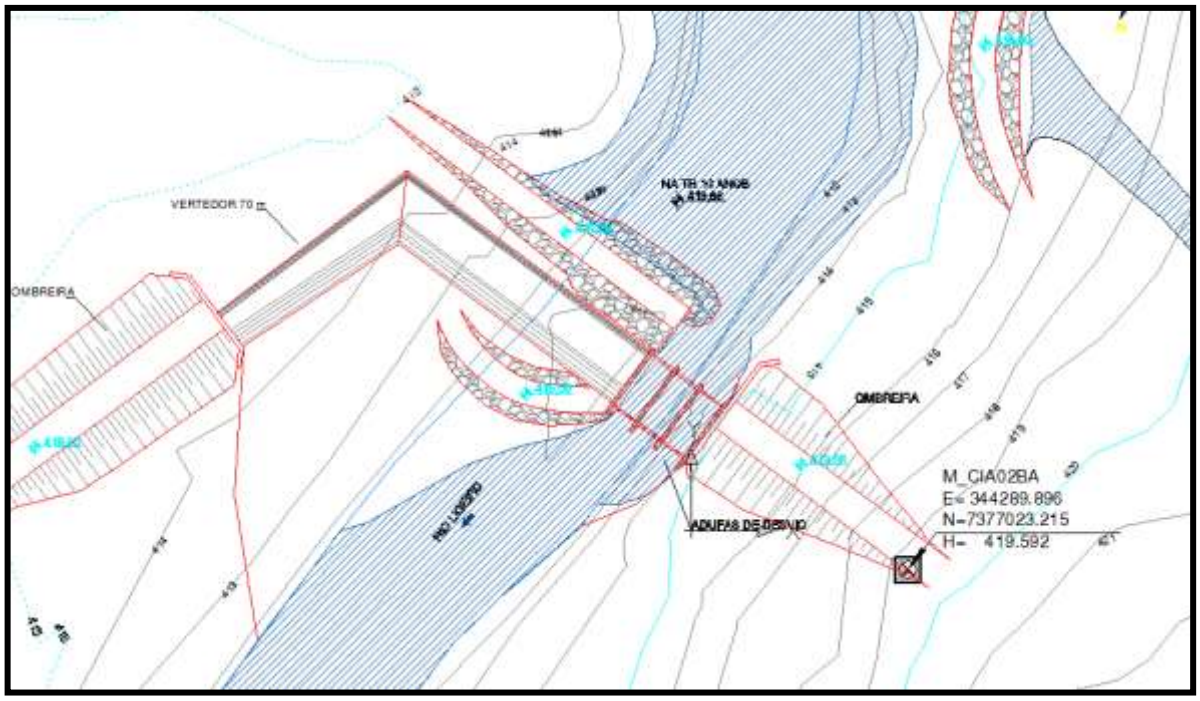


Figura 4.5 - Desvio do rio Ligeiro para construção da PCH Cianorte – segunda fase.

4.3. BARRAGEM

A barragem é formada por um corpo de aterro com núcleo de argila protegido por enrocamento coroada na elevação 419,00 localizada nas ombreiras do terreno. Em ambas as margens há muros de concreto que contém a barragem em aterro, no leito do rio há um vertedor com 70 m de soleira livre vertente.

Barragem .....Aterro
Tipo .....Enrocamento com núcleo em argila
Altura máxima .....5,0 m
Tipo de vertedor .....concreto / soleira vertente
Comprimento total da crista .....186,00 m

4.4. VERTEDOURO

O vertedouro fica posicionado no leito do rio e possui uma soleira de concreto com 70 m de comprimento. A seção da barragem é maciça em concreto tipo perfil creager, apresentando fundação direta no topo rochoso.

Comprimento total vertedouro .....70,00 m

Lâmina máxima sobre o vertedor Tr 10.000 anos .....1,13 m

Vazão máxima de cálculo do vertedouro (TR 10.000 anos) NA 417,13 ..... 178 m³/s

Capacidade última de vertimento NA 419,00 ..... 765 m³/s

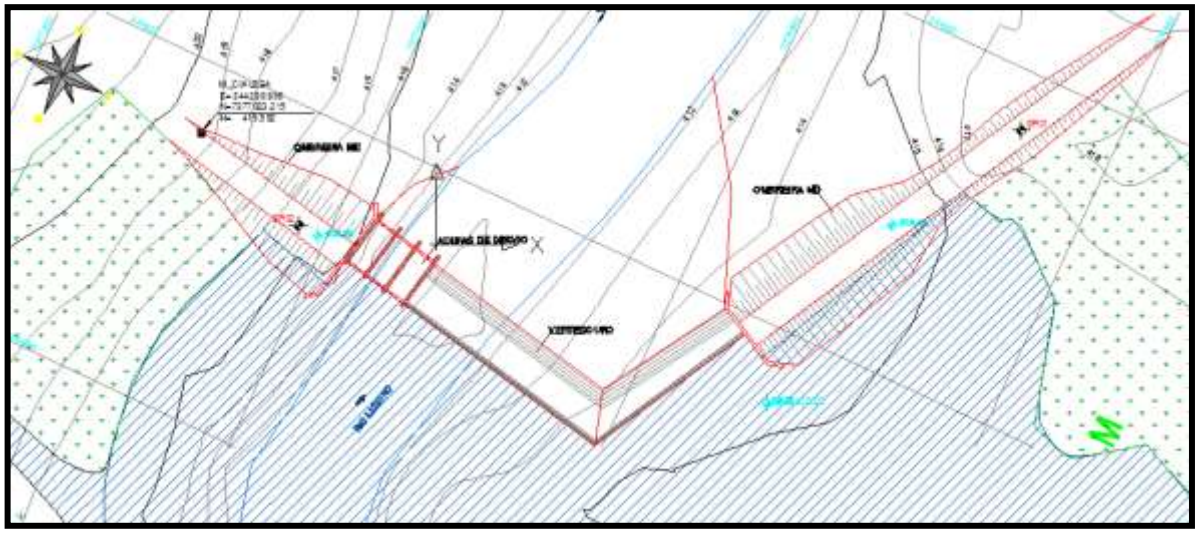


Figura 4.6 - Planta da barragem PCH Cianorte.

4.5. CIRCUITO HIDRÁULICO

O circuito hidráulico da PCH Cianorte é longo e foi projetado para condução da vazão de engolimento máximo de 15,67 m³/s com uma perda de carga total de 2,33 m na condição de operação à plena carga.. Em um breve descritivo consta das seguintes estruturas: a) Canal de aproximação; b) Tomada d'água; c) Túnel adutor; d) Canal adutor; e) Câmara de carga; f) Conduto forçado; g) Casa de força; h) Canal de fuga.

Há um canal de aproximação escavado em rocha que liga o reservatório até do emboque do túnel, onde há uma tomada d'água do tipo direta. Esta estrutura é dotada de uma comporta de 2,25 m de largura e 4,00 m de altura. A tomada possui cota de proteção na elevação 419,00.

O acionamento da comporta é hidráulico simples ação e através deste conjunto de dispositivo poderá ser controlado o fluxo d'água a ser aduzido assim como esvaziar o túnel, canal e a câmara de carga para eventuais manutenções.

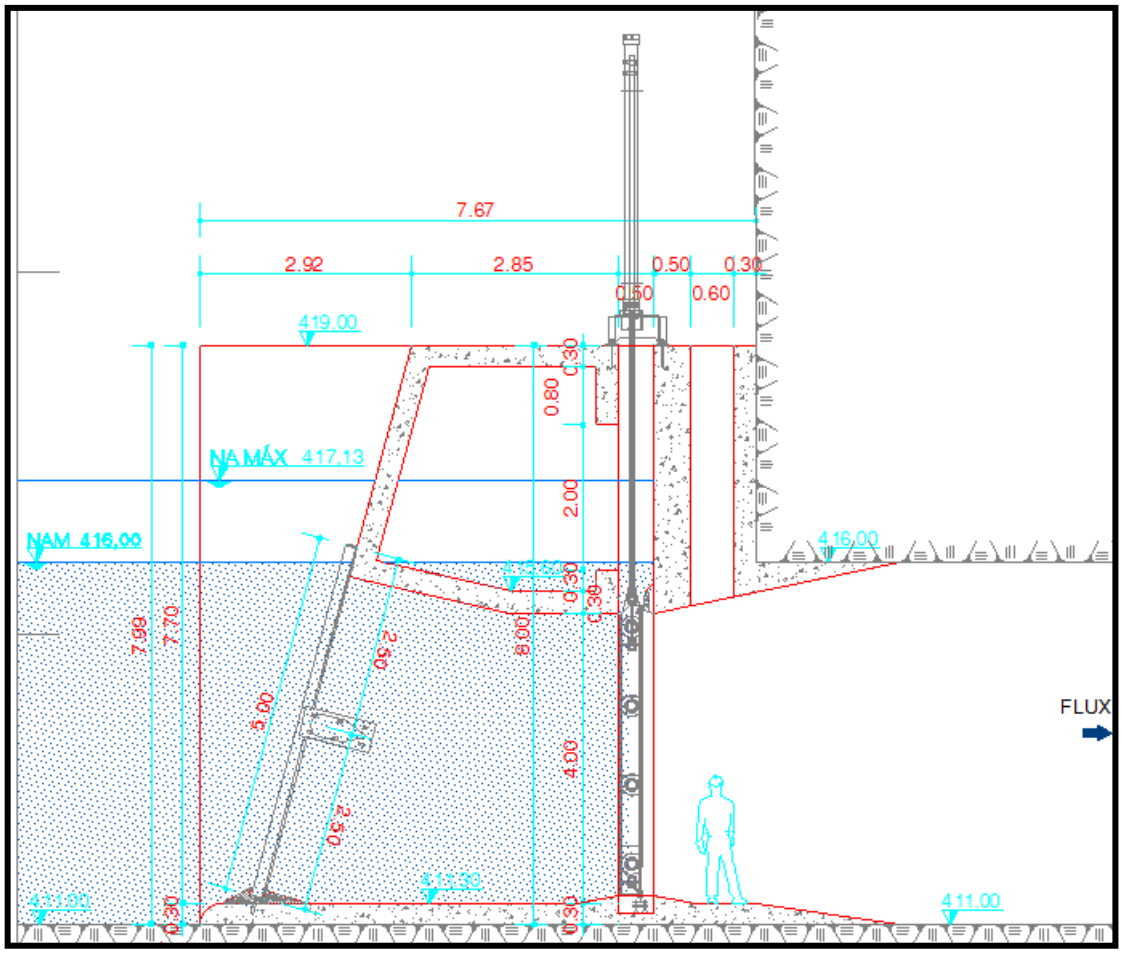


Figura 4.7 - Tomada d´água da PCH Cianorte.

Tomada de água .....Tipo direta com controle através de comporta
Outros dispositivos de proteção ....L*ogboom* com 20 flutuantes unidos por cabo de aço ancorados
Espaçamento entre flotantes .....1,5 m
Dimensão .....Bombonas de 200 L
Dispositivo de controle ..... Comporta metálica tipo vagão com rodas acionamento hidráulico.
Dimensões da comporta (B x H) .....2,25 x 4,00

Após a tomada d'água o circuito hidráulico prossegue em túnel adutor despressurizado escavado em rocha com diâmetro 5,0 m (Figura 4.8), seção arco-retângulo, e comprimento total de 1.865 m.

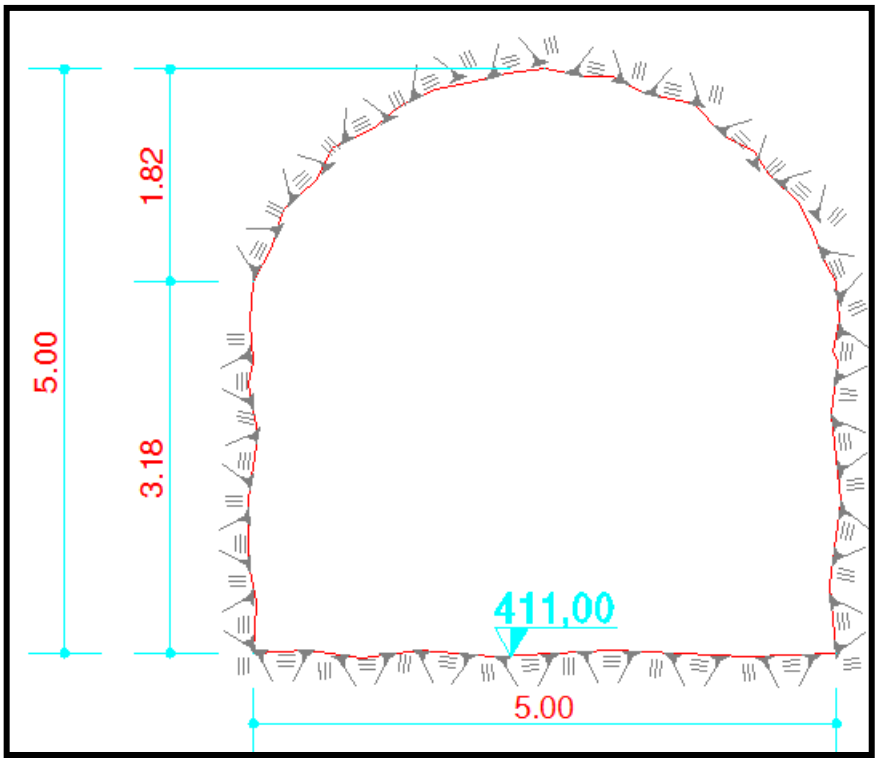


Figura 4.8 - Seção típica túnel adutor PCH Cianorte.

Após o desemboque do túnel, o circuito adutor segue a céu a aberto, inicialmente em uma seção escavada em rocha com largura de 5,0 m e lâmina d'água de 3,0 m (Figura 4.9).

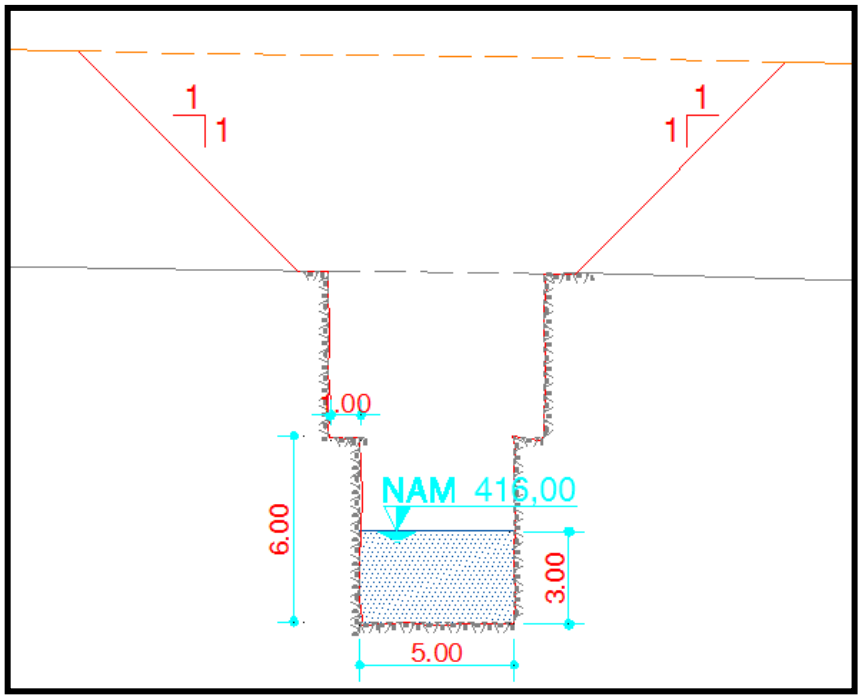


Figura 4.9 - Seção típica canal adutor no desemboque do túnel - PCH Cianorte.

Posteriormente o canal segue escavado em solo revestido com manta PEAD. A seção típica é trapezoidal de 5,0 m de largura da base por uma lâmina d'água de 3,0 m, os taludes internos do canal são previstos na razão 1H:1V (Figura 4.10).

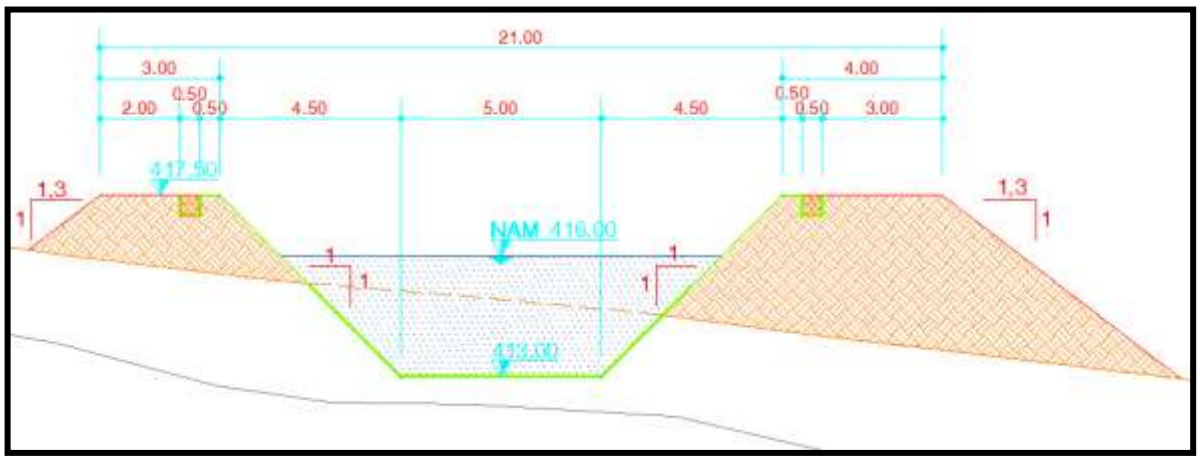


Figura 4.10 - Seção típica canal adutor escavado em solo - PCH Cianorte.

Ao todo serão 1.327 m de extensão de canal até a câmara de carga (Figura 4.11), estrutura esta dotada de grade fina onde é prevista a instalação de

equipamento limpa grades para impedir a entrada entulho que venha a comprometer a operação das unidades geradoras, bem como efetuar a remoção deste entulho.

Além disto, também é prevista uma comporta com acionamento hidráulico simples ação na dimensão 2,25 x 3,00 m. Esta estrutura controla o fluxo d'água do conduto forçado.

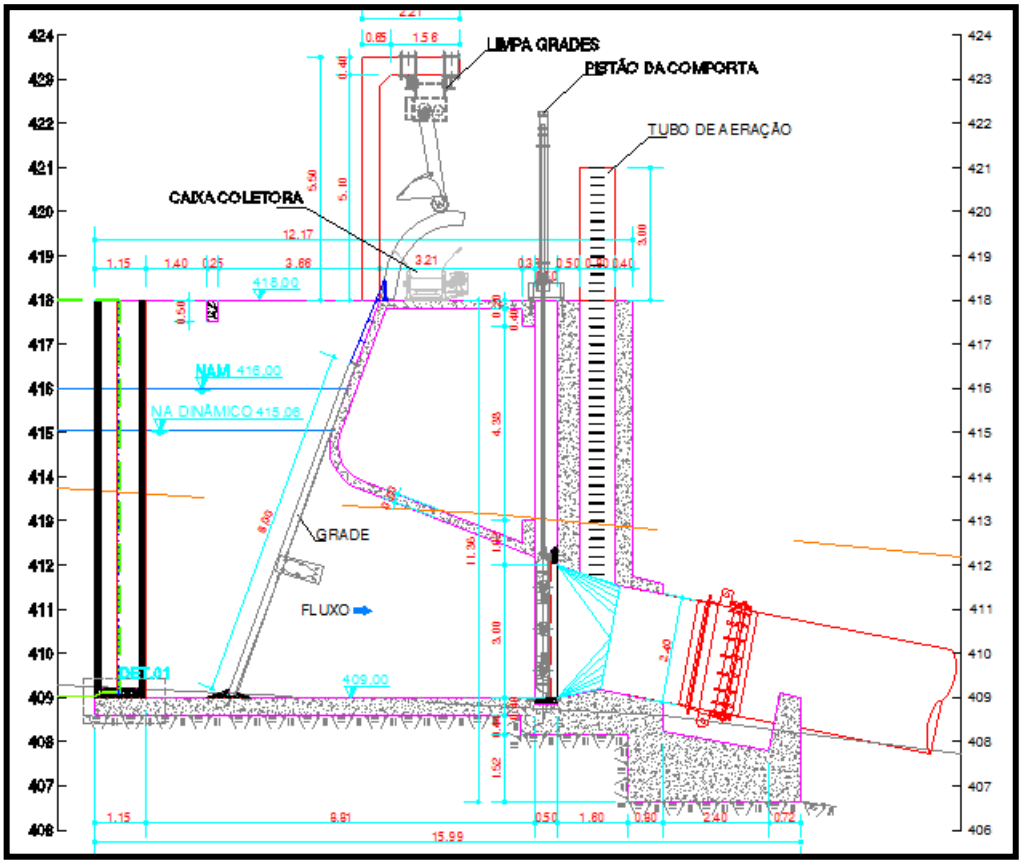


Figura 4.11 - Câmara de carga da PCH Cianorte.

Câmara de carga .....Controle através de comporta
Outros dispositivos de proteção ..... Grade fina e limpa grades
Dispositivo de controle .....Comporta metálica tipo vagão acionamento hidráulico
Dimensões da comporta (B x L) .....1 X (2,25 x 3,00 m)

Após a câmara de carga o fluxo d'água parte pressurizado através de um ramal único de conduto forçado em com 2,40 m de diâmetro e 230 m de comprimento cada. Nesta dimensão o fluxo d'água ocorre em velocidade de 3,19 m/s.

Este conduto foi devidamente dimensionado (Figura 4.12) em chapas de aço comercial, tipo Corten – COR-AR-COR 500, com tensão de escoamento elevada 3.450 kgf/cm². Próximo a casa de força há uma bifurcação na qual dois tubos independentes de diâmetro 1,70 m e 12 m de extensão partem até as turbinas.

CÁLCULO: ESPESSURA DA TUBULAÇÃO CONDUTO FORÇADO

CLIENTE: **Rio Ligeiro Energética LTDA**
PROJETO: PCH Cianorte
POTÊNCIA: 6 MW

Q= 15,34 * VAZÃOPOR UNIDADE DE TUBO - m³/s
d = 240 * DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO - cm
aço tipo = COS-AR-COR
e_s = 1,5 * SOBREESPESSURA DE CORROSÃO - mm
σ = 3450 * TENSÃO MÁXIMA ADMISSIVEL - kg/cm²
α = 1,4 * COEFICIENTE DE SEGURANÇA A TRAÇÃO
ε = 0,8 * EFICIÊNCIA DE SOLDA
v= 3,50 * VELOCIDADE - m/s
S = 40% * SOBREPRESSÃO OU GOLPE DE ARIETE % QUEDA BRUTA

$H = [(e - e_s)* 2* \sigma f * kf] / d$

e=	e=	H	H***	VÃO	PESO	COMP.	PESO
(mm)	(pol)	(m)	(m)	(m)	(kg/m)	(m)	(kg)
7,84	**5/16**	**104,16**	**74,40**	**13,95**	**469,28**	**230**	**107934**
*** CARGA EM RELAÇÃO AO DIAGRAMA ESTÁTICO							107934
CÁLCULO DA ESPESSURA MÍNIMA					COMP.TOTAL (m) =	230	1079340,65
$e_{min.}$= 7,27 mm - válido para aço ASTM					**PESO TOTAL (kg) =**	**107.934**	
eadot.= 7,84 mm							

Figura 4.12 - Dimensionamento do conduto forçado PCH Cianorte.

CÁLCULO: ESPESSURA DA TUBULAÇÃO CONDUTO FORÇADO

CLIENTE: **Rio Ligeiro Energética LTDA**
PROJETO: PCH Cianorte
POTÊNCIA: 6 MW

Q= 7,67 * VAZÃOPOR UNIDADE DE TUBO - m³/s
d = 170 * DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO - cm
aço tipo = COS-AR-COR
e_s = 1,5 * SOBREESPESSURA DE CORROSÃO - mm
σ = 3450 * TENSÃO MÁXIMA ADMISSIVEL - kg/cm^2
α = 1,4 * COEFICIENTE DE SEGURANÇA A TRAÇÃO
ε = 0,8 * EFICIÊNCIA DE SOLDA
v= 3,38 * VELOCIDADE - m/s
S = 40% * SOBREPRESSÃO OU GOLPE DE ARIETE % QUEDA BRUTA

$H = [(e - e_s)* 2* \sigma f * kf] / d$

e=	e=	H	H***	VÃO	PESO	COMP.	PESO
(mm)	(pol)	(m)	(m)	(m)	(kg/m)	(m)	(kg)
7,84	**5/16**	**147,05**	**105,03**	**13,69**	**332,41**	24	7978
*** CARGA EM RELAÇÃO AO DIAGRAMA ESTÁTICO							7978
CÁLCULO DA ESPESSURA MÍNIMA					COMP.TOTAL (m) =	24	79777,3525
$e_{min.}$= 5,52 mm - válido para aço ASTM					**PESO TOTAL (kg) =**	**7.978**	
eadot.= 7,84 mm							

Figura 4.13 - Dimensionamento do conduto forçado bifurcado PCH Cianorte.

4.6. CASA DE FORÇA E CANAL DE FUGA

A casa de força (Figuras 4.14 e 4.15) será posicionada na margem esquerda do rio Ligeiro e foi dimensionada para abrigar duas unidades hidrogeradoras do tipo Francis Simples eixo horizontal. A casa de força, incluído o páteo de montagem e a sala de comando remontam uma área total edificada de 250 m².

Para assegurar a estanqueidade operacional das máquinas, foi previsto a cota de proteção do casco em concreto armado posicionado na el. 375,00 conforme curva chave calculada para o evento decamilenar.

Na saída de sucção das máquinas não é prevista comporta devido a turbina ser projetada para operar com altura de sucção positiva de 1,40 m e neste caso sua manutenção seria possível simplesmente abrindo as tampas da máquina e colocando flanges provisórios no tubo de sucção.

O canal de fuga é escavado em rocha em tem 170 m de comprimento nas dimensões 10 m de largura por 2,0 m de lâmina d'água.

A superestrutura é metálica, e é prevista uma ponte rolante servindo a área de montagem e o piso de operação. Lateralmente a jusante é posicionada a sala de comando.

O fechamento da casa de força é previsto em alvenaria de tijolos a vista e a cobertura através de telhas metálicas.

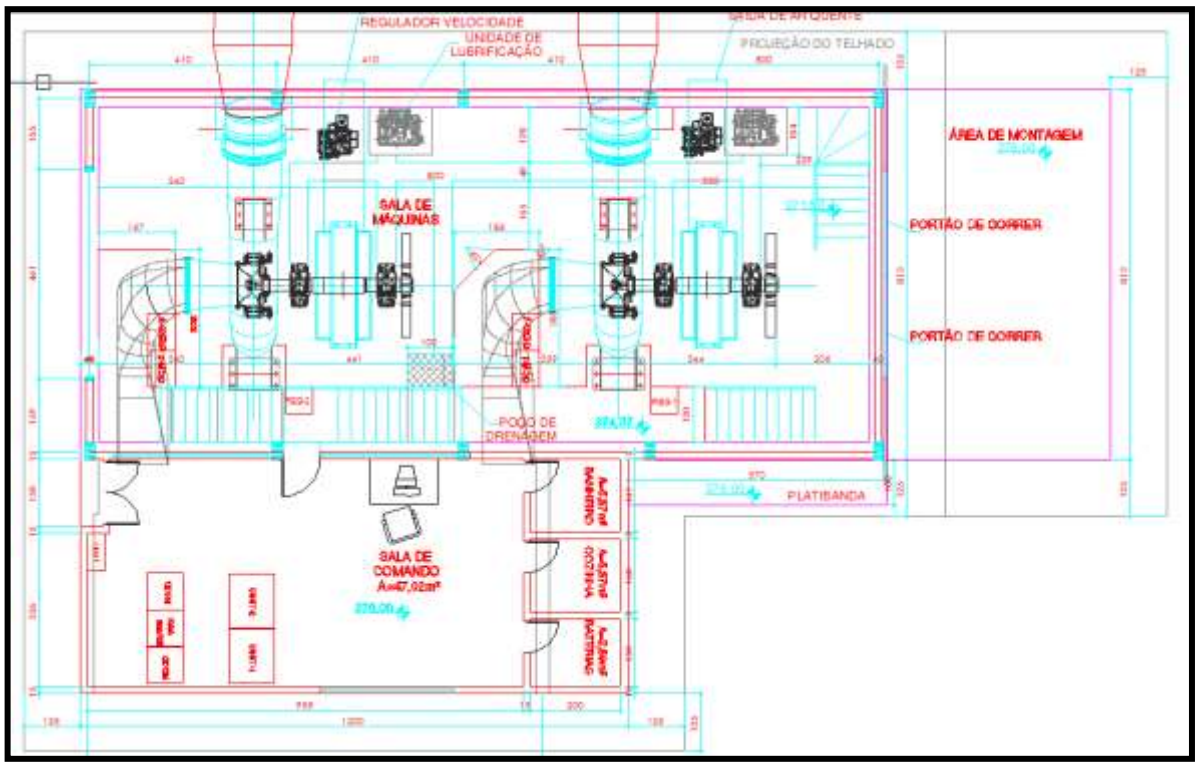


Figura 4.14 - Vista em planta da casa de força.

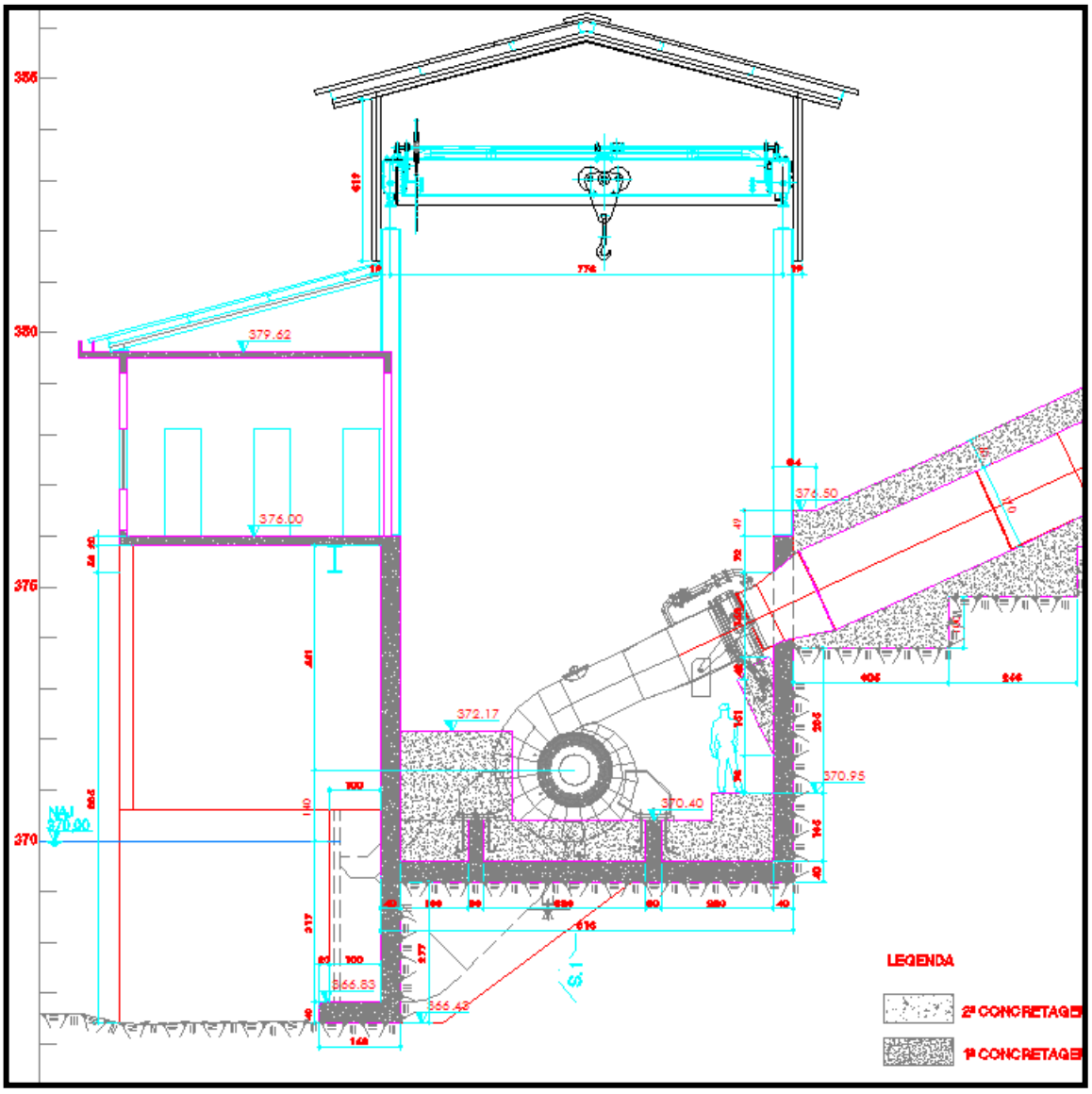


Figura 4.15 - Corte transversal da casa de força pela turbina.

4.7. TURBINAS E GERADORES

Para a elaboração de um projeto fundamentado em subsídios concretos da ótica das soluções hidráulicas possíveis, fez-se de fundamental importância a orientação de um engenheiro mecânico habilitado e experiente no ramo de projeto e fornecimento de equipamentos mecânicos para centrais hidrelétricas.

Ressalta-se que para faixa de queda do aproveitamento em questão, de 43,67 m de queda líquida e engolimento total da ordem de 15,67 m³/s a solução mais adequada foi adotar a turbinas tipo Francis Simples.

O conjunto turbina-gerador foi definido com sendo distribuído em duas unidades e de eixo horizontal e arranjo com gerador síncrono trifásico.

4.7.1. Especificações técnica das turbinas

Número de unidades .....02 unidades
Tipo .....Francis simples
Posição do eixo .....Horizontal
Diâmetro do rotor .....990 mm
Potência unitária .....3.109 kW
Queda líquida nominal das turbinas ou Design Head .....43,67 m
Rotação síncrona .....600 rpm
Rotação de disparo .....1.080 rpm
Regulador de velocidade .....Eletrônico acionamento hidráulico
Altura de sucção (Hs) .....1,40 m
Rendimento máximo 92,60%

Descrição Geral: No presente projeto estamos considerando o fornecimento de turbinas Francis espiral, rotor simples, de eixo horizontal e 600 rpm. O rotor da turbina será fixado na ponta de eixo do gerador, sendo que os esforços axial e radial serão absorvidos pelo mancal guia/escora do gerador.

Rotor: O rotor será projetado e fabricado para suportar todas as tensões resultantes da operação normal da unidade e do funcionamento da velocidade de disparo mais crítica. Os rotores serão do tipo Francis Simples (Figura 4.16), em aço inoxidável ASTM A 743 Gr. CA 6 NM, com pás perfiladas e entregues devidamente usinados em fresadora CNC nas medidas requeridas pelo projeto.

A fabricação do rotor será do tipo mecanossoldado sendo as pás, cubo e anel externo fundidos e usinados separadamente, após o processo de solda o rotor sofrer tratamento térmico para alívio das tensões. O cubo de cada rotor possuirá furos roscados, para fixação ao flange do eixo através de parafusos do tipo prisioneiro e furos com roscas para as hastes do dispositivo "saca rotor". O rotor será balanceado dinamicamente.



Figura 4.16 - Rotor Francis simples.

Tampas: A turbina possuirá 02 (duas) tampas laterais, as mesmas serão fabricadas de aço carbono ASTM A 36. Ambas as tampas serão projetadas para suportar seguramente a máxima pressão da água e todas as forças que agem sobre elas, mantendo as tensões dentro dos limites especificados. Será analisada ainda a deflexão máxima da tampa sob pressão nominal para garantir as folgas especificadas do entreferro palhetas/tampas e rotor/tampas. As tampas serão parafusadas ao pré-distribuidor e internamente possuirão revestimentos de aço inoxidável ASTM A 240 tipo 304 ou similar, substituíveis.

Aros de desgaste: As tampas possuirão aros de desgastes estacionários na região do entreferro com o rotor. Estes aros serão confeccionados em aço inoxidável ASTM A 240 tipo 304 ou similar, sendo substituíveis.

Distribuidor: Constando das seguintes partes:

Pás diretrizes: As pás diretrizes (Figura 4.17) serão de aço inoxidável tipo ASTM A 743 Gr. CA 6 NM ou similar, formando uma peça inteiriça com os munhões. O número de pás diretrizes será coordenado com o número de pás dos rotores, para evitar ressonâncias e vibrações periódicas. Os eixos das pás diretrizes possuirão vedações de neoprene e anéis compressores. Na maior parte do curso de abertura das palhetas, a partir do ponto de abertura próximo ao ponto de marcha em

vazio, as palhetas terão uma tendência hidráulica à fechar. O perfil das pás diretrizes será totalmente usinado, sendo feito um ajuste final durante a pré-montagem de fábrica, para garantir a vedação entre as mesmas.



Figura 4.17 - Pás diretrizes de regulação da máquina.

Mancais das pás diretrizes: Os mancais serão de ferro fundido cinzento ASTM A 48 Cl. 35 fixados nas tampas da turbina por parafusos. Os mancais terão buchas autolubrificantes do tipo DEVA BM ou similar.

Mecanismo de regulação: O mecanismo de regulação será composto de alavancas fixadas nos eixos das pás diretrizes fornecidas em aço fundido ASTM A 27 65-35 ou similar composto ainda de bielas fabricadas de chapa de aço ASTM A 36 que formarão a ligação entre as alavancas e o anel de regulação. Cada alavanca é fixada sobre o respectivo munhão da palheta diretriz por atrito de aperto e pino de esmagamento que também constitui o elemento posicionador das palhetas em relação ao anel de regulação. Na eventualidade de entrada de um corpo estranho no distribuidor a alavanca de regulagem desliza sobre o munhão da palheta.

Além disso, será previsto um limitador de movimento para prevenir o contato de uma pá com pás vizinhas, em caso de deslizamento do sistema de regulagem. Cada pá será ser equipada com um contato de fim de curso para a sinalização de deslocamento do eixo da pá. Em todos os pontos de articulação das alavancas, bielas e no aro de regulação serão instalados pinos de aço inoxidável AISI 304 e buchas autolubrificante, do tipo DEVA BM ou similar.



Figura 4.18 - Mecanismo de acionamento da regulação.

Anel de regulagem: No lado de acionamento do distribuidor, será instalado o anel de regulagem da turbina, confeccionado de chapas ASTM A 36 ou similar, projetado de maneira a receber o acionamento hidráulico do cilindro. O anel será mecanossoldado e sofrerá tratamento térmico para o alívio de tensões antes de iniciar o processo de usinagem do mesmo. O anel de regulagem será suportado por frisos de polímero autolubrificante, do tipo Vesconite ou similar, fixados na respectiva tampa, permitindo o movimento do mesmo. Na região de deslizamento, o anel de regulagem será revestido de inoxidável AISI 304 pelo processo de deposição por solda. Na periferia do anel, haverá olhais revestidos de buchas de bronze autolubrificante, do tipo DEVA BM ou equivalente para ligação com as bielas de regulação. Em um dos servomotores deverá ser fornecido uma escala graduada de 0 a 100%, marcada em intervalos de 10%, para a indicação da abertura distribuidor. A escala deverá ser confeccionada em aço inoxidável e as inscrições deverão ser estampadas.

Caixa de vedação: A concepção da vedação do eixo é baseada nos critérios dos fabricantes de gaxetas, quanto à velocidade linear, temperatura e pressão. O resfriamento/lubrificação da gaxeta se fará com dupla filtragem da água (filtro automático).

Pré-distribuidor e caixa espiral: O pré-distribuidor será feito de construção mecanossoldada em aço ASTM A 36. As partes laterais do pré-distribuidor possuirão flanges usinados para a fixação das tampas da turbina. Todas as palhetas fixas do pré-distribuidor serão usinadas tanto em seu perfil como nas faces laterais para a formação do chanfro necessário a soldagem destas contra os flanges. Após a soldagem e antes da montagem das virolas da caixa espiral o pré-distribuidor será submetido a tratamento térmico para o alívio de tensões. As virolas da caixa espiral serão construídas em aço carbono ASTM A-36, ou similar de acordo com a forma geométrica do contorno hidráulico e sua espessura será definida conforme norma ASME – Seção VIII– Divisão I. As soldas do pré-distribuidor serão 100% ultrassonadas. Entre as virolas da caixa espiral nas soldas de duplo V (raiz Interna) de topo com penetração total serão 100% ultrassonadas, nas soldas de simples V será feito apenas ensaio de liquido penetrante na raiz.

A entrada da caixa espiral será provida caso as suas dimensões o permitam de uma boca de visita, com diâmetro mínimo de 500 mm, conforme norma AWWA C 200. Serão previstos olhais de suspensão e tomadas para manômetro e sensor de pressão. Numa seção de entrada, serão colocadas 4 (quatro) tomadas de pressão, em aço inoxidável, para medição de pressão e de vazão pelo método "Winter-Kennedy", em conformidade com o código IEC 41. O manômetro correspondente será montado em local adequado, permitindo acesso e leitura fácil e terá escala adequada para as medições. Toda a tubulação das tomadas de pressão, quando embutida, será coberta para evitar a sua aderência ao concreto. Após a montagem e a soldagem completa da caixa espiral será realizado o ensaio hidrostático.



Figura 4.19 - Caixa espiral na fábrica em fase final de montagem (ilustração).

Tubos e curvas de sucção: O subconjunto do tubo de sucção e curva de sucção será fabricado em aço carbono ASTM A 36 ou similar e é composto de uma curva de sucção, projetado para redirecionar eficientemente a água à jusante do rotor.

Volante de inércia: O GD² faltante o conjunto turbina e gerador será compensado com um volante de inércia de fornecimento do fabricante do gerador conforme ficha de interface fornecida por este projeto.

Filtro: Deverá ser fornecido um filtro autolimpante do tipo Duplex, para a água de resfriamento de vedação do eixo e sua instalação está incluída no fornecimento da turbina. Serão fornecidos tubulações, válvulas, acessórios e filtro autolimpante, com capacidade e malha adequada, para duas unidades, para

filtragem adicional da água de lubrificação e resfriamento da vedação. Serão fornecidas válvulas de bloqueio, de operação manual, com travas e tubulações de aço carbono. Será fornecida toda a tubulação entre filtro da unidade, bem como para a interligação entre as duas unidades, instrumentação de controle e sinalização, para as vedações do eixo e para os filtros.

Dispositivo de sobrevelocidade mecânico: Recomenda-se a inclusão no fornecimento de um dispositivo de sobrevelocidade mecânico, composto de um pêndulo mecânico a ser montado no eixo do gerador. O conjunto é composto por uma carcaça externa na qual estão montados o pêndulo que é do tipo contrapeso e uma mola helicoidal que exerce uma força contrária a expansão do contrapeso. Ao ser atingida a sobre-rotação ajustada o contrapeso acionará um gatilho que por sua vez aciona um fim de curso fechando um contato que será utilizado pelo sistema de controle e comando para dar sequência a parada por emergência mecânica. No dispositivo de sobrevelocidade mecânico será acoplado um sensor de rotação (encoder) que fornecerá sinal para controle e monitoramento da rotação do eixo da turbina.

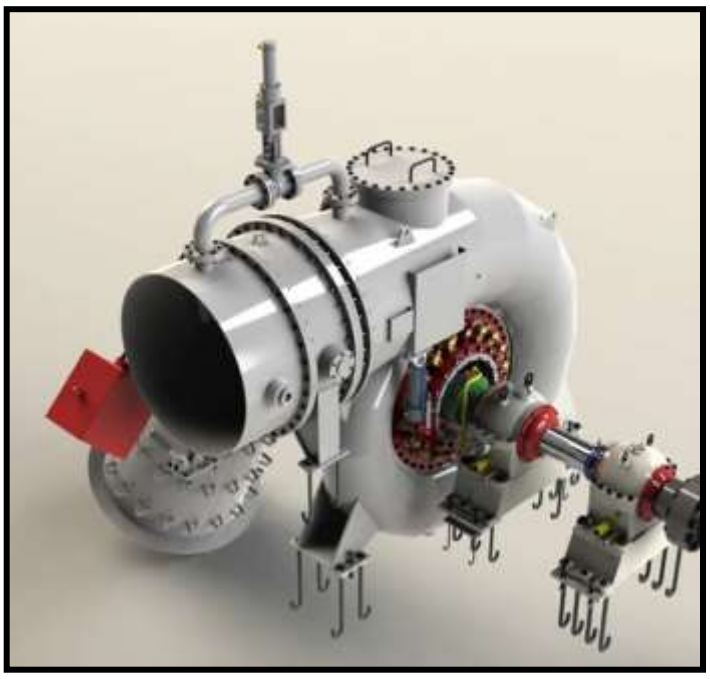


Figura 4.20 - Imagem ilustrativa da turbina.

4.7.2. Especificações técnicas do gerador

Serão utilizados dois geradores síncronos (Figura 4.21) trifásicos de eixo horizontal, com as seguintes características unitárias:

Número de unidades .....02 unidades
Tipo de gerador .....Síncrono trifásico
Potência unitária .....3.333 kVA
Tensão nominal .....4,16 kV
Frequência .....60 Hz
Fator de potência 0,9
Número de Fases 3
Tipo de excitação .....Brushless
Grau de proteção IP20
Número de pólos 12
Rotação .....600 rpm
Sistema de refrigeração .....Ventilação forçada
Rendimento máximo 96,50%

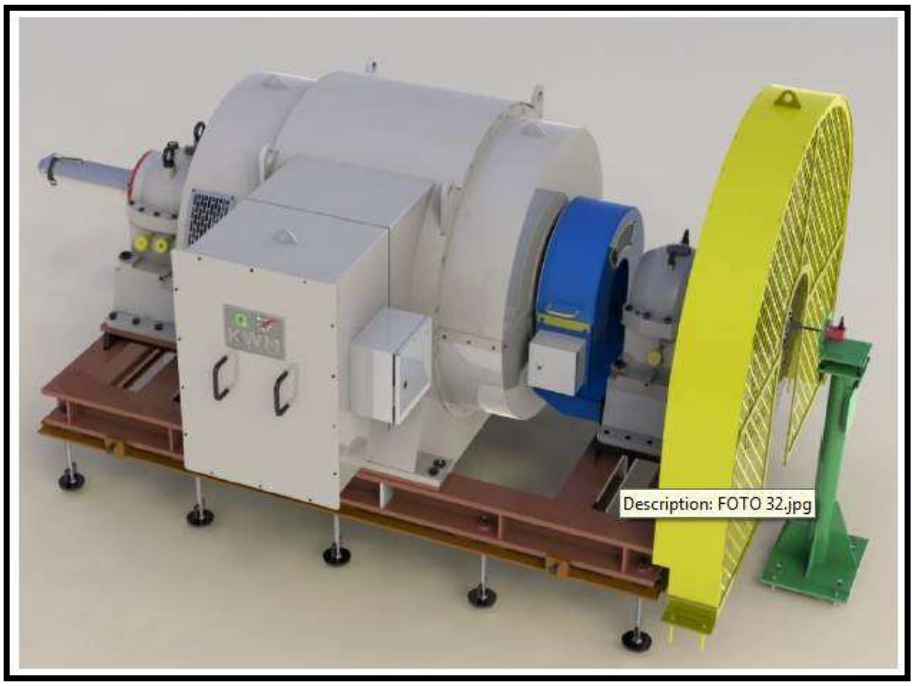


Figura 4.21 - Imagem ilustrativa do gerador.

4.7.2.1. Eixo da unidade geradora

O eixo do gerador será uma peça única de aço forjado ASTM A-668 classe D, tratado termicamente e usinado em toda a sua superfície, dimensionado para suportar todos os pesos e cargas do grupo turbina-gerador.

As dimensões e tolerâncias do eixo estarão de acordo com a norma ANSI / IEEE 810 - 1987 "Standard for Hydraulic Turbine and Generator Integrally Forged Shaft Couplings and Shaft Runout Tolerances".

O eixo irá transmitir o torque com segurança, e resistir, sem exceder as tensões e vibrações de projeto, a: Todas as condições transitórias previstas; Sobrecarga máxima; Torque máximo que aparece com as palhetas do distribuidor totalmente abertas e o rotor do gerador bloqueado.

No eixo, integralmente forjadas com ele, haverão pistas para os mancais de guia as quais irá ter acabamento retificado e polido.

As velocidades críticas das partes girantes combinadas da turbina e do gerador irão ser calculadas pelos fabricantes da turbina e do gerador assim que os detalhes de projeto estiverem estabelecidos.

Será fornecido, para instalação no eixo, o instrumento denominado por transdutor de rotação. Este detector terá como função captar sinal de velocidade (encoder).

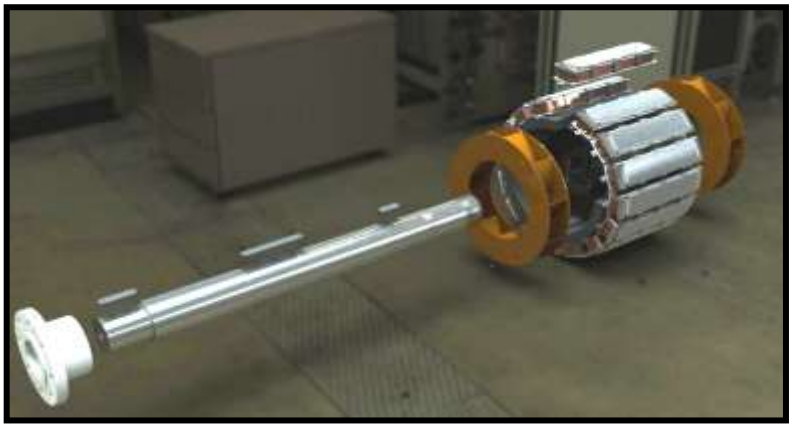


Figura 4.22 - Imagem em explosão da linha de eixo e rotor.

4.7.2.2. Mancais

Os mancais de guia (Figura 4.23) serão do tipo casquilho bipartido, projetados para lubrificação com uso de bombas externas e para trabalhar em banho de óleo. Serão projetados de forma a permitir fácil acesso às vedações do eixo. Suas partes removíveis serão partidas e flangeadas, para permitir a fácil desmontagem para manutenção.

Os mancais serão dimensionados para suportar todos os esforços do eixo, sob todas as condições de operação e em qualquer velocidade (inclusive as de disparo), sob os mais severos transitórios hidráulicos e elétricos (inclusive curto-circuito), sem excessiva elevação de temperatura e sem danos para os casquilhos. Terão rigidez e área de contato apropriado para distribuir, de forma correta, os esforços radiais atuantes nos mesmos.



Figura 4.23 - Mancal de guia externo.

Os berços dos mancais serão fabricados em aço ASTM A36 ou similar, com câmaras de lubrificação permanente, câmaras para retenção de vazamentos externos de óleo e labirintos fixados nas laterais.

As cubas dos mancais serão fabricadas em chapas de aço de construção pesada a fim de suportar os mancais e transmitir os esforços aos berços.

A quantidade de mancais, bem como sua disposição será definida entre os fornecedores de turbina e gerador. A lubrificação deve ser hidrodinâmica a óleo.

Os mancais terão acesso pela parte superior e a carcaça e os componentes internos serão bi-partidos, de modo a facilitar inspeção e manutenção dos componentes.



Figura 4.24 - Vista do mancal de guia.

4.7.2.3. Sistemas de ventilação

O ar quente será impulsionado para fora do invólucro do gerador, pela sua parte inferior, e será conduzido por meio de dutos para fora da Casa de Força e descarregado em elevação acima do nível máximo da água de jusante. Os ventiladores serão dimensionados para conduzir o ar até sua saída.

4.8. SISTEMAS ELETROMECÂNICOS

O gerador será ligado a um conjunto de equipamentos de manobra contendo o disjuntor principal da unidade e os barramentos para conexão em paralelo com a rede. A classe de tensão dos equipamentos será compatível com a tensão nominal dos geradores e coordenada com a proteção contra surto dos geradores.

O painel é do tipo auto-suportável, para uso abrigado, com grau de proteção IP-54, classe de tensão 4,16kV. Será subdivido internamente em painéis, cada qual com uma porta de acesso frontal, 01 disjuntor termomagnético unipolar, 01 lâmpada acionada por interruptor fim de curso.

Estão previstas as medições em cada unidade geradora e na alta tensão da subestação elevadora. Serão tomadas medidas instantâneas de corrente (A),

tensão (V), potência ativa (W), potência reativa (VAr), potência aparente (VA), fator de potência (cos Φ), e freqüência (Hz) dos geradores. Na saída do transformador elevador em alta tensão, estão previstas as medições instantâneas de corrente (A), tensão (V), potência ativa (W), potência reativa (VAr), potência aparente (VA), energia ativa (Wh) e energia reativa (VArh) em alta tensão. Na saída geral de alta tensão, estará localizado o disjuntor geral de proteção em alta tensão, uma chave seccionadora de abertura do circuito de alta tensão.

4.9. SUBESTAÇÃO

Os cabos em tensão de 4,16 kV derivados do gerador chegarão à subestação através de canaletas no piso, chegando a uma caixa de passagem na base do transformador elevador, onde serão conectados nas buchas flangeadas de baixa do transformador. Após o transformador será instalado o disjuntor de 34,5 kV, podendo este ser isolado através de chaves seccionadoras. Após o conjunto de seccionadoras, serão instalados Transformadores de Corrente (TC's) e Transformadores de Potencial (TP's), além de pára-raios para proteção da saída da linha de transmissão. Também serão instalados quatro pára-raios tipo Franklin sobre a estrutura da SE e Casa de Máquinas, aumentando ainda mais a proteção quanto a descargas atmosféricas.

Número de transformadores elevadores 01
Potência total .....6,7 MVA ONAM/ONAF
Tensão inferior ..... 4,16 kV ligado em triângulo
Tensão superior .....34,5 kV ± 2*2,5% kV ligado em estrela c/ neutro aterrado
Montagem .....Externa

4.10. TRANSFORMADOR ELEVADOR

No projeto da SE elevadora, considerou-se apenas um transformador elevador, opção esta que se mostrou como o melhor custo-benefício para o aproveitamento em questão.

A adoção de apenas um transformador elevador não fragiliza a usina uma vez é possível evitar sua falha através de um bom plano de manutenção preditiva o

qual deve incluir o acompanhamento do estado do óleo eletro-isolante, a troca periódica da sílica-gel, análise termográfica e inspeções visuais.

Através destes procedimentos consegue-se minimizar os efeitos de envelhecimento do transformador e aumentar sua vida útil.

Um estoque permanente com as peças sobressalentes mais suscetíveis a falhas, como buchas de altas e baixas tensões, terminais, sensores, entre outros será mantido na usina de modo que uma falha possa ser prontamente corrigida em campo, sem a necessidade de envio do transformador para manutenção na fábrica.

Seguem abaixo as características básicas do transformador elevador:

Quantidade 01
Tipo .....Trifásico imerso em óleo
Potência .....6,7 MVA ONAN/ONAF
Baixa tensão .....4,16 kV ligado em triângulo
Alta tensão .....34,5 kV ± 2 x 2,5% kV ligado em estrela aterrada
Frequência .....60 Hz
Buchas de AT .....Na tampa
Buchas de BT .....Flangeadas
Isolante .....Óleo mineral
Terminais de aterramento .....Conector duplo para cabo nu de cobre de 25 a 120 mm²

4.11. LINHA DE TRANSMISSÃO

A linha de transmissão será construída em tensão 34,5 kV e com postes padrão em concreto. Seu comprimento previsto é de 9,5 km de extensão.

Junto a SE Cianorte é prevista a construção de um bay de conexão e a instalação de um transformador elevador 34,5/138 kV para a conexão prevista no mesmo nível de tensão proposto pela COPEL (138 kV).

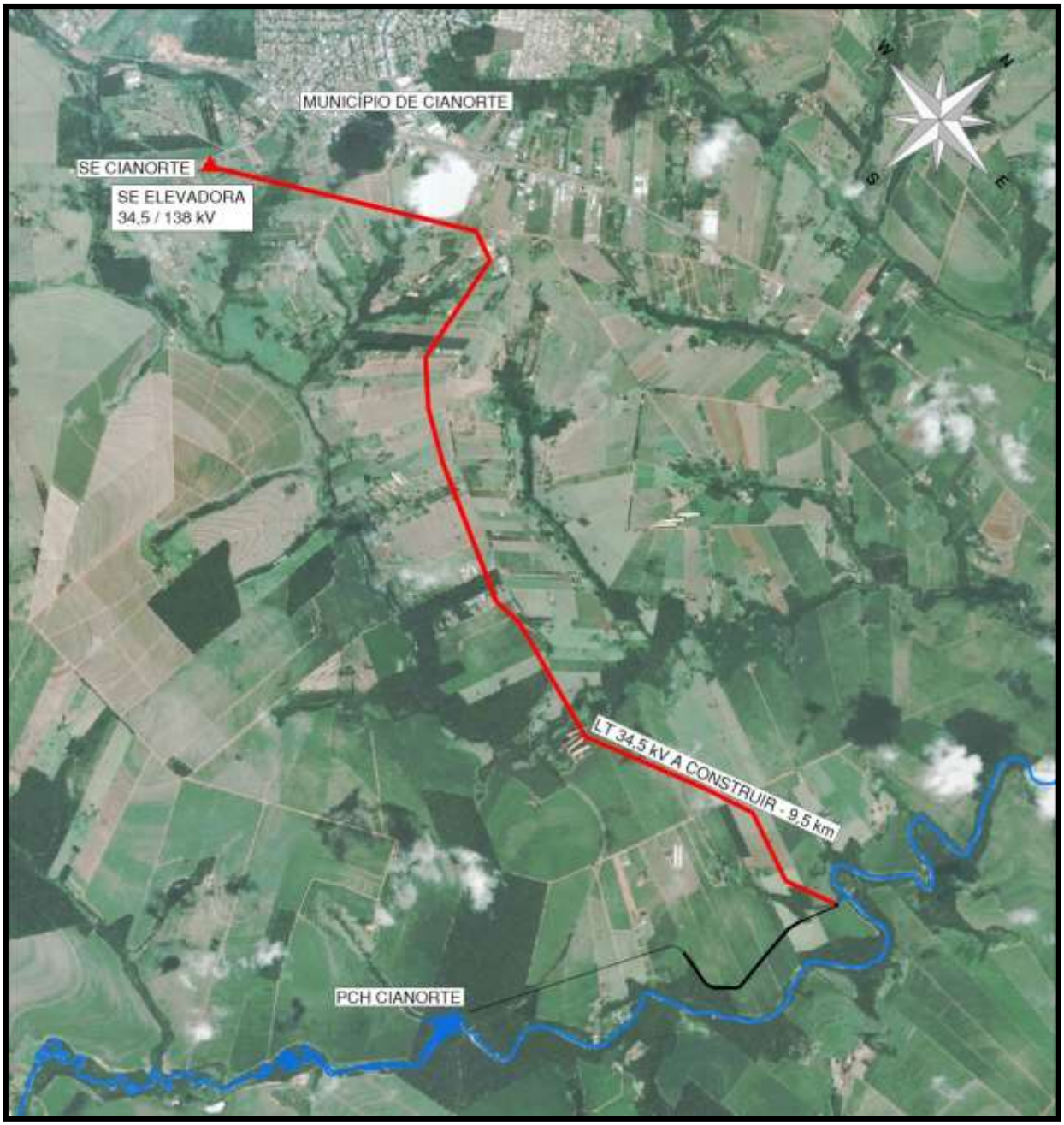


Figura 4.25 - Traçado previsto para LT 34,5kV a ser construida até SE Cianorte.