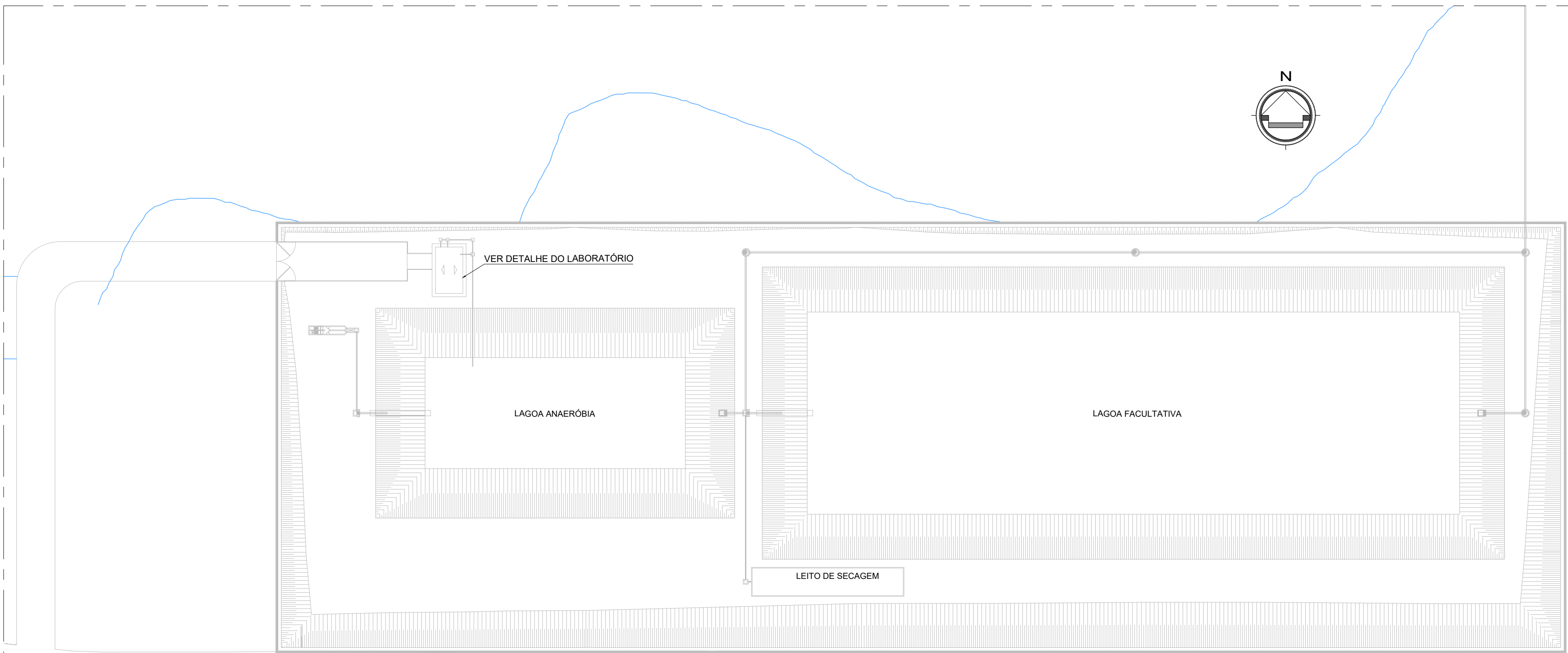
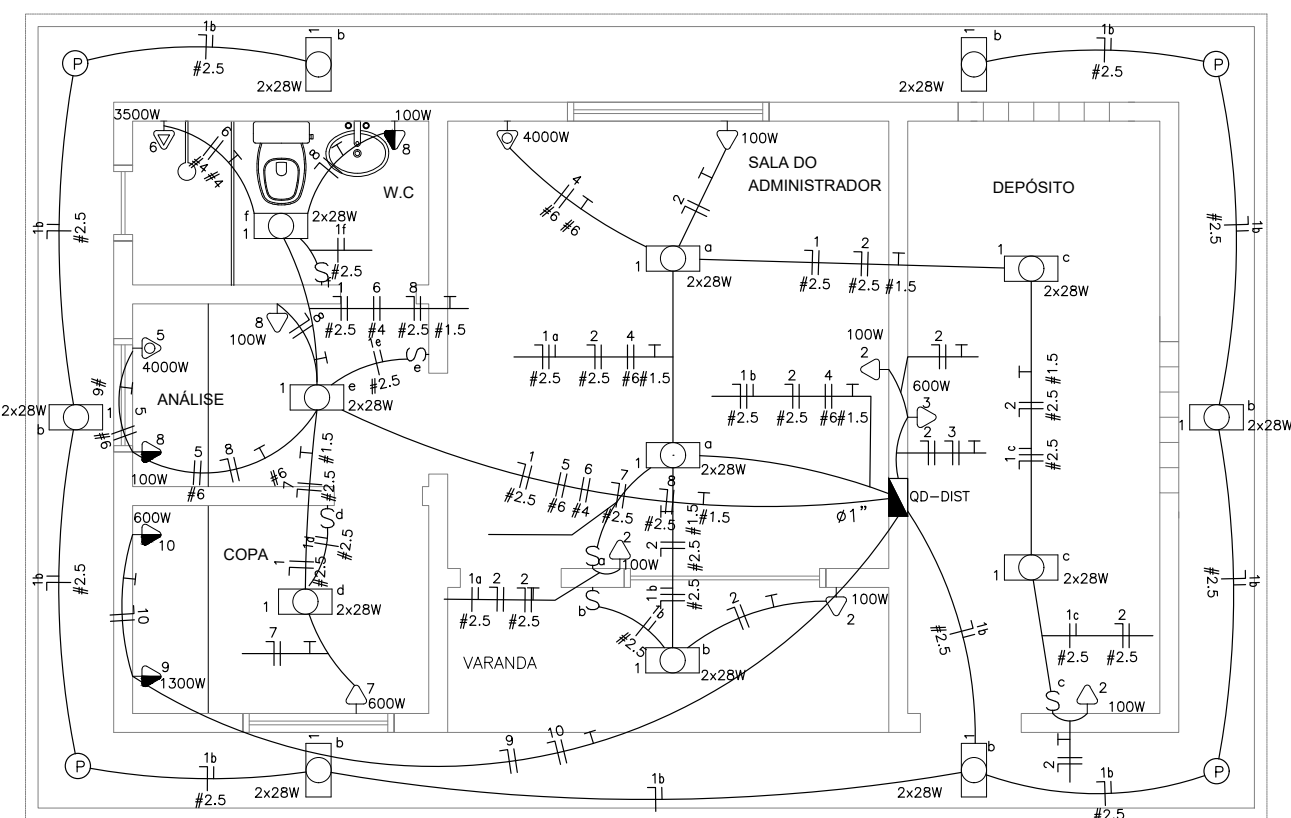


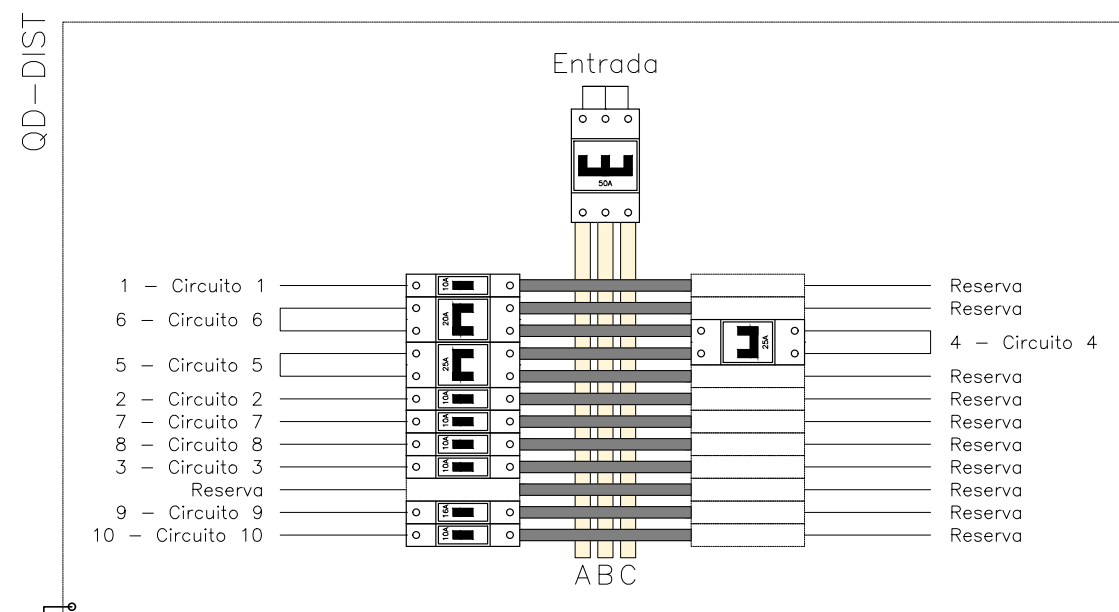


PLANTA DE ILUMINAÇÃO EXTERNA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO
Esc: 1/500



PLANTA DE ELÉTRICA - LABORATÓRIO
Esc: 1/50

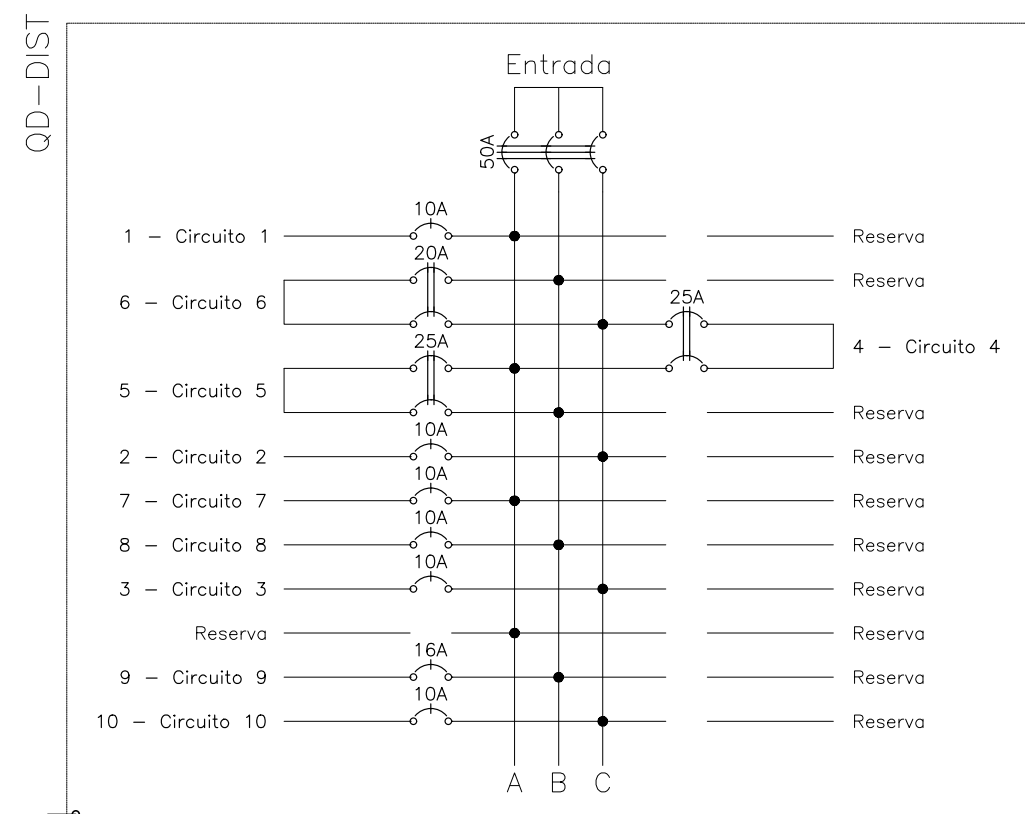
DETALHE DO LABORATÓRIO



Obs.: Quadro c/ barramento Trifásico (24 módulos) = 175A

QUADRO DE DISJUNTORES
Esc: 1/50

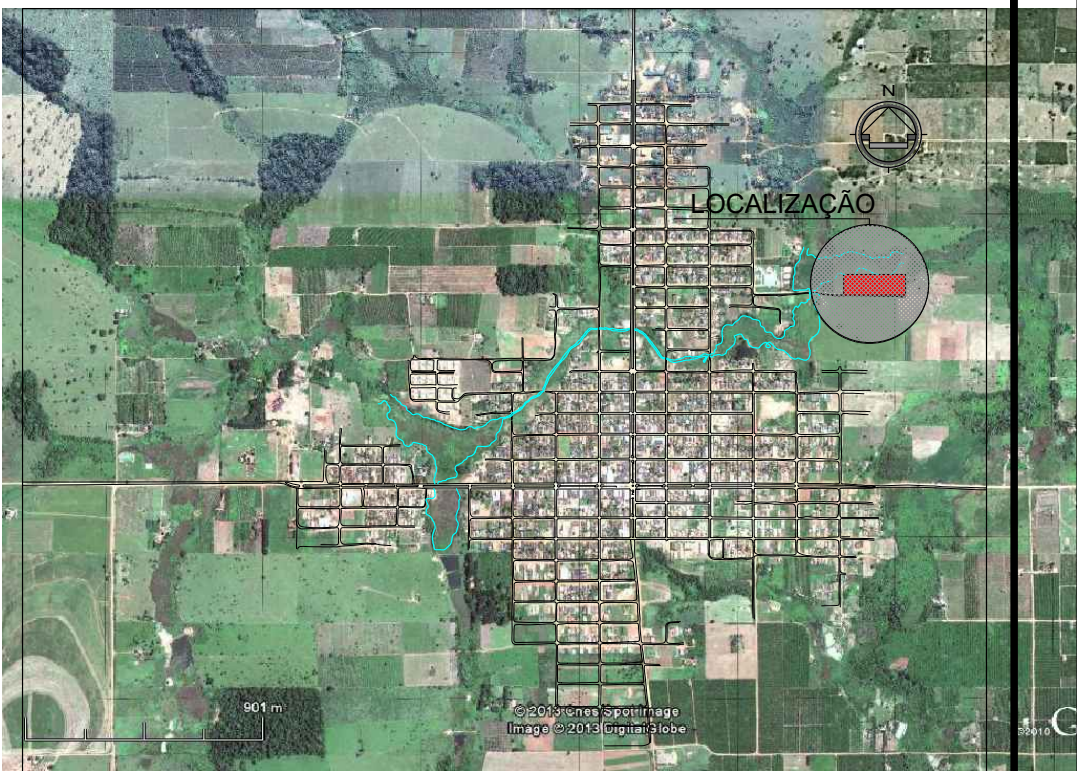
Quadro de Cargas																		
QD-DIST																		
Circ.	Descrição	Iluminação 2x20W 14	Tomadas			Chuveiro 3500W	Ar Cond. 4000W	Pot. W	Pot. VA	Demanda DA	Fat. Pot.	Corr. A	Fases	Prot. A	Cond. mm²	Fases ABC	Obs.	
			100W	600W	1300W													
1	Circuito 1		5					784.0	871.1	100%	0.90	6.86	1	10A	2.5	B	Obs.:	
2	Circuito 2							500.0	625.0	100%	0.80	4.92	1	10A	2.5	B	Obs.:	
3	Circuito 3			1				600.0	750.0	100%	0.80	5.91	1	10A	2.5	B	Obs.:	
4	Circuito 4							1	4000.0	5000.0	100%	0.80	22.73	2	25A	6	AB	Obs.:
5	Circuito 5							1	4000.0	5000.0	100%	0.80	22.73	2	25A	6	CA	Obs.:
6	Circuito 6						1		3500.0	3500.0	100%	1.00	15.91	2	20A	4	BC	Obs.:
7	Circuito 7			1				600.0	750.0	100%	0.80	5.91	1	10A	2.5	A	Obs.:	
8	Circuito 8		3					300.0	375.0	100%	0.80	2.95	1	10A	2.5	C	Obs.:	
9	Circuito 9				1			1300.0	1625.0	100%	0.80	12.80	1	16A	2.5	C	Obs.:	
10	Circuito 10			1				600.0	750.0	100%	0.80	5.91	1	10A	2.5	A	Obs.:	
RES.	Circuito Reserva																-	
RES.	Circuito Reserva																-	
RES.	Circuito Reserva																-	
Total		14	8	3	1			1	2	16184.0	19246.1							
Aliment.	C=10m QT=2%									18348.8	21820.5	80%	0.84	45.80	3	50A	10	ABC
Potência Demandada: 80% (12947.2 W) (15396.9 V.A)																		
Corrente nas Fases: A=57.3A B=56.3A C=54.4A																		



Obs.: Quadro c/ barramento Trifásico (24 módulos) = 175A

DIAGRAMA UNIFILAR
Esc: 1/50

MAPA DE LOCALIZAÇÃO:



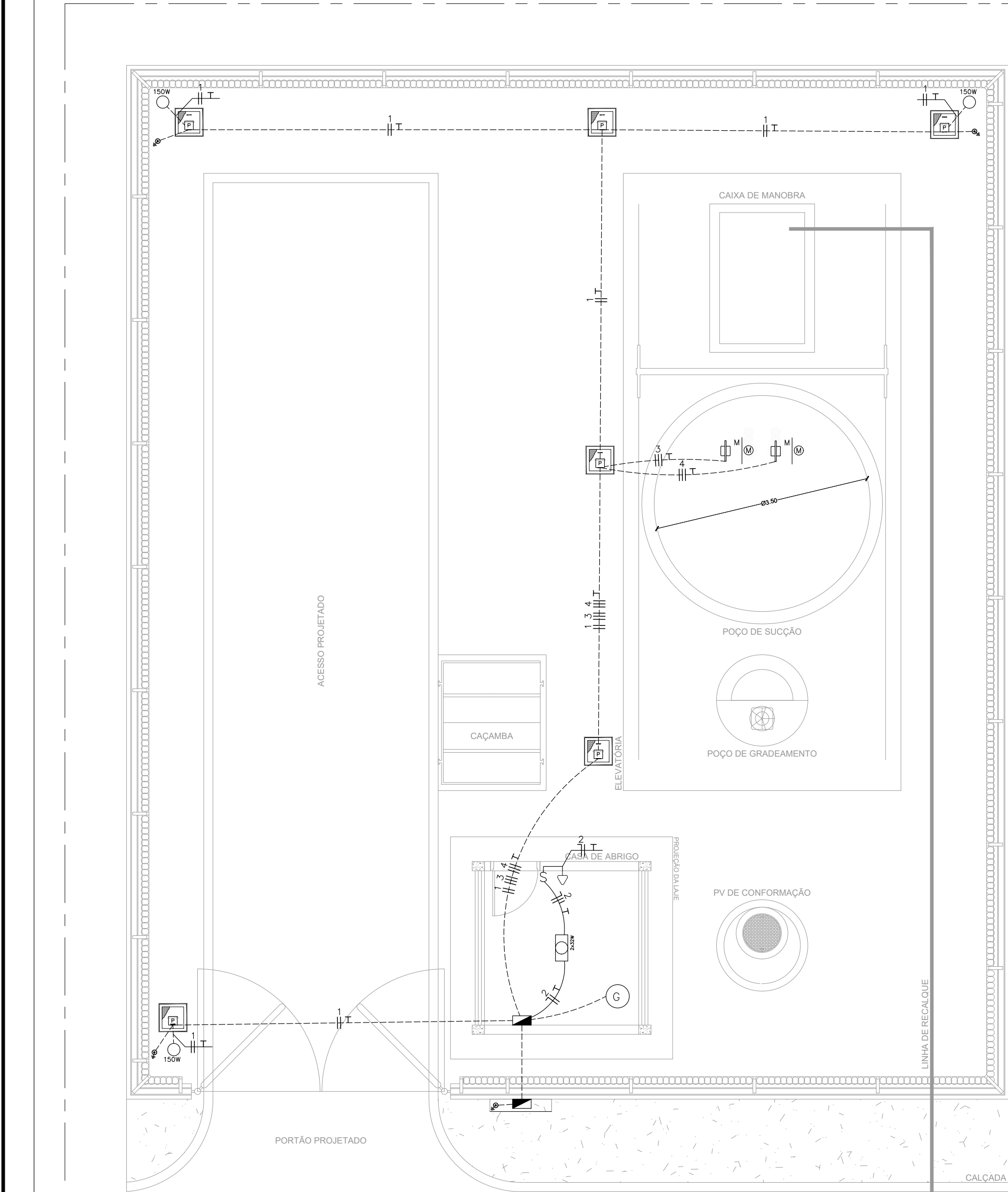
LEGENDA:

- Fluorescente 2x28W
- Interruptor simples
- Tomada 130cm
- Tomada baixa 30cm
- Tomada para Ar Condicionado Split
- Tomada para chuveiro bifásica
- Quadro Geral de luz e força
- Caixa de passagem no teto
- Disjuntor a seco - DIN 10A 1P
- Disjuntor a seco - DIN 16A 1P
- Disjuntor a seco - DIN 20A 2P
- Disjuntor a seco - DIN 25A 2P
- Disjuntor a seco - DIN 50A 3P
- Eletroduto no Teto
- Neutro, Fase, Retorno, Terra

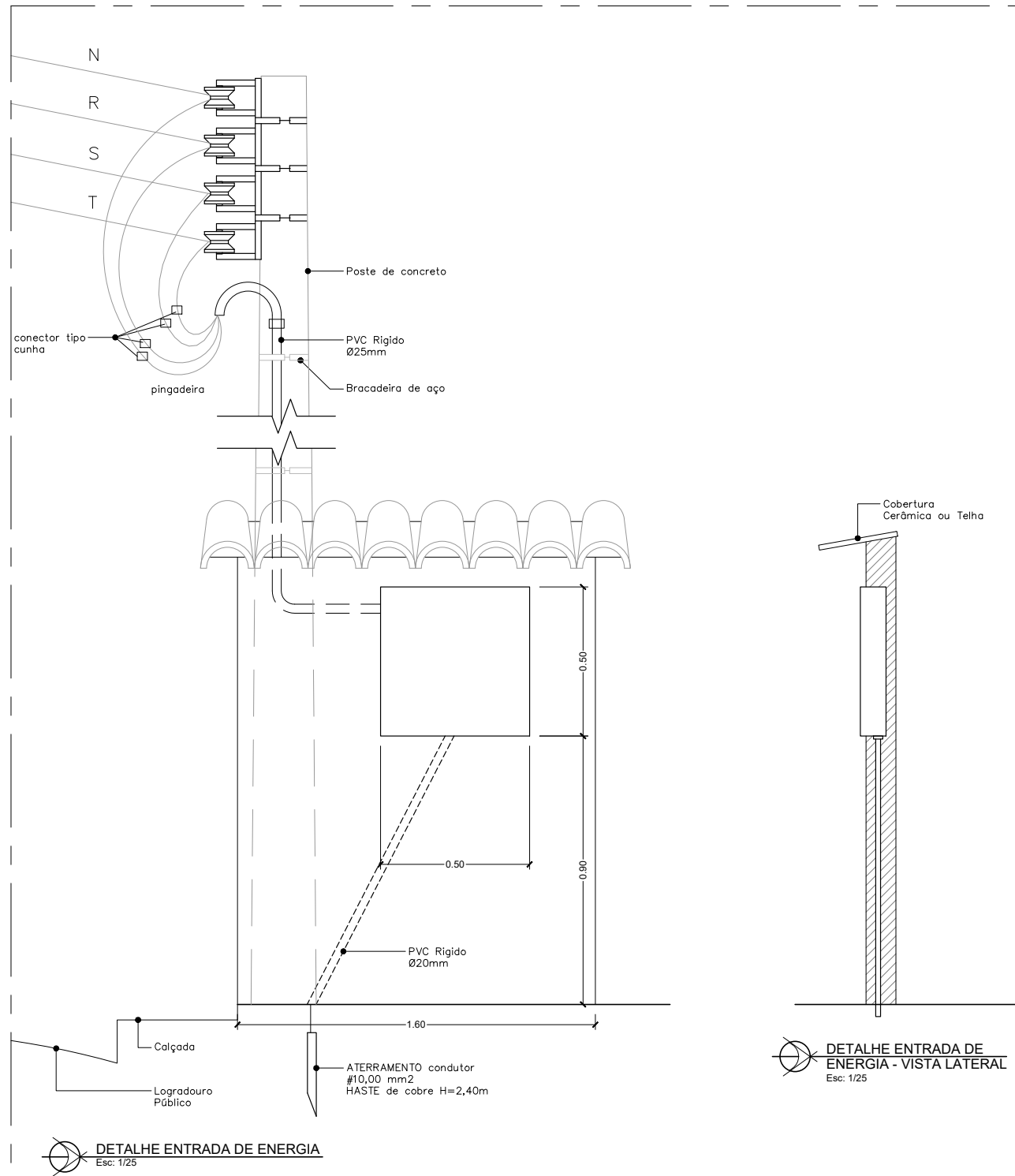
NOTAS:

- 1 - ELETRODUTO DE SEÇÃO 3/4", EXCETO ONDE INDICADO;
- 2 - AS FIAÇÕES NÃO REPRESENTADAS APRESENTAM SEÇÃO DE 2.5 mm²;

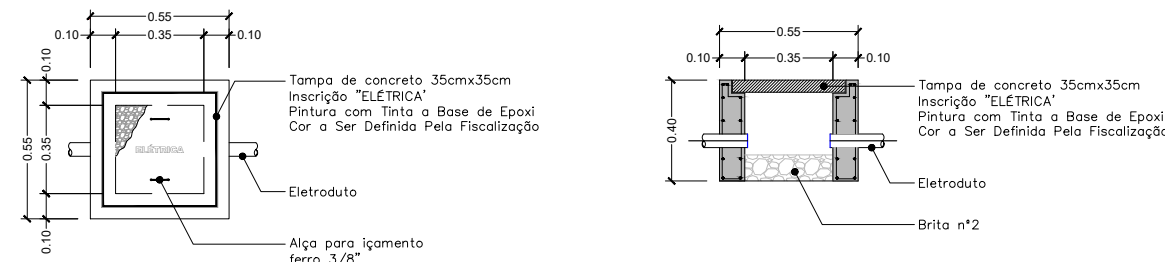
EMISSÕES									
00	EMISSION	04/03/15	SGA	KCF	SKD				
REV.	DESCRIÇÃO	DATA	EXEC.	VERIF.	APROV.				
CONTRATADA:		CONTRATO Nº: 013/2012							
RESP. TEC: JOSÉ LUIS LAGHI / ENG. CIVIL		REG. CREA: 5060044179-D/SP							
FUNASA		SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RONDÔNIA - SUEST							
Ministério de Saúde		Divisão de Engenharia de Saúde Pública							
CONTRATANTE: FUNASA- Fundação Nacional de Saúde									
PROGRAMA: Programa de Aceleração do Crescimento - PAC 2									
MUNICÍPIO DE ALTO ALEGRE DOS PARECIS SEDE									
TÍTULO: PROJETO EXECUTIVO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS									
ESTÁÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO - ETE									
PLANTA DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DO LABORATÓRIO E ILUMINAÇÃO EXTERNA DA ESTAÇÃO									
DATA: MARÇO / 2015	ESCALA: INDICADA	PRINCHA: 01/04							
ARQUIVO: DE-2012.013-RO.AAP-SES-ELT.001=0									



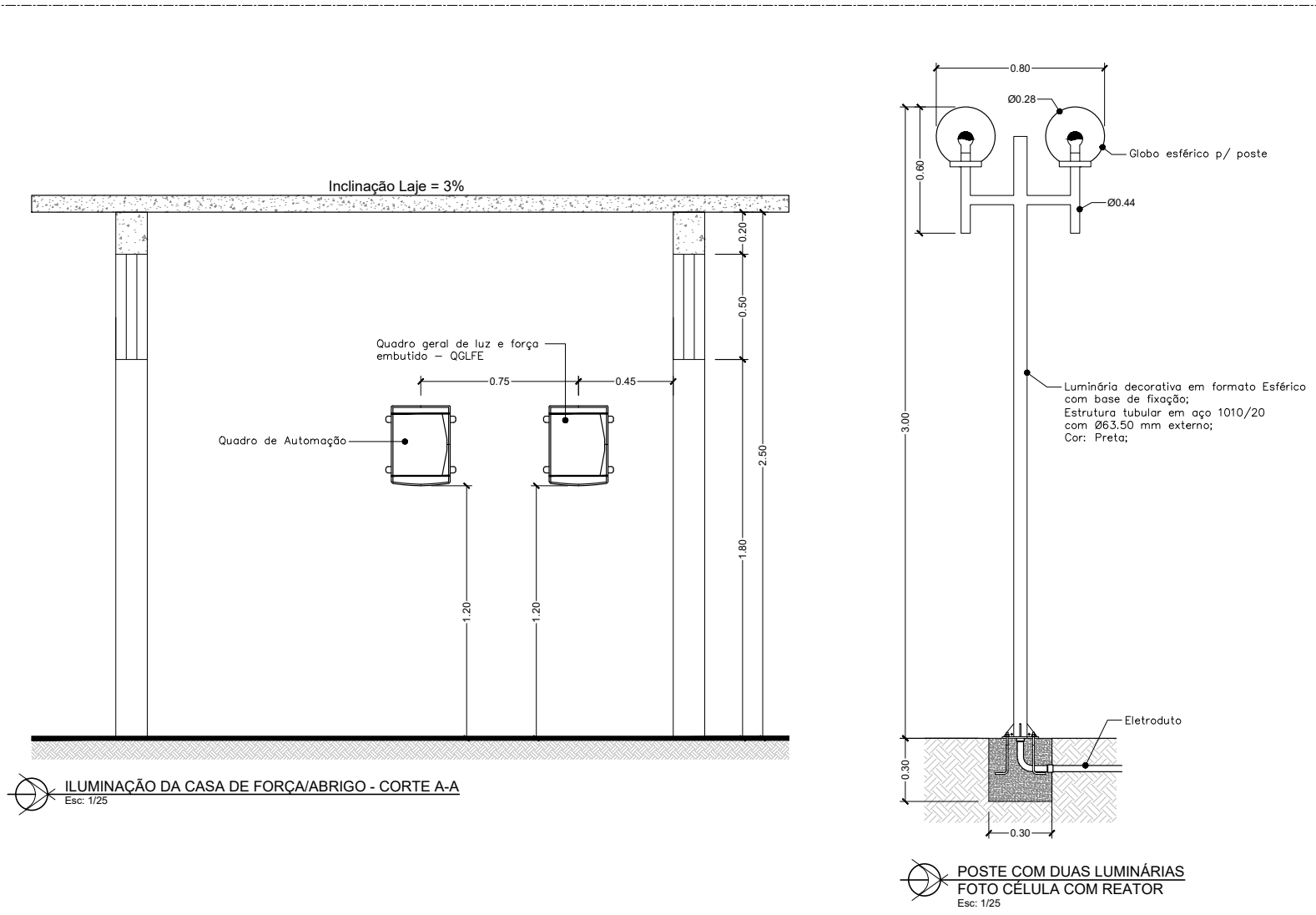
PLANTA DE IMPLANTAÇÃO
Esc: 1/50



DETALHE ENTRADA DE ENERGIA
Esc: 1/25



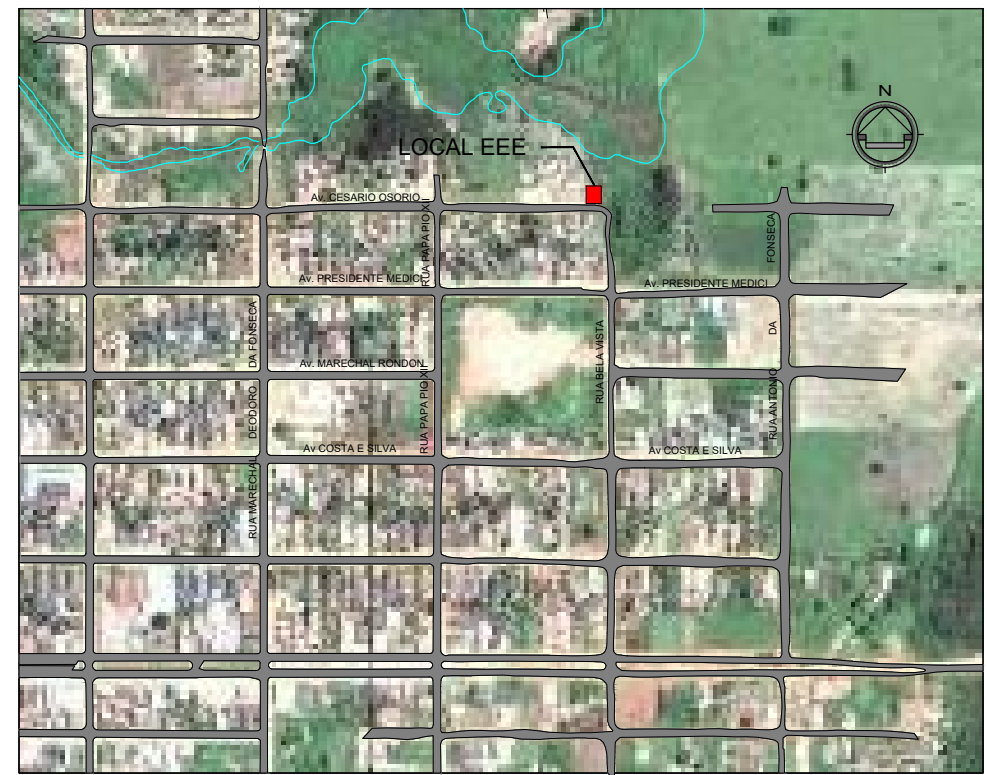
CAIXA DE PASSAGEM ELÉTRICA - CORTE A-A
Esc: 1/25



ILUMINAÇÃO DA CASA DE FORÇA/ABRIGO - CORTE A-A
Esc: 1/25

POSTE COM DUAS LUMINÁRIAS
FOTO CÉLULA COM REATOR
Esc: 1/25

MAPA DE LOCALIZAÇÃO:

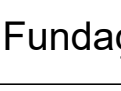


LEGENDA:

- Fluorescente 2x32W
- Interruptor simples
- Bomba de sucção 01 - 5CV
- Bomba de sucção 02 - 5CV
- Gerador de energia elétrica
- Tomada baixa 30cm
- Vapor de Sódio 150W
- Quadro Distribuição
- Quadro Medição
- Caixa com Aterramento 1 Haste c/ Tampa de F.F
- Caixa de passagem no piso
- Disjuntor a seco - DIN 10A 1P
- Disjuntor a seco - DIN 10A 2P
- Disjuntor a seco - DIN 20A 3P
- Eletroduto no Piso
- Eletroduto no teto
- Neutro, Fase, Retorno, Terra

NOTAS:

- CIRCUITOS SEM INDICAÇÃO DA BITOLA: UTILIZAR SEÇÃO DE 2,5mm²
- INTERTRAVAMENTO ELÉTRICO E MECÂNICO COM INTERRUPÇÃO DE FASES E NEUTRO COM IMPEDIMENTO TOTAL E PARALELISMO COM A CONCESSIONÁRIA.

EMISSÕES					
00	EMISSÃO	04/03/15	SGA	KCF	SKD
REV.	DESCRIÇÃO	DATA	EXEC.	VERIF.	APROV.
CONTRATADA		CONTRATO Nº: 013/2012			
		RESP. TEC.: JOSÉ LUIS LAGHI / ENG. CIVIL			
		REG. CREIA: 5060044179-D/SP			
Ministério de Saúde Fundação Nacional de Saúde		SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RONDÔNIA- SUEST Divisão de Engenharia de Saúde Pública			
CONTRATANTE					
PROGRAMA:					
MUNICÍPIO DE ALTO ALEGRE DOS PARECIS					
MUNICÍPIO DE ALTO ALEGRE DOS PARECIS SEDE					
TÍTULO:					
PROJETO EXECUTIVO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS					
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO - EEE					
PLANTA DE INSTALAÇÃO ELÉTRICA DA ELEVATÓRIA E DETALHES					
DATA:	MARÇO / 2015	ESCALA:	INDICADA	PRANCHA:	
ARQUIVO:	DE-2012.013-RO.AAP-SES-ELT.002=0				02/04

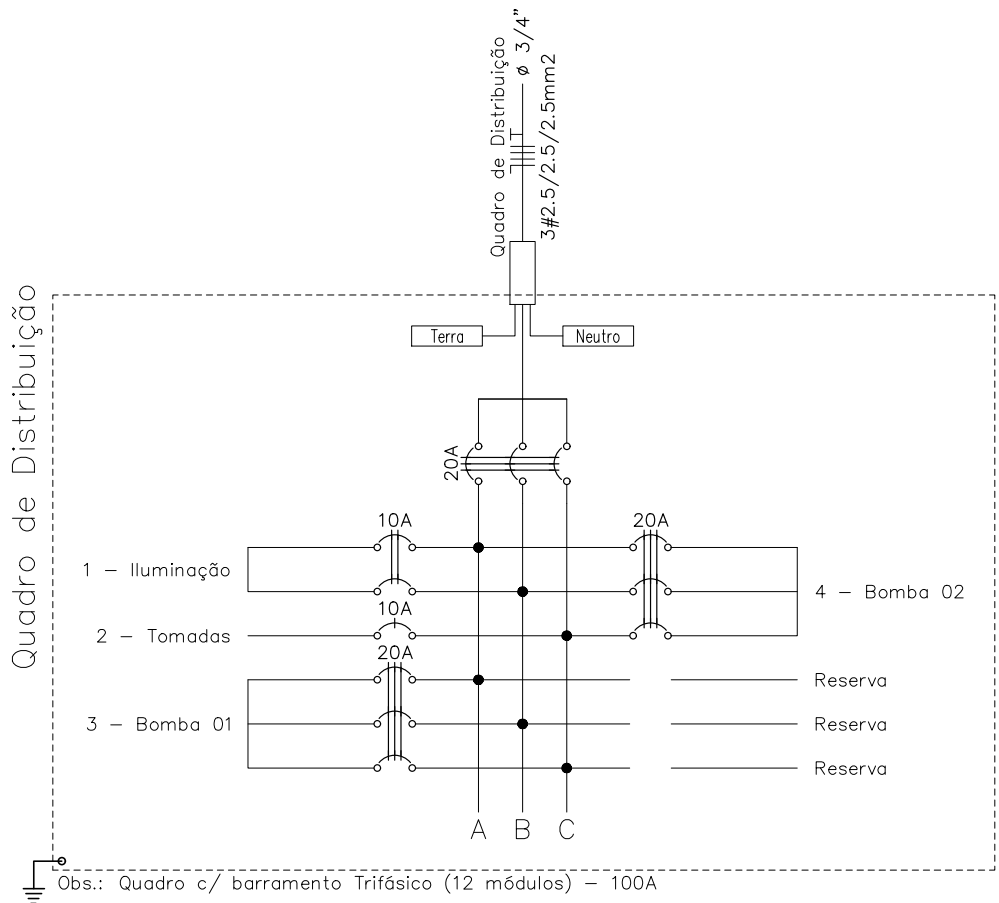
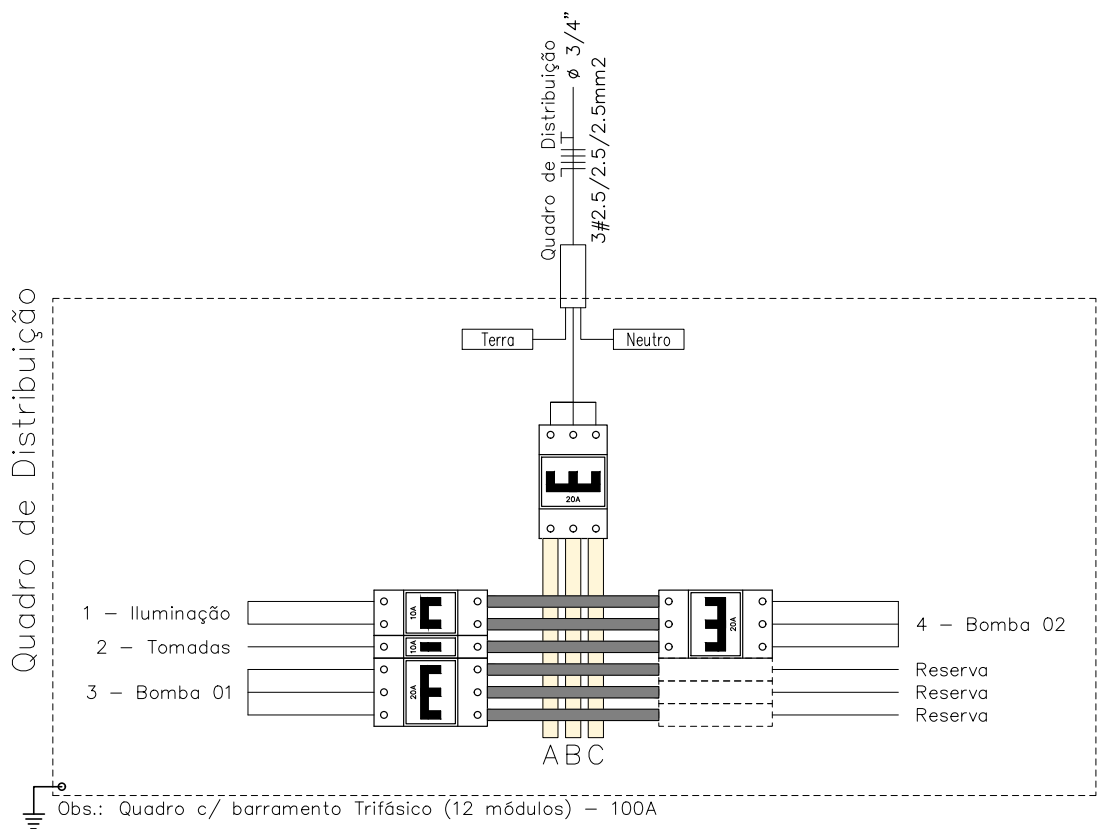


DIAGRAMA UNIFILAR - QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO
Esc: S/ ESCALA



QUADRO DE DISJUNTORES
Esc: S/ ESCALA

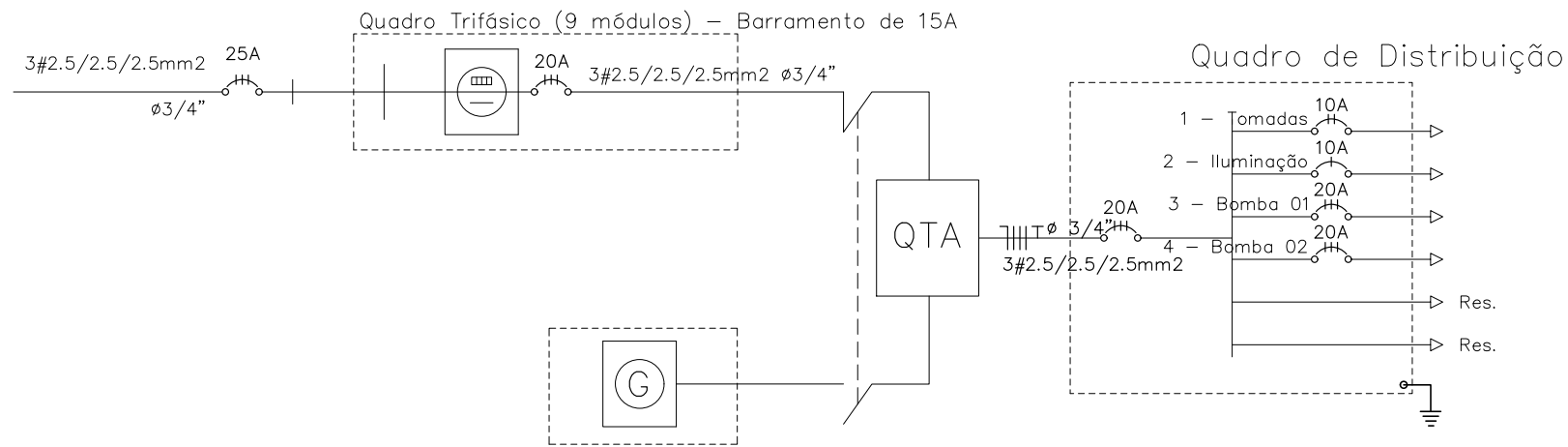
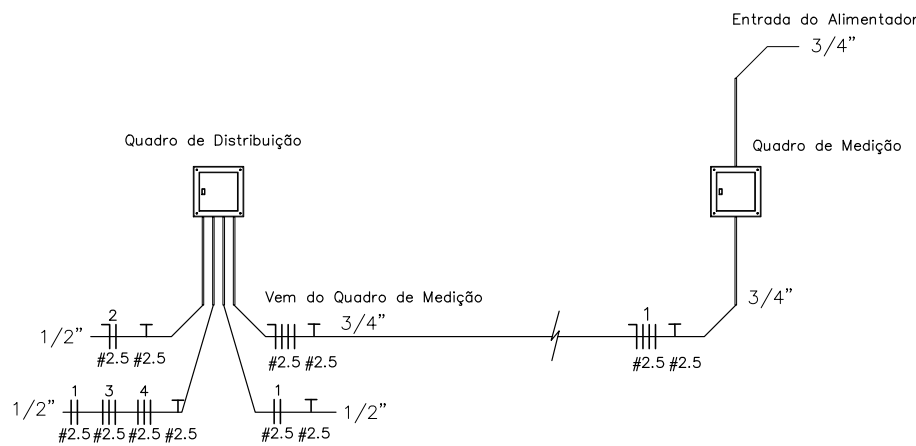


DIAGRAMA UNIFILAR GERAL - QUADRO MEDIÇÃO E GERADOR
Esc: S/ ESCALA

QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO		
Quadro de Distribuição		
CIRCUITO	UTILIDADE	LOCAL
1	Iluminação	Obs: Iluminação de Pêlo
2	Tomadas	Obs: Força e Iluminação caso
3	Bomba 01	Obs: Bomba Principal
4	Bomba 02	Obs: Bomba Reserva
RES.	Circuito Reserva	-
RES.	Circuito Reserva	-

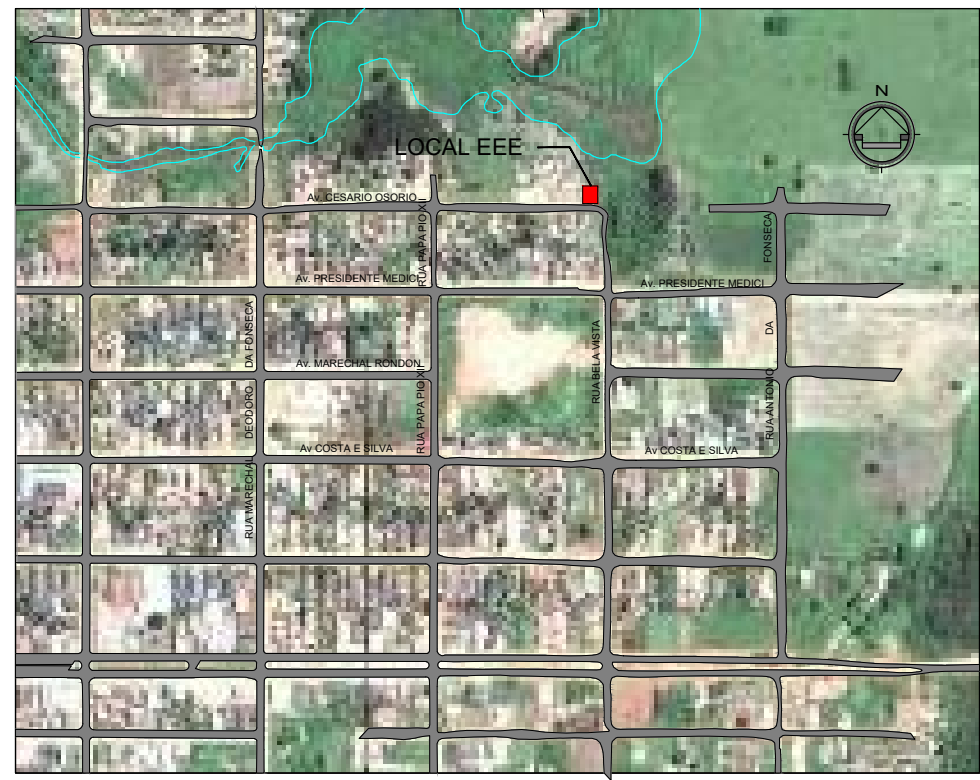
Quadro de Cargas														
Quadro de Distribuição														
Circ.	Descrição	Iluminação	Tomadas	Motores	Pot. W	Pot. V.A	Demanda (%)	Fat. Pot.	Corr. A.	Fases	Prot. A	Cond. mm2	Fases ABC	Obs.
1	Iluminação	2x32W	3		460.0	473.7	80%	0.95	2.15	2	10A	2.5	AB	Iluminação de Pêlo
2	Tomadas		1		364.0	446.1	100%	0.80%	3.51	1	10A	2.5	C	Força e Iluminação caso
3	Bomba 01			1	3677.5	3871.1	100%	0.95	10.16	3	16A	2.5	ABC	Bomba Principal
4	Bomba 02			1	3677.5	3871.1	100%	0.95	10.16	3	16A	2.5	ABC	Bomba Reserva
RES.	Circuito Reserva													-
RES.	Circuito Reserva													-
Total		1	3	1	8169.0	8661.9								
Aliment.	C=4.2m QT=2%				8563.0	9080.4	80%	0.94	19.10	3	20A	2.5	ABC	-
Potência Demandada: 80% (6463.2 W) (6853.7 V.A)														
Corrente nas Fases: A=22.0A B=22.0A C=23.8A														



ESQUEMA DE LIGAÇÃO DOS QUADROS
Esc: S/ ESCALA

QUADRO GERAL								
Quadro	Potência(V.A)		Comprimento (m)	Corrente (A)	Proteção (A)	Dimensionado (Cap.Cm)	Projeto (F.N/31mm2)	Tubulação (3/4")
	Instalado	Demandado						
1	9080.4	80%	7264.4	7.00	19.1	3P-20A	2.5	1.5
QUADRO GERAL	7264.4	100%	7264.4	10.00	19.1	3P-25A	2.5	2.5

MAPA DE LOCALIZAÇÃO:



LEGENDA:

- Fluorescente 2x32W
- Interruptor simples
- Bomba de sucção 01 - 5CV
- Bomba de sucção 02 - 5CV
- Gerador de energia elétrica
- Tomada baixa 30cm
- Vapor de Sódio 150W
- Quadro Distribuição
- Quadro Medição
- Caixa com Aterramento 1 Haste c/ Tampa de F.F
- Caixa de passagem no piso
- Disjuntor a seco - DIN 10A 1P
- Disjuntor a seco - DIN 10A 2P
- Disjuntor a seco - DIN 20A 3P
- Eletroduto no Piso
- Eletroduto no Teto
- Neutro, Fase, Retorno, Terra

NOTAS:

EMISSIONES

00	EMISSION	04/03/15	SCA	KCF	SKD
REV.	DESCRICO	DATA	EXEC.	VERIF.	APROV.

CONTRATADA:	CONTRATO Nº:	013/2012
RESP. TEC:	JOSÉ LUIS LAGHI / ENG. CIVIL	
REG. CREA:	5060044179-D/SP	

FUNASA	Ministério de Saúde Fundação Nacional de Saúde	SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RONDÔNIA- SUEST Divisão de Engenharia de Saúde Pública
--------	---	---

CONTRATANTE: FUNASA- Fundação Nacional de Saúde

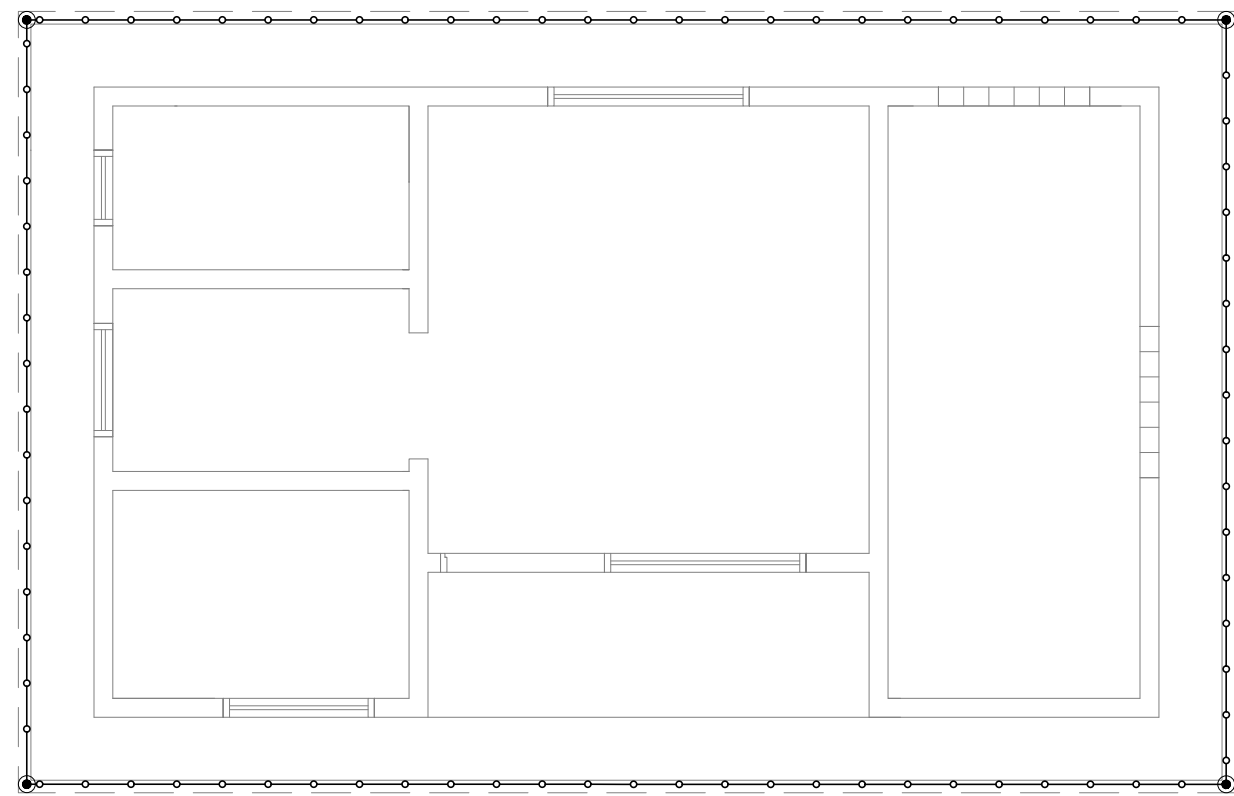
PROGRAMA: Programa de Aceleração do Crescimento - PAC 2

MUNICÍPIO DE ALTO ALEGRE DOS PARECIS
SEDE

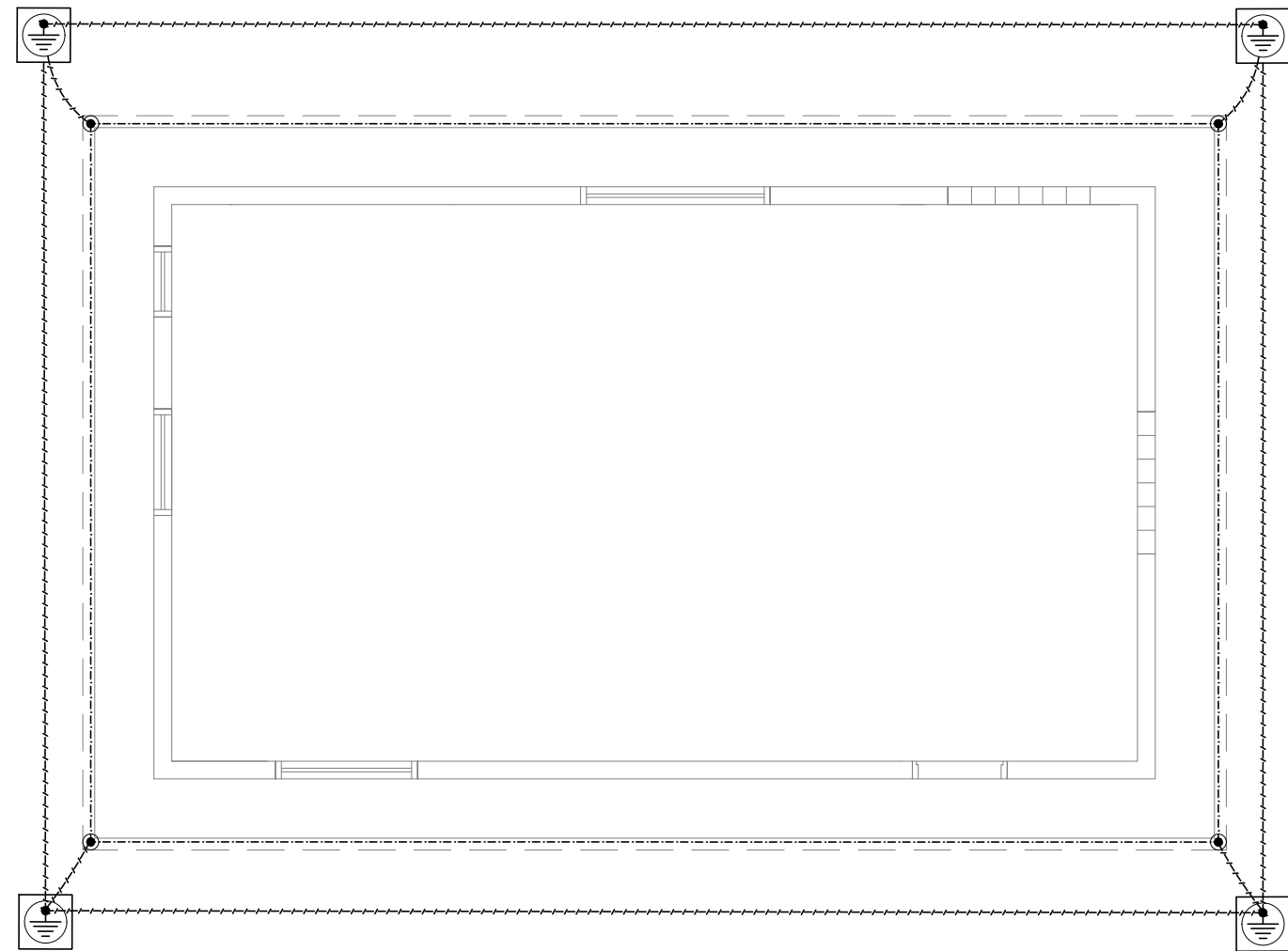
TÍTULO: PROJETO EXECUTIVO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO - EEE
DIAGRAMAS E QUADROS

DATA: MARÇO / 2015
ESCALA: INDICADA
PRINCHA: 03/04

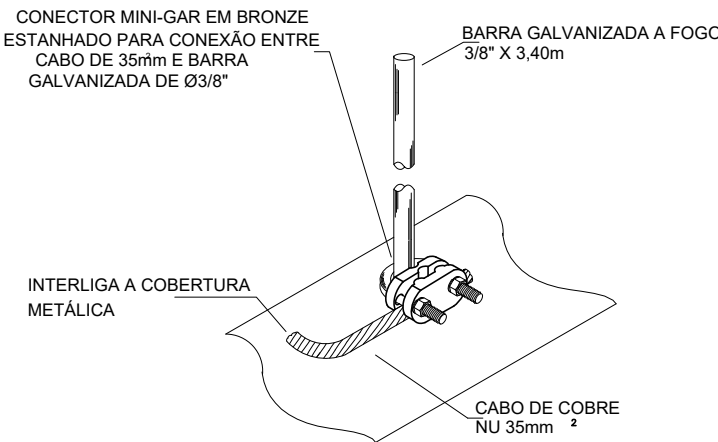
DE-2012.013-RO.AAP-SES-ELT.003=0



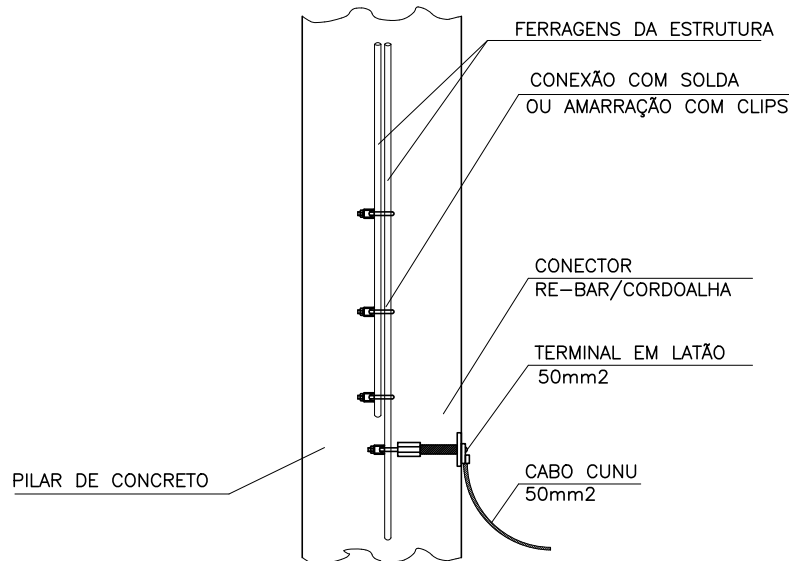
PLANTA BAIXA - COBERTURA
Esc: 1/50



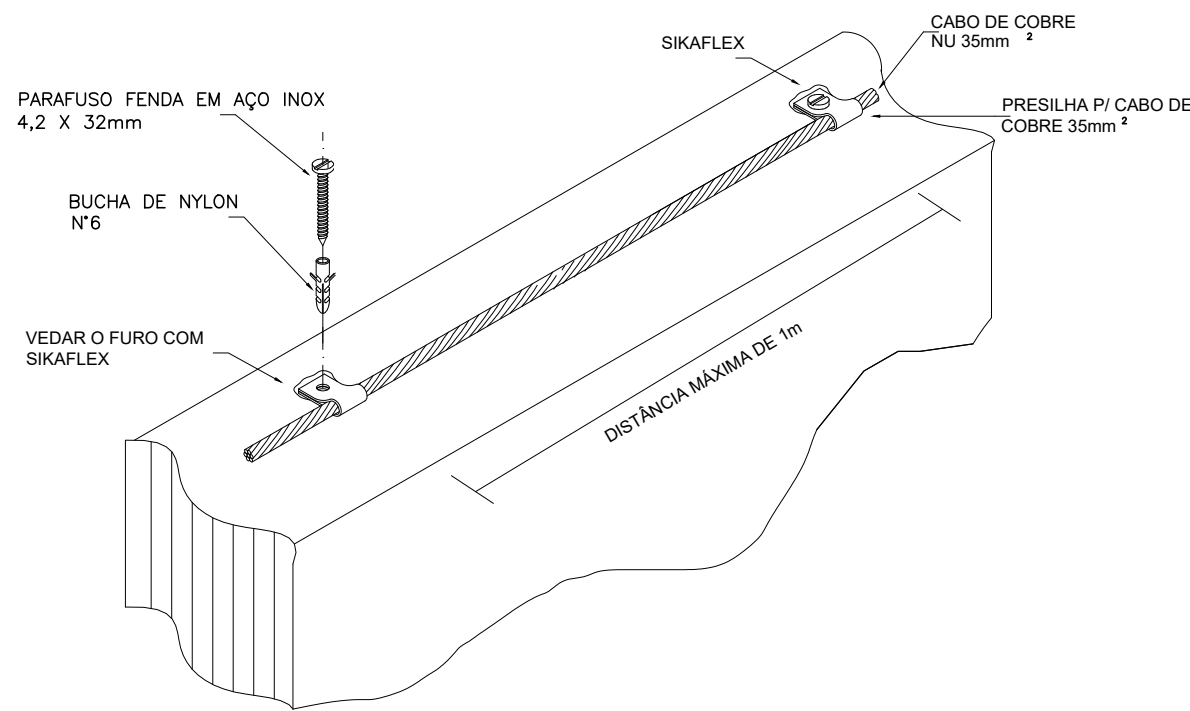
PLANTA BAIXA - TÉRREO
Esc: 1/50



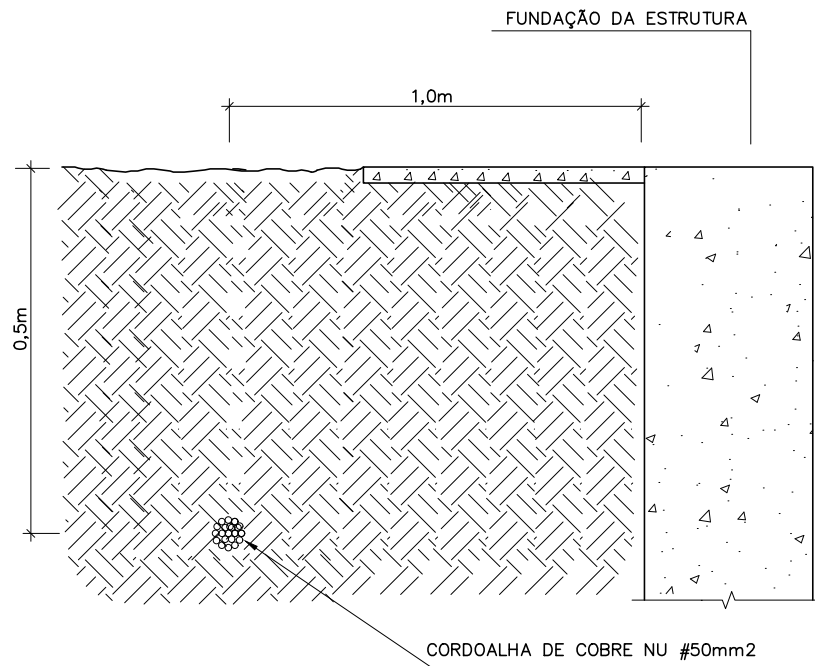
DETALHE INTERLIGAÇÃO DA DESCIDA EMBUTIDA NO PILAR COM A COBERTURA METÁLICA
S/ESC



DETALHE LIGAÇÃO DAS FERRAGENS DA ESTRUTURA A MALHA DE ATERRAMENTO
S/ESC

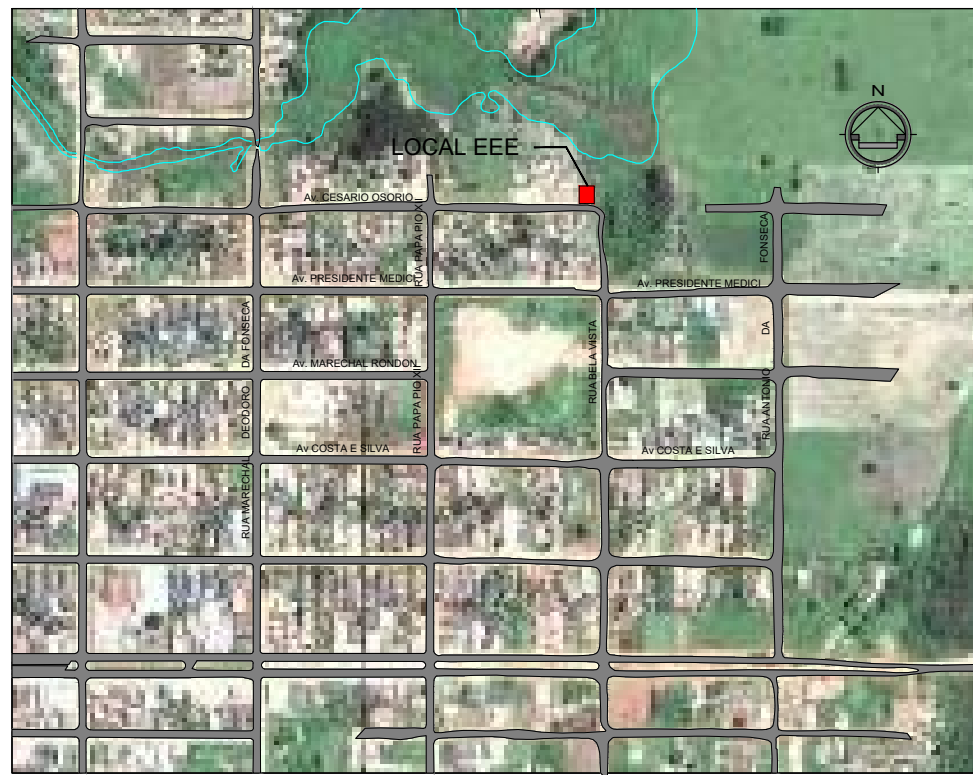


DETALHE FIXAÇÃO DO CABO A PLATIBANDA
S/ESC



DETALHE DO ANEL DE ATERRAMENTO
S/ESC

MAPA DE LOCALIZAÇÃO:



LEGENDA:

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
---/---/---	CORDALHA DE COBRE NU # 50mm2, ENTERRADA A 50 cm NO SOLO
---/---/---	CORDALHA DE COBRE NU # 35mm2, FIXADO A LAJE
---/---/---	CONEXÃO A ESTRUTURA METÁLICA
---	BARRA DE TERRA DO PAINEL ELÉTRICO
---	BARRA REDONDA DE FERRO GALVANIZADO, #80mm2, EMBUTIDA NO BALDRAME
---	BARRA REDONDA DE FERRO GALVANIZADO #80mm2, EMBUTIDA NA ESTACA/PILAR
---	DESCIDA DO SPDA
---	CAIXA DE MEDIÇÃO DO ATERRAMENTO EM CONCRETO COM TAMPA DE Ff=16 COM UMA HASTE DE ATERRAMENTO TIPO COOPERWELD 5/8"x3m, ALTA CAMADA
---	HASTE DE ATERRAMENTO TIPO COOPERWELD 5/8"x3m, ALTA CAMADA

NOTAS

- O ATERRAMENTO CONSISTE NA COLOCAÇÃO DE UM CONDUTOR ADICIONAL DENTRO DA FUNDAÇÃO E DENTRO DOS PILARES, ONDE ESTÁ SENDO IMPLANTADO O SPDA. DEVERÁ SER FEITA A INTERLIGAÇÃO DESTES CONDUTORES COM OS CAPTORES.
- O SISTEMA DEVERÁ SER INICIADO COM A FUNDAÇÃO DA EDIFICAÇÃO, SENDO IMPORTANTE O ACOMPANHAMENTO DOS RESPONSÁVEIS DA OBRA PARA CONFERIR A PRESENÇA DO CONDUTOR ADICIONAL NA FUNDAÇÃO.
- NO SOLO SERÁ EXECUTADA A EQUALIZAÇÃO DE POTENCIAIS DOS SISTEMAS ELÉTRICO E MASSAS METÁLICAS CONSIDERÁVEIS TAIS COMO TUBULAÇÕES METÁLICAS E ESTRUTURA METÁLICAS.
- O SISTEMA DEVERÁ TER UMA MANUTENÇÃO PREVENTIVA ANUAL E SEMPRE QUE ATINGIDO POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS, PARA VERIFICAR EVENTUAIS IRREGULARIDADES E GARANTIR A EFICIÊNCIA DO SPDA.
- NÃO É FUNÇÃO DO SPDA A PROTEÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRO-ELETRÔNICOS. PARA TAL, DEVERÃO SER INSTALADOS SUPRESSORES DE SURTOS INDIVIDUAIS (PROTETORES DE LINHA) ADEQUADOS A CADA CASO.

EMISSÕES

DO	EMISSÃO	04/03/15	SGA	KCF	SKD
REV.	DESCRIÇÃO	DATA	EXEC.	VERIF.	APROV.

CONTRATADA:	CONTRATO Nº:	013/2012
	RESP. TEC.:	JOSÉ LUIS LAGHI / ENG. CIVIL
	REG. CREIA:	5060044179-D/SP

	Ministério de Saúde Fundação Nacional de Saúde	SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RONDÔNIA- SUEST Divisão de Engenharia de Saúde Pública
---	---	---

CONTRATANTE: FUNASA- Fundação Nacional de Saúde

PROGRAMA: Programa de Aceleração do Crescimento - PAC 2

MUNICÍPIO/ÁREA: MUNICÍPIO DE ALTO ALEGRE DOS PARECIS
SEDE

TÍTULO: PROJETO EXECUTIVO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS
ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO - EEE

DATA: MARÇO / 2015
ARQUIVO: DE-2012.013-RO.AAP-SES-ELT.002=0

04/04



ESTADO DE RONDÔNIA
PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTO ALEGRE DOS PARECIS

Informações do Documento

ID do Documento: **2.370.188** - Tipo de Documento: **DEMAIS DOCUMENTOS.**

Juntado por **EVELYN KAROLINE DA SILVA CRUZ**, CPF: 039.46*.**2-*1, em **24/06/2026 - 09:24:10**

Código de Autenticidade deste Documento: 09U1.7824.410U.K60U.1613

A autenticidade do documento pode ser conferida no site:

<https://athus.altoalegre.ro.gov.br/verdocumento>



**MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO.
ATENUAÇÃO DE TRANSITÓRIOS
HIDRÁULICOS DA EEE 1 DA BACIA 2.
SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

**Sede do Município de Alto Alegre dos Parecis
Rondônia**

HIDROMECAÂNICO

Memorial, Especificações e Desenhos

E.EE1.SAP.001.D001

VOLUME 01

TOMO 01/01

Brasília – DF
02/10/2022 – 15/10/2025





MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO. ATENUAÇÃO DE TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS DA EEE 1 DA BACIA 2. SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

**Sede do Município de Alto Alegre dos Parecis
Rondônia**

HIDROMECAÂNICO

Memorial, Especificações e Desenhos

E.EE1.SAP.001.D001.V01.T01



Brasília – DF
02/10/2022 – 15/10/2025





MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO. ATENUAÇÃO DE TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS DA EEE 1 DA BACIA 2. SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO HIDROMECÂNICO

Memorial, Especificações e Desenhos

Volume 01 - Tomo 01

02/10/2022 – 15/10/2025

CSANEO Engenharia e Consultoria Ambiental Ltda, SHCGN 704/705 Bloco E

Entrada 52 Sala 205, Asa Norte, Brasília/DF, CEP.70.730-650

CNPJ nº 08.262.227/0001-17

Fone/Fax: (61) 3037-1089 - e-mail: csaneoengenharia@gmail.com

Roda d'água Consultoria Ambiental Ltda, QUADRA 205 SHCN CL, ASA NORTE, BLOCO A; LOJA 12, BRASILIA - DF, CEP: 70.843-500.

CNPJ: nº47.161.180/0001-71

Fone: (61) 99849-7578 - email: rodadaguaconsultoria@gmail.com

Responsável técnico

Eng. Antônio José de Brito – CREA 7.965/D-DF

Eng. Eric Cossich Lavinias – CREA 23.979/D-DF

Equipe Técnica

Eng. Vilmar Herbert de Almeida – CREA 34.749/D-MG

E.EE1.SAP.001-D001.V01.T01





MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO. ATENUAÇÃO DE TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS DA EEE 1 DA BACIA 2. SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

SÃO SEBASTIÃO RA XIV/DF

HIDROMECAÂNICO

Memorial, Especificações e Desenhos

R00	16/10/2025	Primeira versão	Eric	Brito		
Nº	DATA	DESCRIÇÃO	POR	APROV	DATA	APROV
			CSANEO		CAESB	
REVISÕES						



APRESENTAÇÃO

Este documento tem por finalidade apresentar o Estudo de transitórios hidráulicos de EEE1 e LRE para SES da Sede do Município de Alto Alegre dos Parecis, Rondônia, contemplando a seguinte documentação:

CÓDIGO	TÍTULO DOCUMENTO
E.EE1.SAP.001.D001.V01.T01	MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO. ATENUAÇÃO DE TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS DA EEE 1 DA BACIA 2. SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO HIDROMECHANICO

O presente estudo foi contratado pela empresa Csaneo Engenharia e Consultoria Ambiental Ltda.

Para elaboração do Projeto em questão foram obedecidas às normas NBR 16682:2018, 12208:2020 e 12215-1 da ABNT.

O projeto foi realizado a partir do Memorial Descritivo (MD) Sistema de Esgotamento Sanitário – SES, Projeto Básico, finalizado pela Laghi Engenharia Consultoria e Projetos em 19/06/15.

O estudo é constituído de 1 volume, conforme consta da discriminação abaixo:

VOLUME	TOMO	CONTEÚDO
01	01/01	MEMORIAL DESCRITIVO E DE CÁLCULO. ATENUAÇÃO DE TRANSITÓRIOS HIDRÁULICOS DA EEE 1 DA BACIA 2. SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO HIDROMECHANICO

O presente documento se refere ao Volume 1 Tomo 01.

E.EE1.SAP.001-D001.V01.T01

V

RELAÇÃO DE FIGURAS

Figura 1 – Condições geométricas na saída – Recorte da prancha 02/05.....	12
Figura 2 – Caminhamento da LRE– Recorte da prancha 03/05.....	12
Figura 3 – Condições geométricas da chegada da LRE (rotacionado)– Recorte da prancha 03/05.	13
Figura 4 – Ponto Operacional.....	18
Figura 5 - Curvas características da bomba.....	19
Figura 6 – Representações da bomba referência.	20
Figura 7 – Gráfico de fechamento de diversos registros.	27
Figura 8 – Modelo de RHO.....	29
Figura 9 - Configurações do Software.....	31
Figura 10 - Configurações dos nós.	31
Figura 11 - Configurações dos reservatórios.....	31
Figura 12 – Configurações das tubulações.	31
Figura 13 – Configurações do conjunto motobomba(1).	32
Figura 14 - Croqui da simulação.	32
Figura 15 - Gráfico com cargas hidráulicas - Cenário 0.	33
Figura 16 - Gráfico com pressões - Cenário 0.....	34

RELAÇÃO DE QUADROS

Quadro 1 – Peças para verificação em regime permanente.	15
Quadro 2 - Verificação em regime permanente (1).	15
Quadro 3 - Verificação em regime permanente (2).	16
Quadro 4 – Altura geométrica.	16
Quadro 5 – Altura Manométrica Total.	17
Quadro 6 - Ponto de operação das máquinas hidráulicas.	18
Quadro 7 - Propriedades físicas da água	21
Quadro 8 – Valores de C.	25
Quadro 9 - Cenários e elementos.	30

SUMÁRIO

1	Introdução	10
1.1	Objetivo	10
1.2	Justificativa	10
1.3	Etapas	10
1.4	Medidas preventivas contra transientes hidráulicos	11
1.5	Modelo de Cálculo	11
1.6	Normas utilizadas	11
2	Seleção de equipamento motobomba	12
2.1	Equações Hidráulicas	13
2.1.1	Perdas de Carga localizadas	13
2.1.2	Reynolds	13
2.1.3	Perdas de carga distribuídas por Darcy-Weisbach	13
2.1.4	A altura manométrica para dimensionamento das bombas é calculada pela fórmula:	14
2.2	Verificação Hidráulica	14
2.3	Curva do Sistema	18
2.3.1	Dados da Bomba Referência	19
3	Critérios e Parâmetros Transientes	20
3.1	Água e ar	20
3.2	Tubulações	21
3.3	Sobrepresão Máxima	21
3.3.1	Conexões com Flanges PN10	22
3.3.2	Conexões Ponta e Bolsa JGS k7	22
3.4	Subpressão Limite	22
4	Equações e Características	22
4.1	Celeridade	22
4.2	Estabilidade de Courant	23
4.3	Tempo crítico	23
4.4	Frequência	23
4.5	Pulso de Allievi-Joukowsky	24
4.6	Envoltórias de Joukowsky	24
4.7	Resultado da avaliação preliminar	24
4.8	Inércia do conjunto motobomba	24
4.9	Tempo de Parada da Bomba	25
4.10	Relação entre o ponto operacional e o ponto de melhor operação	25
4.11	Rotação Específica	26
5	Equipamentos e Acessórios	26

5.1	Partida e Parada Suave de Bombas	26
5.2	Válvula de Retenção	27
5.3	Registro de Manobra.....	27
5.4	RHO	27
6	Simulação do Sistema.....	30
6.1	Condições críticas	30
6.2	Cenários	30
6.3	Software Allievi.....	30
6.4	Configurações da Simulação	31
6.5	Configuração das Instalações	31
6.6	Croqui.....	32
6.7	Cenário 0: apenas retenções	32
7	Solução para atenuação	34
8	Anexo 01 – Informações do conjunto motor-bomba.....	35

1 Introdução

No presente documento é apresentado o Estudo de transitórios hidráulicos de EEE1 e LRE para SES da Sede do Município de Alto Alegre dos Parecis.

1.1 Objetivo

O objetivo do estudo é apresentar a situação sem dispositivos de proteção, e se necessário apresentar o funcionamento do sistema com dispositivos de proteção, dimensionando e alocando esses equipamentos.

Dispositivos de proteção são empregados de modo a atenuar transientes hidráulicos para permitir o bom funcionamento da linha tanto nas ocasiões de ocorrência de ondas de sobrepressão, quanto nas de ondas de subpressão.

1.2 Justificativa

A justificativa para estudo de transientes hidráulicos nesse projeto decorre tanto devido ao porte das estruturas da estação elevatória com barrilete de diâmetro de 150mm com bombas de 7,5cv como da linha de recalque DN 150mm com extensão de quase 250m.

Possíveis custos de manutenção tanto devido à desgaste com cavitação ou o reparo de rupturas justifica o estudo e dimensionamento de dispositivos de proteção.

1.3 Etapas

A atenuação dos transientes hidráulicos é realizada mediante as seguintes etapas (modificado de Tsutiya, 2006).

- Escolha do método de modelagem com software
- Definição das condições de contorno
- Cenário inicial
 - sem dispositivos de proteção
 - análise de perfil, das envoltórias e verificação de pontos críticos
 - análise da simulação temporal e características dos acessórios
 - calibração com medição de vazão e pressão
- Cenários com dispositivo(s)
 - indicação, dimensionamento e simulação do(s) dispositivo(s) adequados
 - análise de perfil, envoltória, pontos críticos e simulação temporal
 - análise da simulação temporal e características dos acessórios
- Alternativa ótima:
 - ajuste de dispositivos para alcançar menor custo global com redundância considerando: instalação, manutenção e operação.
 - Não se consideram custos para desconstrução ou destinação dos materiais ao final da vida útil.

Os elementos cujas características devem ser incluídas nas simulações são: fluidos; tubulação; conjunto moto-bomba; equipamentos de proteção.

1.4 Medidas preventivas contra transientes hidráulicos

As medidas para prevenir golpes de aríete incluem:

- instalação de dispositivos de proteção
- modificações nas bombas e válvulas (tempos, partidas e paradas)
- redução da velocidade aumentando diâmetro da tubulação
- redução da celeridade ao alterar material
- alterar inércia do conjunto motobomba
- aumentar classe de resistência da tubulação
- incluir linha de alívio de pressão: by-pass
- alterações nas elevações: mudar traçado e caminhamento

Conforme Vianna, 2021a, o traçado das adutoras deve ser feito de modo a minimizar o golpe de aríete, para tanto tem-se as seguintes recomendações:

- Projetar linhas de recalque com as menores extensões possíveis.
- Evitar adutoras com perfis excessivamente sinuosos. O ideal seria que elas apresentassem perfis em que a queda de altura ocorresse toda em seu trecho inicial.
- Manobrar lentamente as válvulas de extremidade em adutoras por gravidade.
- Ligar as bombas mantendo fechado os registros instalados a jusante delas e, só então, abri-los lentamente. No desligamento, ao contrário, fechar lentamente os registros e, só então, desligá-los.

Os dispositivos de proteção os quais podem ser empregados em ordem de preferência são: inversor de frequência com controle de torque para paradas e partidas programadas com energia; RHO, by-pass, válvula de retenção e válvula antecipadora de onda; seguidas por ventosas, Tanques de Alimentação, chaminé e também os outros dispositivos como válvula reguladora de pressão, válvula de alívio. Volantes de inércia são pouco usuais, especialmente em abastecimento de água, devido à custos de partida da bomba, elevada necessidade de manutenção e rigorosa precisão na instalação.

1.5 Modelo de Cálculo

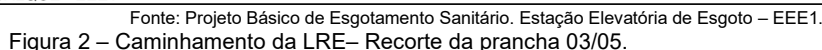
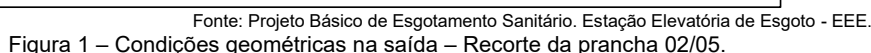
É empregado o método das características para estudo e atenuação dos transientes.

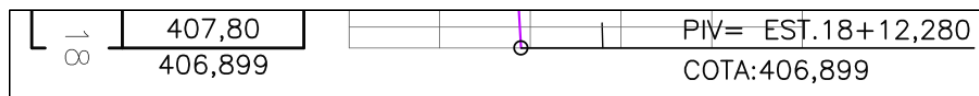
1.6 Normas utilizadas

O estudo de transientes hidráulicos na EEB segue as recomendações normativas:

- NBR 16682:2018 - Projeto de linha de recalque para sistema de esgotamento sanitário — Requisitos
- NBR 12208:2020 – Projeto de estação de bombeamento ou de estação elevatória de esgoto — Requisitos
- NBR 12215-1 – Projeto de adutora de água Parte 1: Conduto Forçado

Para calcular os transientes hidráulicos, é relevante a definição do modelo equipamento de bombeamento. Uma vez que o projeto básico apenas indica o tipo da bomba e a curva do sistema e é desconhecido um modelo, fica faltando para a modelagem adequada de transitórios hidráulicos: o número de polos, o ponto de melhor eficiência, a inércia do conjunto motobomba e sua rotação. Além disso, as características utilizadas como referência no projeto básico não é capaz de fornecer a manométrica de projeto.





Fonte: Projeto Básico de Esgotamento Sanitário. Estação Elevatória de Esgoto – EEE1.

Figura 3 – Condições geométricas da chegada da LRE (rotacionado)– Recorte da prancha 03/05.

A partir dos recortes selecionados, observa-se que:

- NA mín: 400,480m
- NA máx: 401,830m
- Extensão da LRE: 372,28m
- Nível de chegada: 406,899m

Assim, é feita a seleção de conjunto motobomba para as condições apresentadas acima e detalhadas na sequência.

2.1 Equações Hidráulicas

2.1.1 Perdas de Carga localizadas

Conforme Porto, 2006:

$$hl = k \frac{v^2}{2g}$$

Onde, hl: Perda de carga localizada, em m; V: Velocidade média do fluxo na tubulação considerada, em m/s; K: Coeficiente de perda localizada; g: aceleração da gravidade, igual a 9,81 m/s². Essas perdas podem ser desprezadas quando $L > 4000 \cdot D$ (Netto, 1998)

2.1.2 Reynolds

Conforme Porto, 2006:

$$Rey = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Rey: número de Reynolds; ν : viscosidade cinemática da água, a 20° C, igual a 1,0 x 10-6 m²/s.

$\nu = \mu / \rho$

μ é a viscosidade dinâmica, N.s/m²

ρ é a densidade do fluido, em kg/m³

2.1.3 Perdas de carga distribuídas por Darcy-Weisbach

Conforme Porto, 2006:

$$Hd = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

13

E.EE1.SAP.001-D001.V01.T01

Onde:

Hd: perda de carga distribuída (m); f: coeficiente de perda de carga distribuída; L: extensão do conduto (m); D: diâmetro hidráulico do conduto (m); V: velocidade média na seção normal da canalização (m/s).

Com f calculado por (Porto, 2006):

Hagen-Poiseuille para Reynolds menor que $2,3 \cdot 10^3$

$$f = \frac{64}{Rey}$$

Swamee e Jain para escoamento turbulento quando Rey está entre $5 \cdot 10^3$ e 108 e a razão e/Dh está entre 10^{-6} e 10^{-2} .

$$f = \frac{0,25}{\left(\log \frac{k}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Rey^{0,9}} \right)^2}$$

Onde k: coeficiente de rugosidade uniforme equivalente (m). Este coeficiente foi adotado como igual a 0,01 mm para PEAD até 200 mm e 0,025 mm para PEAD de diâmetros iguais ou superiores a 200 mm (NBR 15802). Para tubulações de PVC/PBA e PVC/DEFOFO igual a 0,06 mm e 2,5 mm para FoFo. Aço galvanizado de 0,10 mm.

Colebrook-White para os outros casos

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left(\frac{k}{3,71 \cdot D} + \frac{2,51}{Rey \cdot \sqrt{f}} \right)$$

2.1.4 A altura manométrica para dimensionamento das bombas é calculada pela fórmula:

Conforme Porto, 2006:

$$H_{man} = H_g + H_l + H_d$$

Onde, Hman: Altura manométrica, em m; Hg: Altura geométrica, em m; Hl e Hd: perdas de carga localizadas e distribuídas, em m.

2.2 Verificação Hidráulica

A seguir é apresentada a verificação hidráulica em regime permanente.

Quadro 1 – Peças para verificação em regime permanente.

Sucção - T1			T2			T3			LRE		
Peça	n	K	Peça	n	K	Peça	n	K	Peça	n	K
E Tub	1	0,50	C90°	3	0,90	Tê PD	1	0,60	Saída	1	1,00
		-	AGrad.	1	0,30	C90°	1	0,90			-
		-	V Ret port.	1	3,00			-			-
		-	Vgavt plena	1	0,20			-			-
		-	Tê PD	1	0,60			-			-
		-			-			-			-
	Σnk:	0,50		Σnk:	6,80		Σnk:	1,50		Σnk:	1,00

Quadro 2 - Verificação em regime permanente (1).

CÁLCULO DAS PERDAS														
Água a 20°C v = 1,01E-06 m³/s														
Vazão = 5,46 L/s														
Tubulação	Material	DN (mm)	DI (mm)	L (m)	Rugosidade (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	Σ nK =	ΔH loc (m)	Rey	f	ΔH dist (m)	ΔHf dist (m/km)	ΔH tot (m)
Sucção - T1	FoFo F	150	153,00	0,10	2,500	5,46	0,30	0,50	0,00	44.950,68	0,0460	0,00	1,35	0,00
T2	FoFo F	150	153,00	9,96	2,500	5,46	0,30	6,80	0,03	44.950,68	0,0460	0,01	1,35	0,04
T3	FoFo F	150	153,00	1,88	2,500	5,46	0,30	1,50	0,01	44.950,68	0,0460	0,00	1,35	0,01
LRE	FoFo k7 JGS	150	154,60	372,28	2,500	5,46	0,29	1,00	0,00	44.485,48	0,0458	0,48	1,28	0,48
Total				384,22					0,04	0,49				0,54
Vazão = 10,91 L/s														
Tubulação	Material	DN (mm)	DI (mm)	L (m)	Rugosidade (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	Σ nK =	ΔH loc (m)	Rey	f	ΔH dist (m)	ΔHf dist (m/km)	ΔH tot (m)
Sucção - T1	FoFo F	150	153,00	0,10	2,500	10,91	0,59	0,50	0,01	89.901,37	0,0455	0,00	5,34	0,01
T2	FoFo F	150	153,00	9,96	2,500	10,91	0,59	6,80	0,12	89.901,37	0,0455	0,05	5,34	0,18
T3	FoFo F	150	153,00	1,88	2,500	10,91	0,59	1,50	0,03	89.901,37	0,0455	0,01	5,34	0,04
LRE	FoFo k7 JGS	150	154,60	372,28	2,500	10,91	0,58	1,00	0,02	88.970,95	0,0454	1,88	5,05	1,90
Total				384,22					0,18	1,94				2,12
Vazão = 13,09 L/s														
Tubulação	Material	DN (mm)	DI (mm)	L (m)	Rugosidade (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	Σ nK =	ΔH loc (m)	Rey	f	ΔH dist (m)	ΔHf dist (m/km)	ΔH tot (m)
Sucção - T1	FoFo F	150	153,00	0,10	2,500	13,09	0,71	0,50	0,01	107.881,64	0,0454	0,00	7,68	0,01
T2	FoFo F	150	153,00	9,96	2,500	13,09	0,71	6,80	0,18	107.881,64	0,0454	0,08	7,68	0,25
T3	FoFo F	150	153,00	1,88	2,500	13,09	0,71	1,50	0,04	107.881,64	0,0454	0,01	7,68	0,05
LRE	FoFo k7 JGS	150	154,60	372,28	2,500	13,09	0,70	1,00	0,02	106.765,14	0,0453	2,70	7,26	2,73
Total				384,22					0,25	2,80				3,05

Quadro 3 - Verificação em regime permanente (2).

Vazão = 15,71 L/s														
Tubulação	Material	DN (mm)	DI (mm)	L (m)	Rugosidade (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	$\Sigma nK =$	ΔH_{loc} (m)	Rey	f	ΔH_{dist} (m)	$\Delta H_{f dist}$ (m/km)	ΔH_{tot} (m)
Sucção - T1	FoFo F	150	153,00	0,10	2,500	15,71	0,85	0,50	0,02	129.457,97	0,0454	0,00	11,04	0,02
T2	FoFo F	150	153,00	9,96	2,500	15,71	0,85	6,80	0,25	129.457,97	0,0454	0,11	11,04	0,36
T3	FoFo F	150	153,00	1,88	2,500	15,71	0,85	1,50	0,06	129.457,97	0,0454	0,02	11,04	0,08
LRE	FoFo k7 JGS	150	154,60	372,28	2,500	15,71	0,84	1,00	0,04	128.118,17	0,0452	3,89	10,44	3,92
Total				384,22					0,36			4,02		4,38
Vazão = 19,64 L/s														
Tubulação	Material	DN (mm)	DI (mm)	L (m)	Rugosidade (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	$\Sigma nK =$	ΔH_{loc} (m)	Rey	f	ΔH_{dist} (m)	$\Delta H_{f dist}$ (m/km)	ΔH_{tot} (m)
Sucção - T1	FoFo F	150	153,00	0,10	2,500	19,64	1,07	0,50	0,03	161.822,46	0,0453	0,00	17,22	0,03
T2	FoFo F	150	153,00	9,96	2,500	19,64	1,07	6,80	0,40	161.822,46	0,0453	0,17	17,22	0,57
T3	FoFo F	150	153,00	1,88	2,500	19,64	1,07	1,50	0,09	161.822,46	0,0453	0,03	17,22	0,12
LRE	FoFo k7 JGS	150	154,60	372,28	2,500	19,64	1,05	1,00	0,06	160.147,71	0,0451	6,06	16,29	6,12
Total				384,22					0,57			6,27		6,84
Vazão = 25,53 L/s														
Tubulação	Material	DN (mm)	DI (mm)	L (m)	Rugosidade (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	$\Sigma nK =$	ΔH_{loc} (m)	Rey	f	ΔH_{dist} (m)	$\Delta H_{f dist}$ (m/km)	ΔH_{tot} (m)
Sucção - T1	FoFo F	150	153,00	0,10	2,500	25,53	1,39	0,50	0,05	210.369,20	0,0452	0,00	29,07	0,05
T2	FoFo F	150	153,00	9,96	2,500	25,53	1,39	6,80	0,67	210.369,20	0,0452	0,29	29,07	0,96
T3	FoFo F	150	153,00	1,88	2,500	25,53	1,39	1,50	0,15	210.369,20	0,0452	0,05	29,07	0,20
LRE	FoFo k7 JGS	150	154,60	372,28	2,500	25,53	1,36	1,00	0,09	208.192,03	0,0451	10,23	27,49	10,33
Total				384,22					0,96			10,58		11,54

Quadro 4 – Altura geométrica.

Dados Saída						Dados Chegada				
Local Saída	Terreno Saída (m)	Fundo Saída (m)	Altimetria bomba (mca)	NA ou carga sucção mín (m)	NA ou carga sucção máx. (m)	Local chegada	Terreno chegada (m)	Fundo Chegada (m)	NA ou carga destino mín. (m)	NA ou carga destino máx (m)
Poço EEB	406,50	399,880	399,880	400,48	401,83	PV destino	407,80	406,90	406,90	406,90

Quadro 5 – Altura Manométrica Total.

ALTURA MANOMÉTRICA TOTAL (1 + 1r)							Potência		
	Hg (mca)	Perdas (mca)	AMT Min (mca)	AMT Máx (mca)	Vazão (L/s)	Vazão (m3/h)	Rendimento (%)	Potência (kW)	Potência (cv)
MINIMA	5,07 a 6,42	0,54	5,61	6,96	5,46	19,64	20%	1,88	2,55
MEDIA	5,07 a 6,42	2,12	7,19	8,54	10,91	39,28	36%	2,56	3,48
MAX DIARIA	5,07 a 6,42	3,05	8,12	9,47	13,09	47,136	41%	2,96	4,03
80% DA MAX. HORARIA	5,07 a 6,42	4,38	9,45	10,80	15,71	56,5632	47%	3,56	4,85
MAXIMA HORARIA	5,07 a 6,42	6,84	11,91	13,26	19,64	70,704	54%	4,74	6,45
1,3 x Qmáx	5,07 a 6,42	11,54	16,61	17,96	25,53	91,9152	62%	7,29	9,91

2.3 Curva do Sistema

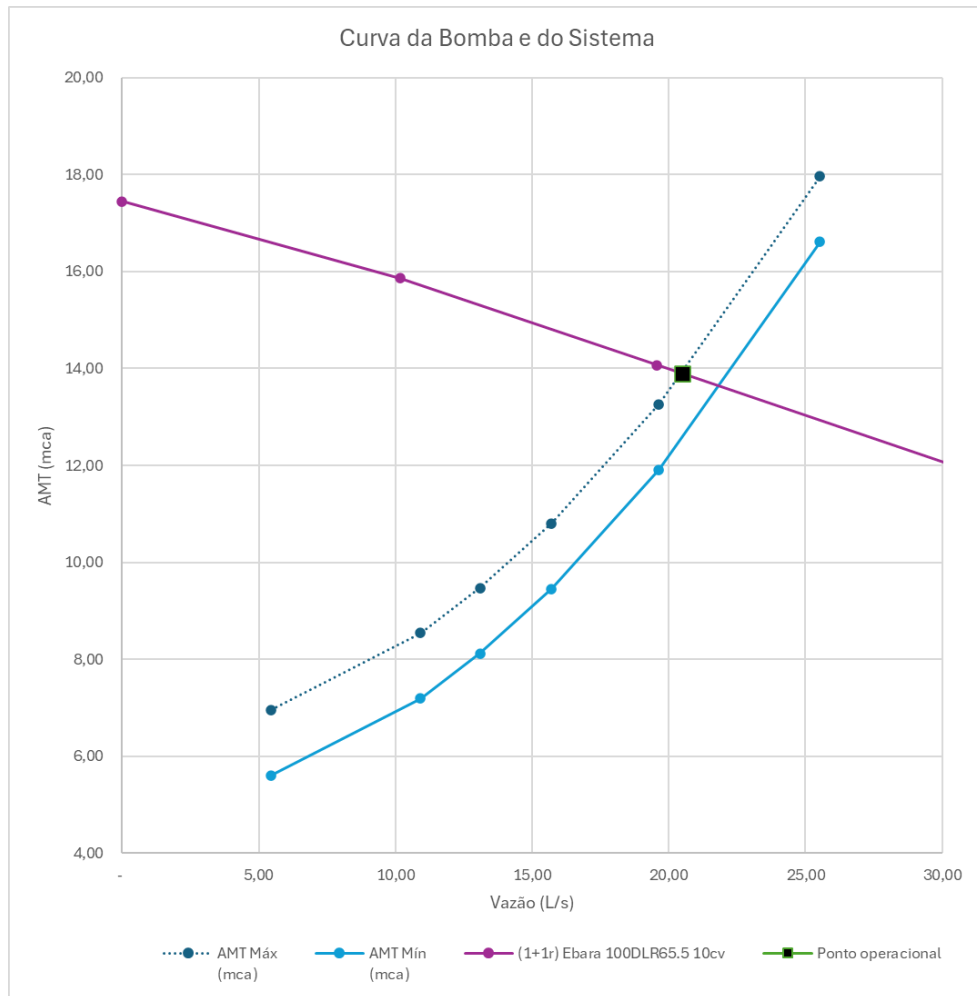


Figura 4 – Ponto Operacional.

Quadro 6 - Ponto de operação das máquinas hidráulicas.

BOMBA REFERÊNCIA:	(1+1r) Ebara 100DLR65.5			
MOTOR REFERÊNCIA:	(1+1R) MBRARMT5.5 10cv			
Ponto operacional				
Vazão total	20,50	L/s	73,80	m3/h
Vazão por bomba	20,50	L/s	73,80	m3/h
Manométrica	13,90	mca		
Rendimento	55%			
Potência calculada	5,07	kW	6,90	cv
Potência instalada	7,36	kW	10,00	cv
Reserva de potência	45%			

2.3.1 Dados da Bomba Referência

A bomba referência é: Ebara 100DLR65.5, com curva característica na Figura 5. Rotor semiaberto de 173,65mm, material Ferro Fundido, tensão 220V, 60Hz, 4P, 1800rpm, trifásica, ponto de melhor eficiência (BEP) 41,17 L/s, 10,1mca e 68,64%. A bomba é apresentada na Figura 5 e Figura 6, com dados completos no Anexo 01.

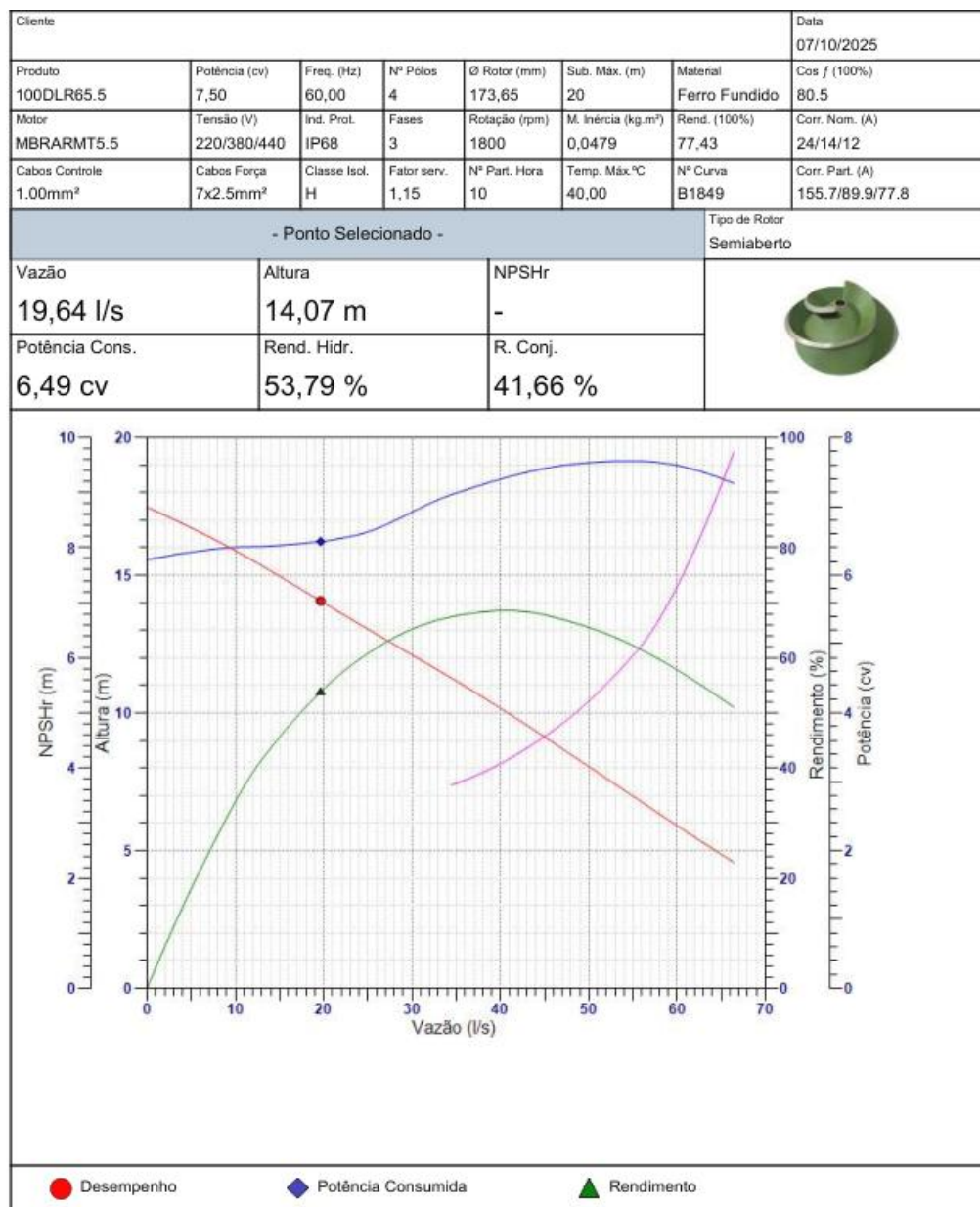


Figura 5 - Curvas características da bomba.

Modelo
100DLR, 7.5~10cv

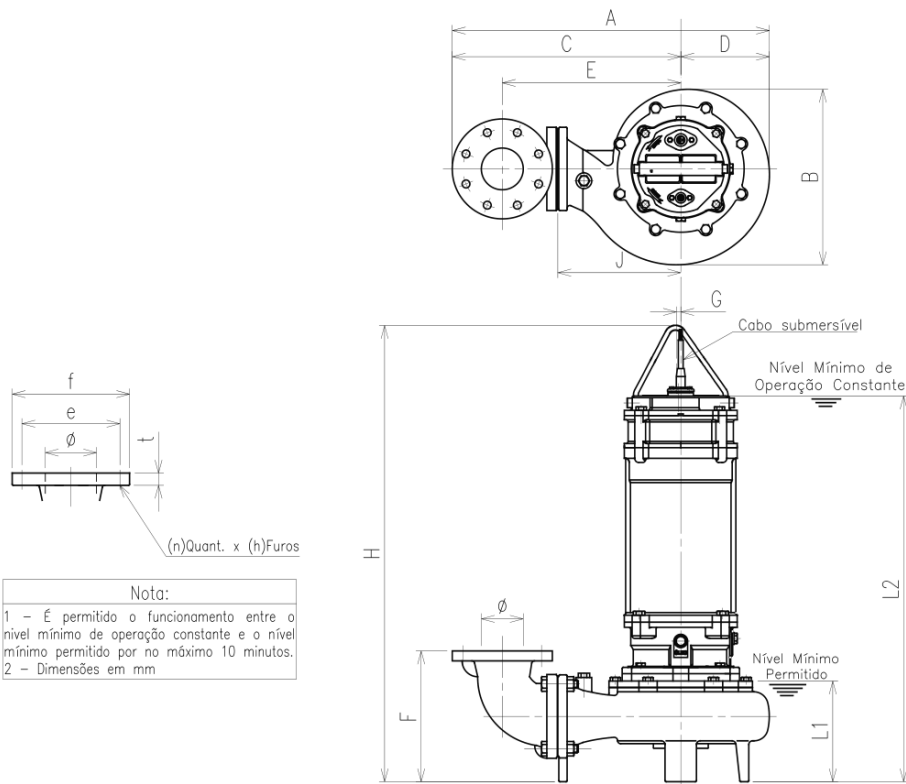


Figura 6 – Representações da bomba referência.

Uma vez que essa bomba possui nível mínimo de operação devido à sua submersão diferente da bomba anterior, é exigido que o NA mínimo seja de 400,693m.

3 Critérios e Parâmetros Transientes

3.1 Água e ar

Considera-se as propriedades da água e do ar abaixo e conforme Quadro 7:

- Módulo de elasticidade da água doce
 - a 20° C: 2,19 GPa (Chaudhry, 2014)
 - a 25° C: 2,22 GPa (Streeter e Wylie, 1979)
- Viscosidade da água a 20° C:
 - Absoluta (μ): $1,01 \cdot 10^{-3} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$
 - Cinemática (ν): $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- A quantidade de ar dissolvida na água é normalmente 2% em volume. (Barbosa, 2015). Esse é o valor da solubilidade da água à pressões ambiente, na pressão de 14mca, 30mca e 69mca, a solubilidade alcança valores de 4%, 6,6% e 14%. A quantidade de ar presente depende principalmente da temperatura e pressão e é composta por Nitrogênio(78%) e Oxigênio (21%).

- Pressão atmosférica mínima em Brasília: 862,8 mB ou 8,796mca. (Inmet, 2020)
- Densidade do ar a 20° C e 1 atm: 1,204 kg/m³
- Viscosidade dinâmica do ar de 1,825*10⁻⁵ e visc dinâmica de 1,516*10⁻⁵.

Quadro 7 - Propriedades físicas da água .

Temperatura	Massa específica (kg/m ³)	Pressão de vapor (Pa)	Viscosidade absoluta (μ) (10 ⁻³ N*s/m ²)	Viscosidade cinemática (ν) (10 ⁻⁶ m ² /s)
20° C	998,2	3.169,00	1,01	1,01
25° C	997,1	4.238,00	0,89	0,89

Fonte: BiBernado et al, 2017

Cavitação ocorre quando as pressões no líquido são reduzidas abaixo da sua pressão de vapor, formando bolhas ou bolsas de ar. Pode ocorrer devido à mal dimensionamento do NPSH, operação em temperatura do fluido, rotação ou ponto de trabalho diferentes dos previstos idealmente. Trechos de sucção, transferência de energia mecânica ao líquido, regimes transientes ou estrangulamento são sujeitos ao fenômeno. Sinais e problemas incluem ruídos de estouro devido à implosão de bolhas, vibração, alteração de curvas características, erosão nas pás do rotor, aceleração da corrosão e desgaste de peças e revestimentos.

Ao nível do mar a pressão atmosférica é de 1013,25 hPa e a água cavita à -10,33mca. Em Brasília a cavitação ocorrerá quando a pressão da água for de -8,796 mca, chamada de pressão sub atmosférica. Garantindo que as pressões fiquem acima desse limite, não há separação de coluna. No entanto, podem ocorrer formação de cavidades de vapor pontuais, e os subseqüentes picos de sobrepressões advindos da fase de rejuntamento da fase líquida associada à cavitação transitória. Assim, podem ocorrer vibrações e até mesmo entrada de água nas tubulações e dano em juntas ou conexões quando as pressões forem próximas da pressão sub atmosférica.

3.2 Tubulações

Será empregado o Ferro Fundido JGS k7, adequado à Linhas de Recalque.

As tubulações do barrilete são em Ferro dúctil fundido (FoFo) flangeado PN10.

Módulo de elasticidade:

- FoFo 170 GPa (NBR 7675)

Coefficiente de Poisson do material do tubo

- FoFo 0,29

Todas as tubulações e conexões em FoFo do barrilete devem atender as recomendações da NBR 15420-2022, NBR 7676 e NBR 9651.

3.3 Sobrepressão Máxima

3.3.1 Conexões com Flanges PN10

Os valores máximos de Pressão de serviço admissível (PSA) de 1,0MPa, Pressão máxima Admissível (PMS) de 1,20MPa e Pressão de teste Admissível (PTA) de 1,7MPa, conforme NBR 7675/2022, anexo C item C.4 Conexões com flange(s).

3.3.2 Conexões Ponta e Bolsa JGS k7

Os valores máximos de PSA, PMS e PTA para tubo 150mm com conexões com bolsas, com exceção de tês, os valores de PSA, PMS e PTA devem ser iguais aos especificados na Tabela C.1 para os tubos de classe K9: igual a 6,4 MPa para PSA, 7,7MPa para PMS e 8,2MPa para PTA.

3.4 Subpressão Limite

Conforme a NBR 15240/2022 item “5.10.1 Projeto e construção”, redes projetadas e construídas para sistemas de coleta e transporte de esgotos com fluxo contínuo, que empregam componentes de ferro dúctil, fabricados de acordo com a Norma, devem apresentar estanqueidade a pressão negativa ocasional de até -0,08 MPa ou aproximadamente -8mca.

Assim, são previstos valores de subpressão de até -7 mca para o FoFo.

4 Equações e Características

4.1 Celeridade

A verificação da velocidade da variação do escoamento (celeridade) é dada pela fórmula (Chaudry, 1987):

$$c = \sqrt{\frac{\frac{K}{\rho}}{1 + \left(\frac{K}{E} * \frac{D}{e}\right) \psi}}$$

Onde,

- c= celeridade da onda (m/s) igual a 1362,33 para FoFo F PN10 e 1366,09 para FoFo JGS k7
- K = módulo de elasticidade do fluido (GPa), igual a 2,22 Gpa para água a 25°C
- ρ= densidade do líquido (kg/m³) 997,1 kg/m³ para água
- E = módulo de elasticidade do material da tubulação (170GPa para FoFo)
- D = diâmetro interno (mm) igual a 154,60 para FoFo F PN10 e 153,00 para FoFo JGS k7
- e = espessura do tubo (mm) igual a 7,7 para FoFo F PN10 e 8,5 para FoFo JGS k7
- ψ = coeficiente de ancoragem da tubulação igual a 0,93 para FoFo F PN10 e 1,00 para FoFo JGS k7

Para o coeficiente de ancoragem das tubulações, tem-se:

$$\begin{aligned}\psi_{\text{ancorado}} &= (1 - v^2) \\ \psi_{\text{ancorado ponta}} &= \left(1 - \frac{v}{2}\right) \\ \psi_{\text{juntas livres}} &= 1\end{aligned}$$

v = coeficiente de Poisson (0,29 para FoFo)

A celeridade do FoFo foi arredondada para 1250 m/s para emprego do método das características, arredondamento máximo de 9,29%.

4.2 Estabilidade de Courant

Considerando o método das características e os caminhos característicos, tem-se:

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{c}$$

Em que:

Δt = intervalo de cálculo, em s; de 0,0001s

Δx = comprimento dos tramos, em m; de 125000*0,0001=0,125m para FoFo

c = celeridade, em m/s. 1250,00 para FoFo

Considerando o comprimento total da LRE como 372,28, tem-se 596 tramos.

4.3 Tempo crítico

O tempo crítico é o valor que diferencia o tempo de fechamento da válvula em manobra lenta ($t \leq t_c$) ou rápida ($t > t_c$), ele é calculado pela fórmula:

$$t_c = \frac{2 * L}{c}$$

Onde,

- t_c = tempo crítico (s); de 0,55 s
- L = Comprimento da tubulação; 372,28 m;
- c = celeridade (m/s). 1.366,09 m/s

4.4 Frequência

A frequência da tubulação é dada por:

$$f = \frac{c}{4 * L}$$

Em que:

f = frequência da onda, em Hz; 0,917

- L = Comprimento da tubulação; 372,28 m;
- c = celeridade (m/s). 1.366,09 m/s

4.5 Pulso de Allievi-Joukowski

A estimativa do cálculo de variação de pressão na linha de recalque, desconsiderando atrito, é dado pela equação de Joukowski e Allievi:

$$\Delta H = \frac{c * \Delta V}{g}$$

Em que:

- ΔH = variação de pressão, em mca. 198,60 mca
- c = celeridade (m/s). 1.366,09 m/s
- g = aceleração da gravidade, 9,81m/s².
- ΔV = é a variação da velocidade, em m/s. 1,43 m/s

4.6 Envoltórias de Joukowski

$$H = H_0 \pm \Delta H$$

Em que:

- H_0 é a altimetria da linha de pressão no ponto avaliado, em m. 401,83m (valor de NA máximo) + 13,90 (pressão na saída da bomba) = 413,74m
- ΔH = variação de pressão, em mca. 198,60 m

Assim:

$$\begin{aligned} H_{\text{mín}} &= 217,13 \text{ m} \\ H_{\text{máx}} &= 614,33 \text{ m} \end{aligned}$$

A subpressão e sobrepressão são excessivas na bomba.

4.7 Resultado da avaliação preliminar

Pelos cálculos simplificados, há necessidade de atenuação de transientes hidráulicos. Assim, é necessário a realização de modelagem em software específico para verificar os transientes.

4.8 Inércia do conjunto motobomba

A inércia do conjunto girante é resultado da inércia do conjunto motobomba com rotor do motor, rotor da bomba, eixo, luvas, água, resistência elétrica. Essa inércia total é calculada conforme Thorley (2004), com equação obtida a partir de bombas centrífugas radiais e mistas com entrada simples ou dupla, de estágio simples ou multistágios, com eixo vertical e horizontal. A equação para inércia do motor é resultado da simulação de motor elétricos de diferentes tipos e fabricantes para bombas rotativas:

$$I_{cmb} = I_{bomba} + I_{motor}$$

$$I_{cmb} = 0,03768 * \left(\frac{P}{N^3}\right)^{0,9556} + 0,0043 * \left(\frac{P}{N}\right)^{1,48}$$

Em que P é a potência do motor, em kW em a rotação na bomba em rad/min.

Calcula-se a soma:

$$I_{cmb} = 0,0026 + 0,0030 = 0,0056 \text{ kg m}^2$$

Não é considerada a inércia da água ou indução elétrica, situação conservadora no caso de queda de energia elétrica.

4.9 Tempo de Parada da Bomba

O tempo de parada da bomba é calculado mediante equação a seguir (DiBernardo et al, 2017).

$$t = C + \frac{L * V + \frac{GD^2 * \omega^2 * \eta}{8 * Q}}{(g * (H_g + \Delta H / 2))}$$

Em que:

- t=tempo de parada da bomba, em s; 3,38 s
- C= coeficiente tabelado, Quadro 8; igual a 1
- Hm=Altura manométrica, em m, igual a 13,90 m
- L=comprimento da tubulação, em m; 372,80 m
- V= velocidade do fluido, em m/s; 1,43 m/s
- GD2= inércia do conjunto moto bomba, em kg*m2; 0,0056
- ω=rotação da bomba, em rad/s; 1800
- η=rendimento da bomba, em %; 54 %
- Q=vazão, em m³/s; 0,02050 m³/s
- g=aceleração da gravidade= 9,81m/s²
- Hg=desnível geométrico, m; 6,42
- ΔH =perda de carga no escoamento permanente, em m; 7,48

Quadro 8 – Valores de C.

Hm/L	C
≤ 0,2	1
≤ 0,25	0,8
≤ 0,3	0,6
≤ 0,35	0,4
≤ 0,4	0

4.10 Relação entre o ponto operacional e o ponto de melhor operação

A vazão de uma bomba centrífuga é função da altura manométrica, rotação, torque e a inércia devido ao motor, bomba e água na carcaça.

Ao longo do funcionamento de uma bomba, tem-se:

$$v = \frac{Q}{Q_R}; h = \frac{H}{H_R}; \alpha = \frac{N}{N_R}; \beta = \frac{T}{T_R}$$

- I. Em operação usual, u , h , α e β são positivos. Se a bomba for super pressurizada por outras bombas ou por reservatório de montante ou ocorrer queda de carga após corte elétrico, o valor de h fica negativo enquanto u , α e β são positivos (dissipação de energia). Com u e α positivos e h e β negativo, é situação de turbina reversa.
- II. Após a queda de energia a bomba sai da operação usual, u fica negativo mesmo que h , α e β continuem positivos (dissipação de energia) devido à inércia da bomba.
- III. Se não houver dispositivo para prevenir rotação reversa, após queda de energia e quadrante II, a bomba tem β positivo e u , h , α negativos (turbina normal). Passando por limiar em que β é zero, a bomba pode alcançar situação de frenagem em que h é positivo e u , α e β são negativos (dissipação).
- IV. Em transientes, bomba pode entregar u , h , positivos enquanto α e β ficam negativos (bombeamento reverso). Devido à instalações elétricas inadequadas no motor, pode acontecer de apenas u ser positivo.

Visando definir as condições de contorno de um conjunto motor bomba, são feitas considerações a partir do regime permanente devido à pequenas informações quanto ao funcionamento das mesmas em condições intermediárias entre regimes permanentes.

Definidas as condições de contorno, pode-se verificar se ocorre parada brusca da bomba (Diniz, 2020).

4.11 Rotação Específica

A rotação específica da bomba será (Chaudry, 2014 p.123):

$$N_s = \frac{\omega_R \sqrt{Q_R}}{(g H_R)^{3/4}}$$

Em que:

N_s = Rotação específica em rad/s; 11,63

ω_R = rotação da bomba em rad/s, 1,22

Q_R = vazão em m³/s; 0,04117

g = 9,81 m/s²

H_R = altura manométrica, em m; 10,10

R = condição específica da bomba em ponto de melhor eficiência

Apesar de que a rotação específica é utilizada para classificar o tipo da bomba, bombas com N_s próximos e configurações diferentes podem ter comportamentos distintos em situações anormais (Chaudry, 2014).

5 Equipamentos e Acessórios

5.1 Partida e Parada Suave de Bombas

Objetivando aliviar picos elétricos e mecânicos na partida e parada, usualmente são previstos inversores de frequência com controle de torque.

5.2 Válvula de Retenção

É prevista a válvula de retenção para esgoto do tipo portinhola simples passagem plena com ângulo de abertura do obturador de 35°, a pressão de trabalho será de PN10, no diâmetro de 150mm. Foi empregada no projeto as dimensões da válvula referência Bermad-Valloy VA-406.

5.3 Registro de Manobra

O registro das bombas pode ter diferentes modelos, conforme Figura 7 abaixo, pode-se observar que a válvula de gaveta apresenta menor fechamento nos instantes iniciais.

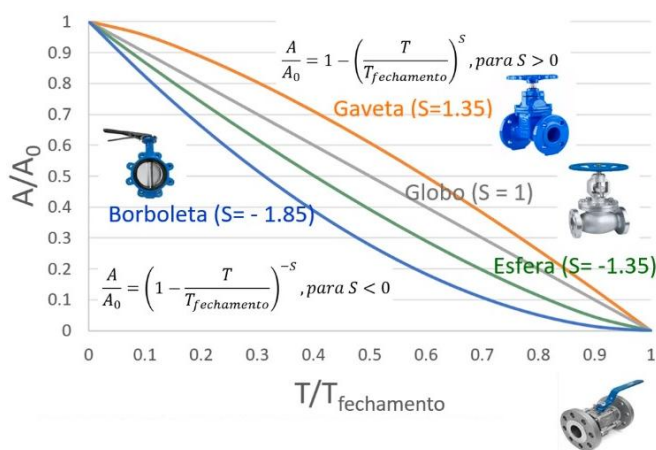


Figura 7 – Gráfico de fechamento de diversos registros.

5.4 RHO

O Reservatório Hidropneumático é uma câmara com ar comprimido na sua porção mais interna e água na parte mais próxima da tubulação (Chaudhry 2014). Para reduzir o seu volume, pode ser empregado orifício diferencial com menor restrição à vazão na saída da água e maior restrição na entrada, a razão de 2,5:1 é comum (Evans e Crawford apud Chaudhry 2014 e Vianna, 2021c). Também é chamado de vaso de pressão ou calderim.

A instalação do RHO ocorre após a bomba, separadas por válvula de retenção, essa instalação em posição deitada reduz custos de fundação e cargas de vento. A operação do RHO necessita de compressor de ar ou membrana interna (Vianna, 2021c) e equipamentos de controle auxiliares. O dimensionamento do RHO pode ser feito por equações e refinado com simulação computacional hidráulica (Chaudhry 2014).

Em momento de parada das bombas por falta de energia, o RHO injeta água na tubulação. E em momento de reversão de fluxo, a válvula fecha e o RHO recebe água da tubulação. (Chaudhry 2014)

Visto que ocorrem relatos operacionais de que ocorrem operações com RHO em que o ar alcança a tubulação e até mesmo chega na bomba, são modelados RHOs com fração de seu volume preenchido com ar em 33%.

O funcionamento de RHOs pela experiência atual CAESB demonstra falha na solda das membranas, que levam a manutenção muito frequente, sendo informado que o custo de reposição das membranas se aproxima do preço de reposição do reservatório. Visto que a durabilidade das membranas operadas pela CAESB usualmente alcança 5-10 anos, o uso de compressor é preferível para sistemas de abastecimento de água, em sistemas de esgoto, é previsto uso de membrana.

A variação do volume de ar varia entre isotérmica e adiabática, sendo uma intermediária para esses exemplos válida ao considerar expansão e compressão sucessiva sem perda de massa. O expoente politrópico “n” pode ser 1 quando isotérmica, 1,4 quando adiabática ou 1,2 quando o gás se comporta de maneira intermediária politrópica. Em situações que “n” é zero, a expansão é isobárica, e quando “n” tende ao infinito, tem-se um gás isocórico.

No caso de transientes hidráulicos rápidos e para câmeras pequenas, o processo é quase adiabático, em transientes lentos e para grandes volumes, tende a ser isotérmico. Chaudhry (2017) recomenda 1,2 visto que os transientes são rápidos no início e lentos no final. Quando se trata de formação de pequenas bolhas, pode-se assumir processos isotérmicos.

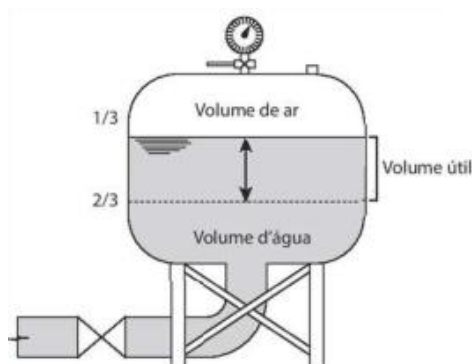
A seguir segue a equação derivada da equação geral dos gases ideais:

$$P_A * V_A^n = P_B * V_B^n = P_C * V_C^n = P_D * V_D^n$$

Onde P é a pressão absoluta do gás; e V é o volume do gás e “n” o expoente politrópico. Os coeficientes inferiores indicam a situação A, B, C ou D.

- A: RHO instalado em pressão atmosférica e coluna de água.
- B: RHO operando em regime permanente com pressão manométrica.
- C: RHO com subpressão mínima, em mca.
- D: RHO com sobrepressão máxima, em mca.

Modelo de RHO com orifício diferencial com ou sem by-pass pode ser observado na Figura 8 abaixo.



Fonte: Azevedo Netto 2018.

Figura 8 – Modelo de RHO.

Seu pré-dimensionamento é feito pelos ábacos de Parmakian (Vianna, 2021c p164). Para tanto, calcula-se:

$$2\rho' = c \cdot \frac{U_0}{g \cdot H_0}$$

$2\rho'$ = fator de consulta

c = celeridade

U_0 = velocidade em regime permanente, em m/s

$G = 9,81 \text{ m/s}^2$

H_0 = pressão em regime permanente, em m

E

$$x = 2C_0 \frac{c}{Q_0 L}$$

x = ordenada do ábaco

C_0 = volume crítico do reservatório

c = celeridade

Q_0 = vazão em regime permanente

L = comprimento da linha de recalque, em m

Após obtido o volume crítico do reservatório, calcula-se

$$C' = C_0 * \frac{H_0}{H}$$

C' = volume do reservatório, em m^3

H' = pressão em regime permanente – pressão máxima reduzida pelo RHO, em m

É previsto tanque hidropneumático para esgoto, com membrana, instalado na posição vertical, volume inicial de gás igual a 1/3 do total do volume do RHO.

6 Simulação do Sistema

6.1 Condições críticas

O sistema estará em condição crítica para uma parada do sistema com a máxima vazão operacional. Essa situação pode ocorrer em situação que haja queda de energia ou desligamento das bombas instantâneo.

Outra condição crítica é ocorre na partida da bomba com rotação fixa, verificou-se a partida da bomba em situação ordinária.

6.2 Cenários

As modelagens consideram os seguintes cenários e elementos, Quadro 9:

Quadro 9 - Cenários e elementos.

Cenário	Elementos	Condição crítica
1	Apenas equipamentos de funcionamento em regime permanente	Parada repentina
2	RHO	

6.3 Software Allievi

Os estudos de transientes hidráulicos foram elaborados mediante a utilização do software Allievi, destinado ao cálculo e simulação de transientes hidráulicos em sistemas pressurizados ou com lâmina livre.

Trata-se de um software gratuito publicado na Universidade Politécnica de Valência pelo ITA. É baseado em algoritmo proprietário utilizado em consultoria e assistência técnica.

Segundo o próprio manual, Schimidt (2016) e (Diniz, 2020), o programa utiliza o Método das Características (MOC) em condutos forçados. Podem ser utilizados reservatórios, estações de bombeamento, estruturas de controle de fluxo (água ou ar) ou proteção, leis de carga piezométrica ou de vazão impostas nos extremos das tubulações e turbinas Francis.

São disponíveis no software válvulas de retenção, válvulas de alívio, válvulas de sobrevelocidade (interrupção do fluxo para vazões elevadas), injetores (válvulas de descarga atmosférica), válvulas automáticas, válvulas compostas. Também há RHO, chaminé de equilíbrio, TAUs.

O software considera perdas por atrito em tubulações, peças e acessórios. O software não modela a influência da fluência do material.

São apresentados: configurações, modelo do lançamento, gráfico de envoltórias de pressão, comentários sobre as envoltórias e sobre o funcionamento de cada componente.

6.4 Configurações da Simulação

Foram adotadas as seguintes configurações, Figura 9.

Densidade (Kg/m ³)	998,20
Viscosidade cinemática (m ² /s)	0,0000001
Tensão de vapor (bar)	0,0316

Figura 9 - Configurações do Software

Buscando simular um momento em que a elevatória esteja operando e ocorra a falta de energia elétrica, considerou-se sistema inicialmente em regime permanente com parada da bomba após 1s do início da simulação.

A simulação foi feita a partir da inserção de curva da bomba, foi utilizada opção de cálculo de cavitação.

6.5 Configuração das Instalações

As configurações empregadas são apresentadas a seguir, na Figura 10, Figura 11, Figura 12 e Figura 13.

Nós		
	Nome	Cota (m)
	N1	399,88
	Nfim	406,899
	N3	399,88
	N4	399,88
	N6	405,534
	N9	405,37

Figura 10 - Configurações dos nós.

Reserv. - Dados Básicos							
Nome	Ni	Nf	Zs (m)	Tipo	S (m ²)	Z0 (m)	Zvar
D1	---	N1	399,88	PD	9,62	400,693	Não
D2	Nfim	---	406,899	PD	0,78	407	Não

Figura 11 - Configurações dos reservatórios.

Tubos - Dados Básicos										Perdas		Vazão nula	
Nome	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)	Perfil	Rug (mm)	k	Qin=0	H Imp
T1 - Sucçã	N1	399,88	N3	399,88	1000	1,25	10	1250	Calc.	1	0,5		-
T2	N4	399,88	N9	405,37	154,6	10	7,7	1250	Calc.	2,5	6,8		-
T3	N9	405,37	N6	405,534	154,6	1,875	7,7	1250	Calc.	2,5	1,5		-
T4 - LRE	N6	405,534	Nfim	406,899	15,3	372,5	8,5	1250	Calc.	2,5	1		-

Figura 12 - Configurações das tubulações.

Estação de bombas - Dados Básicos						
	Nome	Ni	Nf	Z (m)	Num	Curva
	B1	N3	N4	399,88	1	Universai
Instalação			Rotação			
V Reg	V Ret	By-Pass	Nreg	Nnom	I	
Não	Sim	Não	3600	3600	0,01	Calc.
Parada/Arranque						
Inicial	Param	Inst. par.	Novo arr	Arrancam	Inst. arr.	
Em marc	Sim	1	Não			

Figura 13 – Configurações do conjunto motobomba(1).

6.6 Croqui

Empregando o software Allievi, tem-se o seguinte croqui, Figura 14:

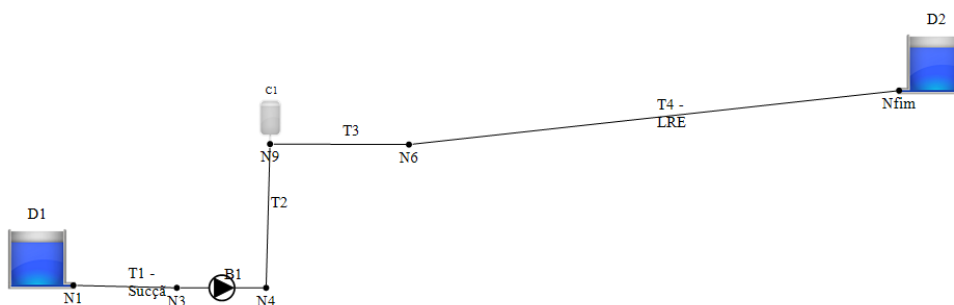


Figura 14 - Croqui da simulação.

Os nós N1 e N3 representam a sucção enquanto os nós N4, N9, N6 e Nfim representam o recalque. O trecho T1 representa a sucção da bomba enquanto os trechos T2 e T3 são o barrilete de FoFo, enquanto a LRE é o trecho da Linha de Recalque de Esgoto.

O reservatório D1 é a origem do fluido enquanto o D2 é o destino. A interligação no destino é feita abaixo do NA no destino, permitindo troca de fluido em subpressão e sobrepressões.

É instalado um RHO, chamado de C1, que a está inativo nas simulações.

6.7 Cenário 0: apenas retenções

Nesse cenário são empregadas:

- Válvulas de retenção junto às bombas