



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

GEORGE MATHEUS DIONISIO DE OLIVEIRA

**PROPOSTA DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE
ESGOTO PARA O MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN**

**NATAL-RN
2020**

George Matheus Dionísio de Oliveira

Proposta de uma estação de tratamento de esgoto para o município de Poço Branco/RN

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade Projeto Técnico em Engenharia, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Eduardo Vieira
Cunha

Coorientador: Prof(a). Dr(a). Silvânia Lucas Dos
Santos

Natal-RN
2020

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Sistema de Bibliotecas - SISBI
Catalogação de Publicação na Fonte. UFRN - Biblioteca Central Zila Mamede

Oliveira, George Matheus Dionisio de.

Proposta de uma Estação de Tratamento de Esgoto para o município de Poço Branco/RN / George Matheus Dionisio de Oliveira. - 2020.

80f.: il.

Monografia (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Graduação em Engenharia Civil, Natal, 2020.

Orientador: Dr. Paulo Eduardo Vieira Cunha.

Coorientadora: Dr. Silvânia Lucas Dos Santos.

1. Projeto técnico - Monografia. 2. ETE - Monografia. 3. Reator UASB - Monografia. 4. Lagoa de polimento - Monografia. I. Cunha, Paulo Eduardo Vieira. II. Santos, Silvânia Lucas Dos. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 624

George Matheus Dionisio de Oliveira

Proposta de uma estação de tratamento de esgoto para o município de Poço Branco/RN

Trabalho de conclusão de curso na modalidade Projeto Técnico em Engenharia, submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Norte como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 07 de dezembro de 2020.

Prof. (a). Dr.(a). Paulo Eduardo Vieira Cunha

Prof(a). Dr(a). Silvânia Lucas Dos Santos

Amanda Bezerra de Souza – Examinadora externa

Debora Marina Diogenis Rego do Nascimento – Examinadora externa

Natal-RN

2020

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por guiar a minha vida e me rodear de pessoas que me incentivaram a crescer pessoalmente e profissionalmente.

Aos meus pais, José e Ana, pessoas que antes de tudo, me educaram e incentivaram a seguir meus sonhos.

Aos meus irmãos, Kamila, Nayara, e Felipe, pelo carinho e companheirismo.

À minha noiva, Luana Araújo, pelo apoio e pelo companheirismo.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Eduardo Vieira Cunha por ter aceitado acompanhar-me neste projeto. O seu empenho foi essencial para a minha motivação à medida que as dificuldades iam surgindo ao longo do percurso.

Agradeço a minha coorientadora, Prof.(a). Dra. Silvânia Lucas dos Santos que também aceitou acompanhar-me neste projeto e me forneceu todas as bases necessárias para a realização deste trabalho.

Aos amigos feitos durante a graduação que tanto permitiram meu crescimento e que marcaram esses longos anos de estudo com demonstrações de companheirismo e confiança.

RESUMO

Proposta de uma estação de tratamento de esgoto para o município de Poço Branco/RN

O presente trabalho tem como objetivo projetar uma estação de tratamento de esgoto sanitário para atender à área urbana do município de Poço Branco-RN. O sistema proposto inclui: tratamento preliminar composto por grades manuais e desarenadores, seguido por tratamento biológico em reator anaeróbio tipo UASB e pós tratamento em lagoa de polimento. Na elaboração desse projeto foram desenvolvidas as seguintes atividades: revisão bibliográfica; concepção do sistema de tratamento; caracterização da área; dimensionamento das unidades de tratamento; e elaboração das pranchas do projeto. De acordo com as estimativas realizadas, foi constatado a expectativa de eficiência de remoção de DBO e DQO, 86,62 mgDQO/L e 197,05 mgDQO/L, respectivamente, atendendo aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Em relação a eficiência de remoção organismos patogênicos, o sistema foi estimado com concentração efluente de 110 org/100mL, resultado inferior à requerida pela Resolução 357/05 do CONAMA para enquadramento na condição de concentração de CT para lançamento de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

Palavras-chave: Projeto técnico. ETE. Reator UASB. Lagoa de polimento.

ABSTRACT

Proposal for a sewage treatment plant for the city of Poço Branco / RN

The present work objective design a sanitary sewage treatment plant to serve the urban area of the city of Poço Branco-RN. The proposed system includes: preliminary treatment consisting of railing and grit chambers, followed by biological treatment in a UASB type anaerobic reactor and post treatment in a polishing pond. In the elaboration of this project, the following activities were developed: bibliographic review; treatment system design; characterization of the area; dimensioning of treatment units; and elaboration of the project planks. According to the estimates made, it was found the expectation of removal efficiency for BOD and COD, 86.62 mgDQO / L and 197.05 mgDQO / L, respectively, meeting the standards established by environmental legislation. Regarding the efficiency of removing pathogenic organisms, the system was estimated with an effluent concentration of 110 org / 100mL, a result lower than that required by CONAMA Resolution 357/05 to fit the condition of CT concentration to discharge effluents from treatment systems. sanitary sewage.

Keywords: Technical project. ETE. UASB Reactor. Polishing pond.

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Localização do município de Poço Branco/RN. | 17 |
| Figura 2- Representação esquemática do sistema de tratamento preliminar. | 21 |
| Figura 3- Representação esquemática de um reator UASB retangular. | 23 |
| Figura 4 – Gradeamento manual da ETE Rio Sorocaba. | 26 |
| Figura 5 – Desarenadores (ao centro) da ETE Rio Sorocaba. | 27 |
| Figura 6 – Calha Parshall da ETE Capuava. | 28 |
| Figura 7- Estrutura de distribuição do efluente da ETE Mangueira em Recife-PE. | 29 |
| Figura 8- Representação esquemática de um sistema de gases. | 31 |
| Figura 9- Seção transversal esquemática de um leito de secagem. | 32 |

INDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – População residente em área urbana de Poço Branco..... | 33 |
| Tabela 2 – Métodos de projeções populacionais. | 34 |
| Tabela 3 - Resultado da projeção populacional. | 36 |
| Tabela 4 - Resultado da estimativa de vazões. | 38 |
| Tabela 5 - Tipo de grade, espaçamento e Seção transversal das grades. | 38 |
| Tabela 6 - Resultado do dimensionamento do gradeamento. | 41 |
| Tabela 7 - Dados da calha Parshall | 42 |
| Tabela 8 - Dimensões para calhas Parshall de pequenas dimensões | 44 |
| Tabela 9 - Resultado do dimensionamento do desarenador..... | 47 |
| Tabela 10 - Tempo de detenção hidráulica em horas..... | 48 |
| Tabela 11 - Resultado do dimensionamento do reator UASB. | 49 |
| Tabela 12 - Velocidade superficial recomendada para o projeto de reatores UASB...50 | |
| Tabela 13 - Resultado de verificações de carga aplicada e velocidades superficiais. .51 | |
| Tabela 14 – Estimativa de eficiência. | 52 |
| Tabela 15 – Resultado do dimensionamento dos leitos de secagem. | 56 |
| Tabela 16 - Resultado do dimensionamento das lagoas de polimento. | 62 |

SIMBOLOGIA

| SÍMBOLO | SIGNIFICADO |
|-------------------|--|
| a | Abertura da grade |
| A_u | Área útil do canal |
| B_{des} | Largura do desarenador |
| CHV | Carga hidráulica volumétrica |
| C_{CH_4} | Concentração de metano no biogás |
| C_v | Carga orgânica volumétrica |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| DQO_{CH_4} | Produção de biogás |
| e | Espaçamento da grade |
| E_{DBO} | Eficiência do reator UASB em termos de remoção de DBO |
| E_{DQO} | Eficiência do reator UASB em termos de remoção de DQO |
| E_{grade} | Eficiência da grade |
| $f(T)$ | Fator de correção para a temperatura operacional do reator |
| h | Altura da lâmina de água no canal |
| $h_{máx}$ | Altura máxima do canal |
| $h_{mín}$ | Altura mínima do canal |
| hf | Perda de carga |
| H_{reator} | Altura do reator (m). |
| I | Intervalo de limpeza |
| K_1 | Coefficiente de máxima vazão diária |
| K_2 | Coefficiente de máxima vazão horária |
| K_3 | Coefficiente de mínima vazão horária |
| K_a | Coefficiente de progressão aritmética |
| K_{DQO} | DQO correspondente a 1 mol de CH_4 |
| K_g | Coefficiente de progressão geométrica |
| L_{des} | Comprimento do desarenador |
| L_{rede} | Comprimento da rede de esgoto |
| $L_{0\ UASB,DQO}$ | Carga afluyente média de DQO |

| | |
|-------------------|---|
| P | Pressão atmosférica |
| Pop | População para idade de projeto |
| Q_{CH_4} | Produção volumétrica de metano |
| Q_{inf} | Vazão de infiltração |
| $Q_{m\acute{a}x}$ | Vazão máxima |
| $Q_{m\acute{e}d}$ | Vazão média |
| $Q_{m\acute{i}n}$ | Vazão mínima |
| QPC | Quota per capita de água |
| R | Coefficiente de retorno água/esgoto |
| Rg | Constante real dos gases |
| S | Área da seção transversal do canal |
| S_0 | Concentração de DQO afluente |
| $S_{0\ UASB,DQO}$ | Concentração média de DQO afluente ao reator UASB |
| T | Temperatura operacional do reator |
| T_{inf} | Taxa de infiltração |
| t_{lodo} | Taxa de remoção de areia |
| v | Vazão de passagem |
| V | Velocidade de passagem |
| V_0 | Velocidade imediatamente à montante da grade |
| v_{fluxo} | Velocidade superficial do fluxo |
| v_h | Velocidade do fluxo |
| V_{reator} | Volume do reator |
| v_s | velocidade de sedimentação |
| Y_{obs} | Coefficiente de produção de sólidos do sistema em termos de DQO |
| Z | Rebaixo da calha Parshall |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO..... | 14 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 16 |
| 3 | DESCRIÇÃO DA ÁREA DE PROJETO..... | 17 |
| 4 | REVISÃO DA LITERATURA..... | 19 |
| 4.1 | Níveis de tratamento | 19 |
| 4.1.1 | tratamento preliminar | 19 |
| 4.1.2 | Tratamento primário | 21 |
| 4.1.3 | Tratamento secundário | 21 |
| 4.1.4 | Tratamento terciário..... | 22 |
| 4.2 | Reatores UASB | 22 |
| 4.3 | Lagoa de polimento | 24 |
| 4.4 | Leito de secagem..... | 24 |
| 5 | MEMORIAL DESCRITIVO..... | 26 |
| 5.1 | Tratamento preliminar..... | 26 |
| 5.1.1 | Gradeamento | 26 |
| 5.1.2 | Desarenadores | 26 |
| 5.1.3 | Calha Parshall | 27 |
| 5.2 | Reator UASB | 28 |
| 5.2.1 | Materiais para construção..... | 28 |
| 5.2.2 | Compartimento de distribuição do afluente..... | 28 |
| 5.2.3 | Tubos de distribuição..... | 29 |
| 5.2.4 | Separador trifásico..... | 30 |
| 5.2.5 | Coleta do efluente..... | 30 |
| 5.2.6 | Sistema de gases | 30 |
| 5.3 | Leito de secagem..... | 31 |
| 6 | DESENVOLVIMENTO..... | 33 |
| 6.1 | Estimativa populacional | 33 |
| 6.2 | Dimensionamento das unidades do tratamento preliminar | 38 |
| 6.3 | Dimensionamento do reator UASB | 47 |
| 6.4 | Leito de secagem..... | 54 |
| 6.5 | Dimensionamento da lagoa de polimento | 57 |

| | |
|-------------------------------------|-----------|
| 7 RESULTADOS | 63 |
| 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 65 |
| REFERÊNCIAS | 66 |
| APÊNDICES | 69 |

1 INTRODUÇÃO

A implementação de ações voltadas ao saneamento básico no Brasil faz-se extremamente necessária, tendo em vista o alto déficit de atendimento. Segundo a última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB (2008), apenas 52,2% dos municípios brasileiros possuem coleta de esgoto, no entanto, apenas 68,8% do que é coletado passa por algum tipo de tratamento. Assim, parcela do esgoto não tratado ou tratado de forma inadequada é lançado em rios e lagos, o que acarreta sérios danos à saúde da população e ao meio ambiente.

A deposição de dejetos nos corpos aquáticos favorece a proliferação de doenças de veiculação hídrica. Segundo o Sistema de Informações Hospitalares do SUS, do Ministério da Saúde, o número de internações por 100 mil habitantes foi de 65,6 em 2018. Os gastos despendidos para o tratamento dessas doenças, que podem ser evitadas caso haja o fornecimento de serviços de saneamento básico à população afetada, são superiores ao dimensionamento e implantação de uma estação de tratamento doméstico, a qual poderia atender a população por completo.

Atualmente, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento-SNIS, a população do município de Poço Branco não possui a coleta e nem tratamento do esgoto gerado. A implantação de uma estação de tratamento de esgotos reduziria o número de doenças relacionadas com a deficiência no saneamento básico no município e, conseqüentemente, reduziria os custos com internações e promoveria o desenvolvimento econômico e social.

Um sistema de tratamento que tem ganhado destaque nas últimas décadas é o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB, do inglês, Upflow Anaerobic Sludge Blanket). Este apresenta uma série de vantagens, dentre elas: sistema compacto, com baixa demanda de área; baixo custo de implantação e de operação; baixa produção de lodo; baixo consumo de energia; satisfatória eficiência de remoção de DBO e DQO, de 65 a 75%; Possibilidade de rápido reinício, após longa paralisação; Elevada concentração e boa desidratabilidade do lodo excedente (Van Haandel A.C. e Lettinga, G. 1994; Chernicharo, 2019). Apesar das suas vantagens, esse sistema também apresenta desvantagens, sendo as mais relevantes: não remove nutrientes nem patógenos satisfatoriamente, não atendendo, portanto, os padrões estabelecidos pelas Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N° 357/2005 e N° 430/2011 (CONAMA, 2005 e 2011). Assim, necessita de unidades de pós-tratamento.

Dentre as alternativas para o pós-tratamento encontra-se as lagoas de polimento, são unidades que tem como principal objetivo a remoção de organismos patogênicos. Elas são projetadas com profundidades que variam de 0,8 a 1,2 m. Nessas lagoas o decaimento bacteriano é influenciado pelo regime hidrodinâmico da lagoa e é influenciado pelo pH, pela radiação solar e a baixa disponibilidade de Nutrientes (Von Sperling, 1996; Cavalcanti, 2009).

Nesse sentido, a junção do Reator UASB com as lagoas de polimento apresentam-se como uma excelente alternativa para a implantação em pequenos municípios que visam o lançamento do efluente tratado em corpos receptores ou mesmo para o reuso agrícola. Uma vez que, as vantagens dos dois sistemas associados podem produzir um efluente de ótima qualidade, a um baixo custo.

O presente trabalho tem por objetivo elaborar um projeto de uma Estação de Tratamento de Esgoto como solução para o município de Poço Branco, no Rio Grande do Norte.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é projetar uma Estação de Tratamento de Esgoto composta de um reator UASB seguido de uma lagoa de polimento para o município de Poço Branco/RN.

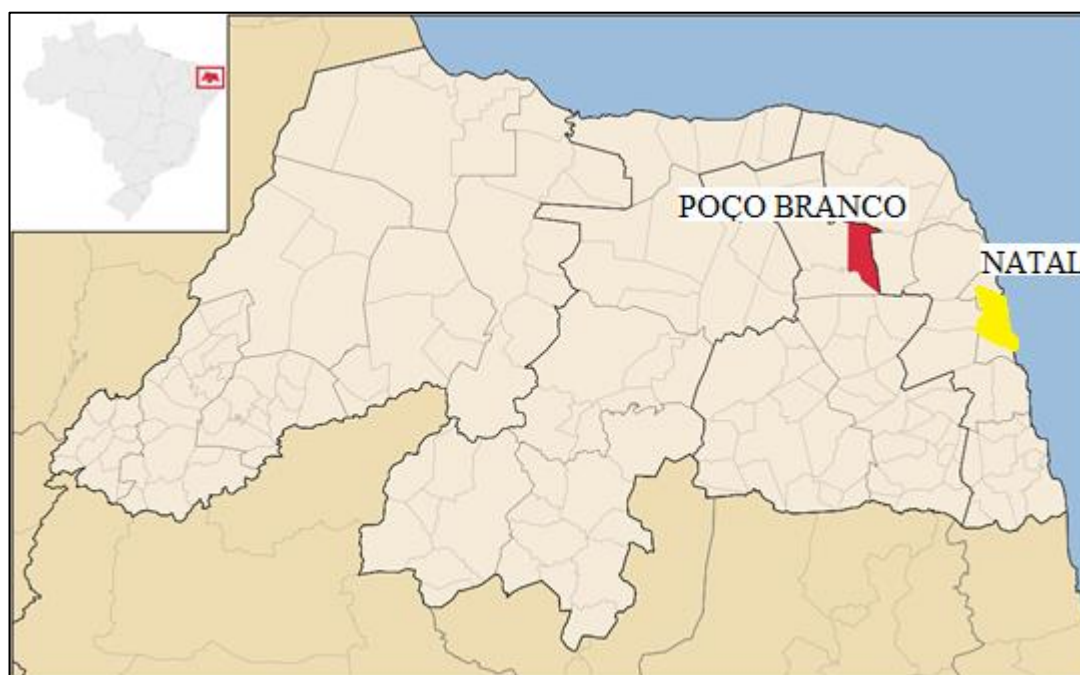
Para atingir o objetivo geral deste projeto, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Caracterizar a área de estudo;
- Realizar levantamento populacional, econômico e social do município de Poço Branco;
- Realizar o levantamento bibliográfico sobre o sistema de tratamento de efluentes domésticos proposto;
- Dimensionar as unidades de tratamento do sistema proposto;

3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE PROJETO

Poço Branco é um município do Estado do Rio Grande do Norte, na Microrregião da Baixa Verde. Situado no par de coordenadas geográficas Latitude: 5° 37' 30" Sul, Longitude: 35° 39' 41" Oeste. O seu principal acesso é pela rodovia RN 51. Localiza-se a 59 km de distância da capital do Estado, Natal. A Figura 1 situa a área urbana da cidade de Poço Branco.

Figura 1 - Localização do município de Poço Branco/RN.



Fonte: Prefeitura de Poço Branco.

Segundo dados do sistema agregador de informações do IBGE denominado Cidades@ (2017), o município possui 230,4 km² e, de acordo com o último censo realizado no ano de 2010, ele possuía 13.949 habitantes. 7.417 pessoas residentes na zona urbana e 6.532 pessoas na zona rural, o que corresponde a 53,17 % e 46,83%, respectivamente. A densidade demográfica é de 60,54 habitantes por km² no território do município.

Segundo dados obtidos no Climatempo (2020), o município possui um clima tropical chuvoso, com verão seco e estação chuvosa adiantando-se para o outono, precipitação pluviométrica média anual de 771,8mm com período chuvoso de março a maio, temperatura média anual em torno de 26°C e umidade relativa média anual de 79%.

As principais atividades econômicas no município são a agropecuária, extrativismo e o comércio.

Segundo dados obtidos no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento-SNIS, o município não possui rede de esgotamento sanitário, nem tão pouco tratamento de efluentes.

O município de Poço Branco está situado na Bacia Hidrográfica do Rio Ceará-Mirim. Dentro dos limites municipais existem dois corpos hídricos: o primeiro é chamado de Riacho América e o segundo rio é chamado de Rio Ceará-Mirim. Este é um curso de água que nasce no município de Lajes, passa pelo município de Poço Branco e deságua na localidade de Barra do Rio, em Extremoz. Em Poço Branco ele é represado formando a barragem Engenheiro José Batista do Rego Pereira, que possui uma capacidade de armazenamento de água de cento e trinta e seis milhões de metros cúbicos.

4 REVISÃO DA LITERATURA

4.1 Níveis de tratamento

O tratamento de esgotos sanitários é classificado através dos seguintes níveis: preliminar, primário, secundário e terciário.

4.1.1 Tratamento preliminar

Segundo Von Sperling (2014), o tratamento preliminar tem como principal objetivo a remoção de sólidos grosseiros. Ele é composto por duas unidades: grade e desarenador. Usualmente, adota-se um medidor de vazões para o controle operacional do sistema. O medidor mais comum é a calha Parshall.

Gradeamento

As grades tem como finalidade a remoção dos sólidos grosseiros. A operação destas grades pode ser manual ou mecânica. Elas são classificadas pelo espaçamento entre as barras, podendo ser grossas, médias e finas. O princípio da remoção consiste em reter o material com dimensões maiores do que o espaçamento entre as barras.

A remoção destes sólidos garante a proteção dos dispositivos de transporte dos esgotos, proteção das unidades de tratamento subsequentes e a proteção dos corpos receptores.

A ABNT NBR 11885 classifica as grades retas segundo os espaçamentos das barras metálicas em:

- a) grade fina – de 10 mm a 20 mm;
- b) grade média – de 20 mm a 40 mm;
- c) grade grossa – de 40 mm a 100 mm;

Chernicharo (2019), com base em experiências operando reatores UASB tratando esgotos domésticos, recomenda para estações de pequeno porte, uma grade média seguida de uma grade fina.

Desarenadores

O desarenador é a unidade responsável pela contenção da areia presente nos esgotos. A areia é removida por peneiramento ou sedimentação, sendo esta última a mais comum. Jordão (2009) diz que o fluxo dos esgotos é condicionado a velocidades que permitam separar racionalmente o material pesado que se deseja remover. O autor classifica os desarenadores segundo sua forma, eles podem ser classificados como prismáticos (retangulares ou quadrados) ou cilíndricos.

Jordão (2009) alerta para a velocidade de condicionamento do fluxo horizontal de escoamento. Para valores acima de 0,30m/s, ocorre o arraste de partículas menores do que se deseja remover. Para velocidades próximas a 0,15 m/s, ocorre a sedimentação de matéria orgânica que provoca odores desagradáveis devido a sua decomposição.

Ao projetar-se os desarenadores, dimensiona-se um compartimento especificamente projetado para acumular o material arenoso com capacidade suficiente para armazená-lo durante o período entre cada limpeza.

Calha Parshall

Uma das principais dificuldades no projeto e na operação da caixa de areia está em se conseguir manter uma velocidade desejada com a variação da vazão (JORDÃO, 2009). Projeta-se seções de controle onde consegue-se medição a vazão através de estrangulamento da seção e ressaltos que se pode correlacionar a vazão com a altura do fluido em sua seção de controle .

As seções de controle mais comuns são:

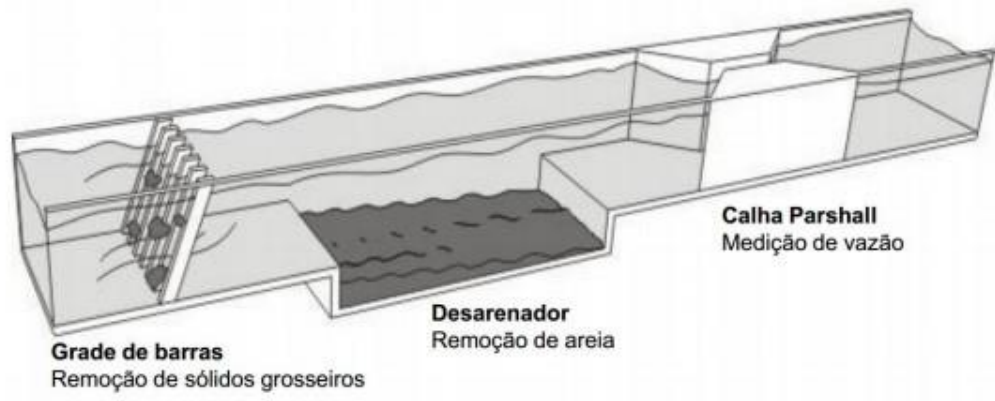
- Vertedores proporcionais, tipo Sutro;
- Calhas tipo Parshall; e
- Calhas tipo Palmer Bowlus.

Dentre estes tipos de seção de controle a mais empregada consiste do tipo calha Parshall. Ela é instalada a jusante do desarenador. Atualmente, os fabricantes vêm produzindo os medidores Parshall em material plástico reforçado com fibra de vidro com acabamento interno resistente aos efeitos corrosivos do esgoto e a parte externa com nervuras para reforço e estruturação da calha.

As principais vantagens apontadas por Jordão (2009) para este tipo de medidor são: a perda de carga desprezível; a capacidade de manter proximamente constante as velocidades de escoamento; e a autolimpeza, devido à velocidade do fluxo submetido a regime crítico de escoamento.

A Figura 2 ilustra a representação esquemática do sistema de tratamento preliminar.

Figura 2- Representação esquemática do sistema de tratamento preliminar.



Fonte: Oliveira (2014).

4.1.2 Tratamento primário

Segundo Von Sperling (2014), o tratamento primário tem como objetivo a remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. O mecanismo de tratamento predominante para a remoção de poluentes é o físico.

Como exemplo de unidades de tratamento a nível primário tem-se os decantadores. Eles são unitizados para reduzir a carga de sólidos sedimentáveis e consequente DBO associada aos sólidos.

A eficiência de remoção de sólidos sedimentáveis varia de 60 a 70%. Quanto a eficiência de remoção de DBO varia de 30 a 40%.

As unidades de tratamento primário sozinhas não garantem o cumprimento do padrão de lançamento de efluente imposto pela legislação, devido à baixa eficiência de remoção.

4.1.3 Tratamento secundário

Segundo Von Sperling (2014), o tratamento secundário visa a remoção de matéria orgânica e eventualmente nutrientes, nitrogênio e fósforo. O tratamento secundário predomina os mecanismos biológicos em ambiente que favorece o desenvolvimento e atuação de microrganismos.

Dentre os processos biológicos aeróbios destacam-se as unidades de: lodos ativados, filtros biológicos, flotação por ar dissolvido, filtros aeróbios submersos e lagoas de alta taxa. No tratamento por meio anaeróbio, as unidades utilizadas são as lagoas anaeróbias e os reatores anaeróbios dentre eles destaca-se o reator UASB.

Segundo Von Sperling (2014), o nível de tratamento secundário apresenta a eficiência de remoção de DBO na faixa de 60 a 99%, eficiência de remoção de coliformes entre 60 a 99% e eficiência de remoção de nutrientes variando entre 10 a 50%.

Geralmente, este nível de tratamento se adequa aos padrões de lançamento de efluente. Entretanto, melhores eficiências de remoção podem ser alcançadas se forem adicionadas alguma etapa de remoção específica no projeto, a exemplo da desinfecção, que deve ser adicionada.

4.1.4 Tratamento terciário

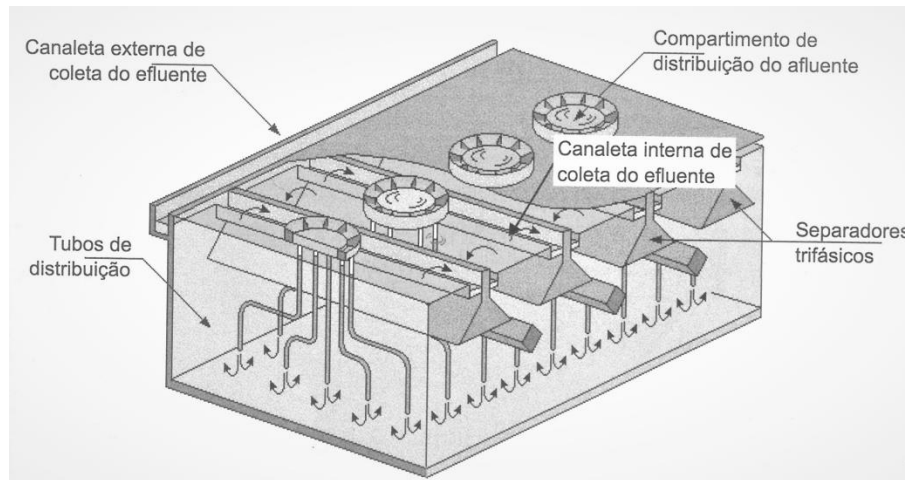
Segundo Von Sperling (2014), o tratamento terciário tem como objetivo a remoção de poluentes específicos ou a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no nível anterior.

4.2 Reatores UASB

Os reatores UASB foram desenvolvidos e aplicados inicialmente na Holanda com a finalidade de tratar esgotos concentrados (van Haandel e Lettinga, 1994). Chernicharo (2019) diz que o processo do reator anaeróbio de manta de lodo consiste de um fluxo ascendente de esgoto através de um leito de lodo denso e de alta atividade. Devido à grande densidade dos sólidos, o lodo mais denso se acumula próximo do fundo do reator e, à medida que se aproxima do topo, o lodo se apresenta mais leve e disperso.

Os reatores UASB possuem dois tipos de configurações, circulares ou retangulares. Os reatores circulares são mais econômicos e indicados a pequenas populações. Os reatores retangulares são indicados quando se é necessário modular devido a grandes populações. A Figura 3 ilustra um reator UASB retangular.

Figura 3- Representação esquemática de um reator UASB retangular.



Fonte: Chernicharo (2019).

O processo de tratamento anaeróbico através de reatores se mantenha de lodo apresenta inúmeras vantagens, principalmente quando utilizado em regiões de clima quente, como é o caso do nordeste brasileiro.

Segundo Chernicharo (2019), os reatores UASB são sistemas compactos com baixa demanda de área, com baixo custo de implantação e de baixo consumo de energia e produção de lodo. O lodo excedente possui elevada concentração e boa desidratabilidade. Além destas características, eles possuem satisfatória eficiência de remoção de DBO e DQO, de 65 a 75%.

Outra característica positiva destes reatores é a capacidade de suportar altas taxas de carga orgânica e a simplicidade construtiva e os custos operacionais quando comparados com outros reatores de sua geração.

Chernicharo (2019) aponta algumas desvantagens ao uso dos reatores UASB: possibilidade de emanção de maus odores, baixa capacidade de tolerar cargas tóxicas, elevado intervalo de tempo para a partida do sistema e necessidade de uma etapa de pós tratamento.

Monteiro (2009), analisou a eficiência de 56 estações de tratamento de esgotos localizados na região metropolitana de Fortaleza. Dentre as estações analisadas, 14 eram compostas por reatores UASB, sendo 3 unidades para reator UASB sem pós-tratamento e 11 unidades para reator UASB com pós-tratamento do tipo cloração.

As eficiências médias de remoção de DQO encontradas para os reatores UASB sem pós-tratamento estavam entre 66,4%, enquanto os reatores UASB com cloração apresentaram eficiência média de 57,1%. As eficiências determinadas por Monteiro (2009) vão ao encontro

com as eficiências de remoção de DQO destes reatores apontados por Chernicharo (2019), eficiência de remoção de DBO e DQO na faixa de 65% a 75%.

As eficiências médias de remoção de coliformes termotolerantes encontradas por Monteiro (2009), para os reatores UASB sem pós-tratamento e para os reatores UASB com cloração apresentaram eficiência média de 99,2867% e 99,6635%, respectivamente. Chernicharo (2019), aponta a eficiência de remoção de uma unidade logarítmica o que corresponde a uma eficiência de 90%. Logo, a eficiência de remoção de coliformes termotolerantes na região metropolitana de Fortaleza no nordeste brasileiro apresentaram resultados acima da expectativa.

Apesar das grandes vantagens dos reatores UASB, a qualidade do efluente final não se enquadra nos padrões estabelecidos pela legislação ambiental. Por este motivo, é essencial a implantação de unidades de pós tratamento. Neste projeto, foi adotado como pós tratamento para o reator UASB lagoa de polimento.

4.3 Lagoa de polimento

As lagoas de polimento são unidades em que seu principal objetivo é a remoção de organismos patogênicos. Alguns mecanismos são mais efetivos com baixas profundidades de lagoas. Por este motivo, elas são projetadas para que possuam entre 0,8 a 1,2 m de profundidade

Os organismos patogênicos possuem sensibilidade ao pH, a radiação solar e a escassez de alimentos. Devido a sua pequena profundidade, estes fatores são mais eficientes e tendem a matar estes organismos. Os mecanismos associados a baixa profundidade são: alta penetração da radiação solar, elevado pH e a elevada concentração de OD.

Para que as lagoas de polimento possam cumprir os requisitos ou padrões de lançamento em corpo d'água, em função da classe a que pertencem, elas devem atender a elevadas eficiências na remoção de coliformes.

Segundo Von Sperling (2009), para maximizar a eficiência de remoção, as lagoas de polimento são usualmente projetadas na configuração de três ou quatro lagoas em série ou lagoa única com chicanas.

4.4 Leito de secagem

Segundo Jordão (2009) , o lodo no interior do reator apresenta um teor de sólidos entre 3 a 5 %, tendendo a crescer ao longo do tempo, assim, faz-se necessário descarte deste lodo

excedente. O descarte do lodo em excesso é realizado por meio de tubulações no interior do reator e enviado diretamente para desidratação.

Para estações de tratamento de pequeno porte, os leitos de secagem são a tecnologia mais empregada (CHERNICHARO 2019).

Os leitos de secagem são unidades responsáveis por processar a redução de umidade do lodo gerado com a drenagem e a evaporação. Eles são constituídos por tanques de armazenamento, camada drenante e cobertura.

O tanque de armazenamento são unidades, geralmente, retangulares, podendo ser construídos com alvenaria ou concreto.

A camada drenante é constituída de uma camada suporte, meio filtrante e um sistema de drenagem. A camada suporte é constituída de tijolos assentados com espaçamento entre juntas preenchidas com areia grossa como meio filtrante. O sistema de drenagem é composto de canalizações dispostas abaixo do meio filtrante para recolher líquido removido do lodo durante a secagem.

Após a secagem do lodo, ele é removido por raspagem, geralmente com o uso de pás e realizada a limpeza cuidadosa, antes de dar uma nova carga de lodo excedente.

5 MEMORIAL DESCRITIVO

5.1 Tratamento preliminar

5.1.1 Gradeamento

Atendendo a recomendação da NBR 12209/2011, a remoção de sólidos grosseiros será realizada por meio de uma unidade de grade de limpeza manual com a inclinação de 60°, pois a vazão máxima afluyente é inferior a 100L/s. O material da grade deve ser constituído de material resistente à corrosão e abrasão como ligas de aço inox.

Em se tratando de uma ETE de pequeno porte com reatores UASB, seguindo as recomendações da literatura, será adotada no projeto uma grade média seguida de uma grade fina. Os espaçamentos adotados entre as barras para as grades média e fina será 20 mm e 10 mm, respectivamente.

A Figura 4 ilustra duas grades manuais em série adotadas na ETE Rio Sorocaba.

Figura 4 – Gradeamento manual da ETE Rio Sorocaba.



Fonte: ARES PCJ (2018).

5.1.2 Desarenadores

Atendendo a recomendação da NBR 12209/2011, a remoção de areia será realizada através de limpeza manual, pois a vazão máxima afluyente é inferior a 100L/s.

Será adotado duas unidades de desarenadores, sendo uma unidade reserva para quando for necessário a manutenção da outra. O tipo escolhido do desarenador será o canal de fluxo horizontal constante cujo formato será retangular.

A Figura 5 ilustra dois desarenadores adotados na ETE Rio Sorocaba.

Figura 5 – Desarenadores (ao centro) da ETE Rio Sorocaba.



Fonte: ARES PCJ (2018).

5.1.3 Calha Parshall

O tipo de vertedor adotado será a Calha Parshall. Ela é a opção mais econômica para a medição de vazão.

A Calha Parshall é fabricada em Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro em dimensões normatizadas conforme norma NBR ISO 9826. A parte interna da calha deve possuir acabamento liso e livre de irregularidades, possuir proteção contra a ação de raios ultravioleta e resistente aos efeitos corrosivos do esgoto. A parte externa deve possuir nervuras para reforço e estruturação da calha.

A base de instalação da Calha Parshall é feita de alvenaria e concreto.

A Figura 6 ilustra uma calha tipo Parshall fabricada em Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro instalada em base de concreto na ETE Capuava.

Figura 6 – Calha Parshall da ETE Capuava.



Fonte: ARES PCJ (2018).

5.2 Reator UASB

5.2.1 Materiais para construção

Devido ao custo e à facilidade construtiva que o concreto e o aço oferecem, eles têm sido utilizados como os principais materiais na construção dos reatores. No interior do reator, será feita uma proteção à base de epóxi betuminoso.

Para a proteção da estrutura do reator, será utilizado cimento pozolânico, concreto com baixa relação água/cimento, adequada compactação e cura do concreto.

O separador de gases e sólidos possui elevada exposição ao processo de corrosão. O concreto é o material mais utilizado na confecção do separador de gases apesar de possuir problemas de vazamentos de gases e a corrosão. Para evitar estes problemas, será feita uma proteção à base de epóxi sobre o concreto.

5.2.2 Compartimento de distribuição do afluente

Os compartimentos de distribuição são pequenos compartimentos implantados na parte superior do reator. Eles são distribuídos uniformemente no reator. A alimentação deles é feita por vertedores. Cada compartimento alimenta um único tubo de distribuição que vai até o fundo do reator.

Além de distribuir uniformemente o esgoto no reator, estas caixas permitem visualizar a ocorrência de acréscimos de perda de carga que indicam a existência de obstruções no distribuidor. Após a detecção, a manutenção é feita com o uso de varões.

A Figura 7 ilustra a estrutura de distribuição do efluente da ETE Mangueira em Recife-PE composta por: tubos de distribuição e caixas de distribuição (estruturas cilíndricas na cor branca).

Figura 7- Estrutura de distribuição do efluente da ETE Mangueira em Recife-PE.



Fonte: Campos (2000).

5.2.3 Tubos de distribuição

Os tubos de distribuição recebem os esgotos dos compartimentos de distribuição e distribuem no fundo do reator.

O diâmetro dos tubos de distribuição deve ser dimensionado para evitar eventuais problemas no reator. O tubo deve ter diâmetro suficiente para: promover velocidade descendente do esgoto inferior a 0,2 m/s, permitindo que as bolhas de ar possam ascender pelo esgoto; evitar que os sólidos do esgoto afluente obstruam os tubos; e permitir uma velocidade de fluxo junto ao fundo do reator, promovendo a mistura e maior contato com o leito do lodo. No caso de existência de obstruções frequentes dos tubos, o sistema de gradeamento deve ser substituído por grades com espessura menores.

Na extremidade inferior do tudo será adotada uma redução da seção da tubulação, em atenção à área suficiente para evitar o entupimento. A adoção tem como finalidade de aumentar a velocidade de saída do esgoto, evitando a deposição de areia no fundo do reator.

5.2.4 Separador trifásico

O separador trifásico é um dispositivo característico do reator UASB, instalado na parte superior do reator, com o objetivo de fazer a separação: sólidos, gás e líquido. Um bom separador de fases garante uma elevada concentração de sólidos dentro do reator, aumentando assim sua idade de lodo.

As dimensões do separador de gases devem ser suficientes para permitir a liberação de gás retido, para evitar a flotação do lodo e a perda de biomassa do reator. Com a separação dos gases, o lodo pode retornar ao compartimento de digestão com o auxílio de defletores, taxa de aplicação superficial e tempo de detenção hidráulica adequada no compartimento.

Os defletores ficam localizados imediatamente abaixo das aberturas para o decantador, permitindo que os gases sejam separados do líquido e dos sólidos que se mantêm no compartimento de decantação.

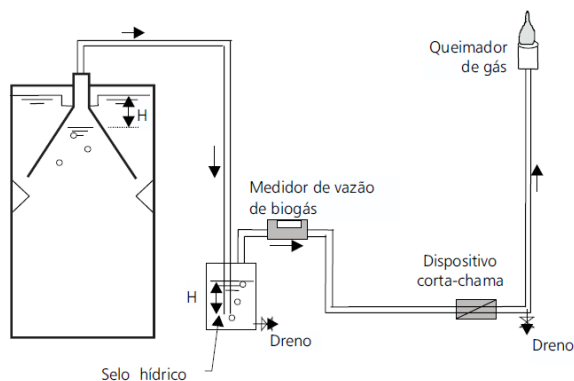
5.2.5 Coleta do efluente

A coleta do efluente do reator será realizada na sua parte superior, junto ao compartimento de decantação, por meio de canaletas com vertedores. As saídas deverão ser afogadas para evitar a turbulência do efluente, evitando a ocorrência de liberação de gases.

5.2.6 Sistema de gases

O reator UASB tem como característica a produção do biogás, no processo de digestão anaeróbia. Na composição do biogás existe o gás metano que é combustível e pode ser explosivo em misturas com o gás oxigênio. Para evitar o risco, o biogás é coletado, medido e queimado ou reaproveitado. O sistema de retirada do biogás é composto por: tubulação de coleta, compartimento hermético com selo hídrico e purga de biogás, medidor de biogás, válvula corta-chama e queimador de gases. A Figura 8 representa esquematicamente um sistema de gases.

Figura 8- Representação esquemática de um sistema de gases.



Fonte: Campos (2000).

Por medida de segurança, o dispositivo corta-chama e o queimador de gases devem estar localizados em distância segura do reator.

5.3 Leito de secagem

A implantação do leito de secagem deve ser feita em terreno nivelado. O fundo deve ser executado em concreto armado devendo ter caimento de no mínimo 1% para o centro conforme projeto, para o escoamento dos efluentes que serão drenados pelos tubos em direção a caixa de coleta conforme projeto.

As muretas laterais e de divisão entre os leitos deverão ser executadas em concreto armado.

Após a concretagem e cura do fundo e das paredes de cada leito, deverá ser realizado a impermeabilização de base cimentícia flexível e véu de poliéster, em todos os leitos (paredes laterais e fundo).

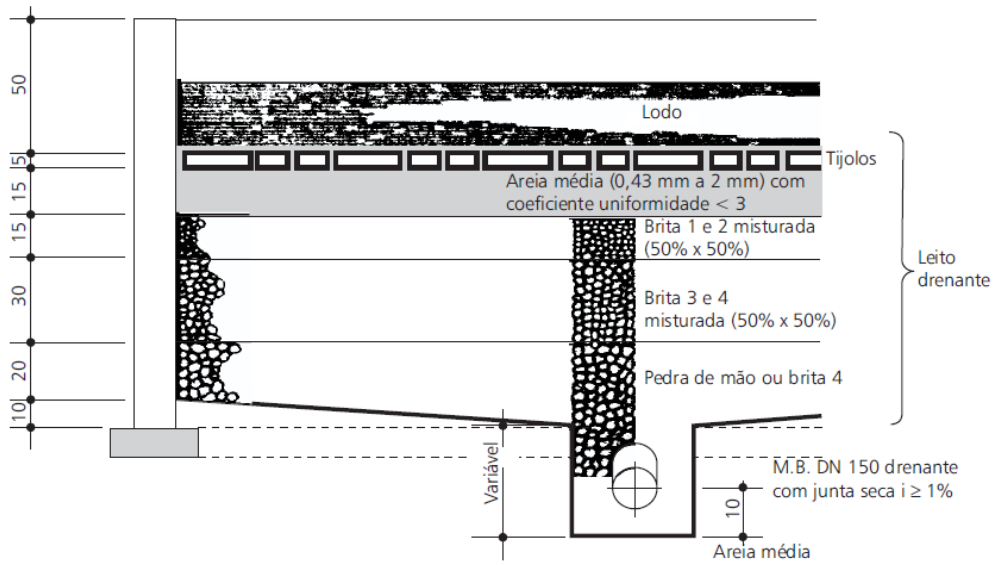
No meio de cada leito de secagem, será instalado um tubo de PVC corrugado perfurado para a drenagem dos efluentes, com diâmetro nominal de 100 mm e caimento de no mínimo 1%. Os tubos serão interligados entre si, levando os efluentes para a caixa de coleta.

A caixa de coleta dos efluentes dos leitos de secagem será executada em alvenaria sobre base de concreto armado. Será necessária a impermeabilização.

Após a concretagem, o leito de secagem é preenchido por camadas de brita, seguidas por uma camada de areia e de tijolos.

A Figura 9 ilustra a seção transversal de um leito de secagem.

Figura 9- Seção transversal esquemática de um leito de secagem.



Fonte: Campos (2000).

6 DESENVOLVIMENTO

6.1 Estimativa populacional

A vida útil de projeto é o período de tempo para o qual um sistema é projetado, a fim de atender os requisitos de desempenho. Para um projeto de estação de tratamento esgoto a vida útil de projeto, usualmente utilizada é de 20 anos.

A tabela 1 apresenta a população residente na área urbana de Poço Branco informada pelos últimos censos realizados pelo IBGE para o município, nos anos 2000 e 2010.

Tabela 1 – População residente em área urbana de Poço Branco.

| Censo | Habitantes |
|--------------|-------------------|
| 2000 | 6661 |
| 2010 | 7417 |

Fonte: Produção do autor.

A população foi projetada para o ano de 2040, já que a implantação do projeto é prevista para o ano de 2020, e a estimativa foi realizada para um período de 20 anos. A população futura, até a data de fim de projeto, foi estimada utilizando-se os métodos de projeção populacional aritmético, geométrico e logístico conforme descrito por Von Sperling (2014) na tabela 2.

Tabela 2 – Métodos de projeções populacionais.

| Método | Descrição | Fórmula da projeção | Coefficientes |
|-----------------------|--|--|---|
| Projeção aritmética | Crescimento populacional segundo uma taxa constante. Utilizado para estimativas de menor prazo. | $P_1 = P_0 + K_a (t - t_0)$ | $K_a = \frac{P_1 - P_0}{t_1 - t_0}$ |
| Projeção geométrica | Crescimento populacional função da população existente a cada instante. Utilizado para estimativas de menor prazo. | $P_g = P_0 e^{K_g(t-t_0)}$ | $K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}$ |
| Crescimento logístico | A população tende assintoticamente a um valor de saturação. Condições: $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_0 * P_2 < P_1^2$ | $P_t = \frac{P_s}{1 + c e^{k_1(t-t_0)}}$ | $P_s = \frac{2P_0P_1P_2 - P_1^2(P_0 + P_2)}{P_0P_2 - P_1^2}$ $c = \frac{P_s - P_0}{P_0}$ $K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \left[\frac{P_0(P_s - P_1)}{P_1(P_s - P_0)} \right]$ |

Fonte: Von Sperling (2014)

Método aritmético

$$K_a = \frac{P_{2010} - P_{2000}}{t_1 - t_0} \quad (1)$$

$$K_a = \frac{P_{2010} - P_{2000}}{t_1 - t_0} = \frac{7417 - 6661}{2010 - 2000} = 75,6$$

$$P_{2020} = P_{2010} + K_a(t - t_0) \quad (2)$$

$$P_{2020} = 7.417 + 75,6(2020 - 2010) = 8.173 \text{ hab}$$

$$P_{2040} = 7.417 + 75,6(2040 - 2010) = 9.685 \text{ hab}$$

Método geométrico

$$K_g = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

$$K_g = \frac{\ln 8173 - \ln 7417}{2020 - 2010} = \frac{9,0086 - 8,9115}{10} = 0,00971$$

$$P_g = P_0 e^{K_g(t-t_1)} \quad (4)$$

$$P_{g,2040} = 7417 \times e^{0,00971(2040-2010)} = 9.926 \text{ hab}$$

Método crescimento logístico

$$P_s = \frac{2P_0P_1P_2 - P_1^2(P_0+P_2)}{P_0P_2 - P_1^2} \quad (5)$$

$$P_s = \frac{2 \times 6.661 \times 7.417 \times 8.173 - 7417^2 (6.661 + 8.173)}{6.661 \times 8.173 - 7.417^2}$$

$$P_s = 14.834 \text{ hab}$$

$$c = \frac{P_s - P_0}{P_0} \quad (6)$$

$$c = \frac{14.834 - 6.661}{6.661} = 1,2270$$

$$K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \ln \left[\frac{P_0(P_s - P_1)}{P_1(P_s - P_0)} \right] \quad (7)$$

$$K_1 = \frac{1}{2020-2010} \ln \left[\frac{6661(14834-7417)}{7417(14834-6661)} \right] = -0,02046$$

$$P_l = \frac{P_s}{1 + c e^{K_1(t-t_0)}} \quad (8)$$

$$P_{l,2040} = \frac{14.834}{1 + 1,2270 e^{-0,02046(2040-2000)}} = 9.624 \text{ hab}$$

A tabela 3 apresenta os resultados das projeções populacionais do município de Poço Branco de acordo com o método de projeção populacional.

Tabela 3 - Resultado da projeção populacional.

| MÉTODO | POPULAÇÃO URBANA EM 2020 | POPULAÇÃO URBANA EM 2040 |
|-----------------------|--------------------------|--------------------------|
| Aritmético | 8.173 | 9.685 |
| Geométrico | 8.173 | 9.926 |
| Crescimento logístico | 8.173 | 9.624 |

Fonte: Produção do autor.

Para fins de projeto, utiliza-se as situações mais desfavoráveis. Neste caso, a situação mais desfavorável são aquelas em que o método de projeção estime a maior população. Para o presente projeto, o método de projeção que estimou maior população foi o método geométrico. Portanto, foi adotada a população para o ano de 2020 como o início de projeto, de 8.173 habitantes. Para o fim de projeto, no ano de 2040, adotou-se 9.926 habitantes.

5.1. Caracterização quantitativa dos esgotos afluentes à estação

Para realizar o dimensionamento das unidades de uma Estação de Tratamento de Esgoto, devem-se estimar as vazões mínimas, média e máxima. O cálculo das vazões domésticas é dado pelas equações apresentada por Von Sperling (2005):

$$Q_{\min} \left(\frac{L}{s} \right) = \frac{K3 \times Pop \times QPC \times R}{86400} \quad (9)$$

$$Q_{\text{méd}} \left(\frac{L}{s} \right) = \frac{Pop \times QPC \times R}{86400} \quad (10)$$

$$Q_{\text{máx}} \left(\frac{L}{s} \right) = \frac{K1 \times K2 \times Pop \times QPC \times R}{86400} \quad (11)$$

Em que:

Pop = população para idade de projeto, (hab);

QPC = quota per capita de água (L/hab. dia);

R= Coeficiente de retorno esgoto/água;

K1 - Coeficiente de máxima vazão diária (1,2);

K2 - Coeficiente de máxima vazão horária (1,5);

K3 - Coeficiente de mínima vazão horária (0,5).

$$Q_{\text{inf}} \left(\frac{L}{s} \right) = T_{\text{inf}} \times L_{\text{rede}} \quad (12)$$

Em que:

Q_{inf} = vazão de infiltração (L/s);

T_{inf} = taxa de infiltração (L/s.km);

L_{red} = comprimento da rede de esgoto (km).

A vazão de infiltração depende da extensão da rede coletora, diâmetro das tubulações, área servida, tipo de solo, profundidade do lençol freático, topografia e densidade populacional. Segundo a NBR 9649/1986, a taxa de contribuição de infiltração está situada entre 0,05 a 1 L/s.km. Considerando que a rede é nova, este projeto adotará a taxa de infiltração de 0,1 L/(s.km).

A extensão da rede do município de Poço Branco foi aproximada como sendo igual a extensão de vias. Na falta de informações sobre a extensão de vias na área urbana, ela foi obtida através de imagens aéreas do Google Maps em escala real. A extensão da rede foi medida com o auxílio de software CAD. Esta extensão de rede estimada para a área urbana do município foi 32 km.

$$Q_{mín} \left(\frac{L}{s} \right) = \frac{0,5 \times 8.173 \times 150 \times 0,8}{86400} = 5,68 \text{ L/s}$$

$$Q_{méd\ 2020} \left(\frac{L}{s} \right) = \frac{8.173 \times 150 \times 0,8}{86400} = 11,35 \text{ L/s}$$

$$Q_{méd\ 2040} \left(\frac{L}{s} \right) = \frac{9.926 \times 150 \times 0,8}{86400} = 13,79 \text{ L/s}$$

$$Q_{máx} \left(\frac{L}{s} \right) = \frac{1,2 \times 1,5 \times 9.926 \times 150 \times 0,8}{86.400} = 24,82 \text{ L/s}$$

$$Q_{inf} \left(\frac{L}{s} \right) = 0,1 \times 32 = 3,20 \text{ L/s}$$

A tabela 4 apresenta o resultado da estimativa de vazões utilizadas para o dimensionamento das unidades do projeto de estação de tratamento de esgoto do município de Poço Branco.

Tabela 4 - Resultado da estimativa de vazões.

| VAZÃO | DESCRIÇÃO | VALOR (L/s) | VALOR (m ³ /h) |
|---|--|----------------|------------------------------|
| Vazão doméstica mínima (Q_{\min}) | Equação 9 | 5,68 | 20,43 |
| Vazão doméstica média 2020 ($Q_{\text{med } 2020}$) | Equação 10 | 11,35 | 40,87 |
| Vazão doméstica média 2040 ($Q_{\text{med } 2040}$) | Equação 10 | 13,79 | 49,63 |
| Vazão doméstica máxima ($Q_{\text{máx}}$) | Equação 11 | 24,82 | 89,33 |
| Vazão de infiltração (Q_{inf}) | Equação 12 | 3,20 | 3,20 |
| Vazão total média ($Q_{\text{t med } 2040}$) | $Q_{\text{t med } 2040} = Q_{\text{med } 2040} + Q_{\text{inf}}$ | 16,99 | 61,15 |
| Vazão total máxima ($Q_{\text{t máx}}$) | $Q_{\text{t máx}} = Q_{\text{máx}} + Q_{\text{inf}}$ | 28,02 | 100,85 |

Fonte: Produção do autor.

6.2 Dimensionamento das unidades do tratamento preliminar

Para este projeto foi adotado o gradeamento manual devido a pequena profundidade do canal, a facilidade de limpeza e os custos de operação e manutenção. Além disso, foi adotada uma grade de remoção tipo média e uma grade fina devido sua capacidade de remoção de sólidos grosseiros tais como latinhas, plásticos, panos e papeis (Tabela 5).

Tabela 5 - Tipo de grade, espaçamento e Seção transversal das grades.

| TIPO DE GRADE | MATERIAL RETIDO | a (mm) | ESPESSURA DAS BARRAS O DAS BARRAS (mm) |
|---------------|---|----------|--|
| Grosseira | Galho de árvore, restos de mobílias, pedaços de colchão, etc. | 40 - 100 | 9,5 x 50,0 |
| | | | 9,5 x 63,5 |
| | | | 12,7 x 38,5 |
| | | | 12,7 x 50,0 |
| Média | Latinhas de cerveja, refrigerante, plásticos, madeiras, papel, etc. | 20 - 40 | 7,9 x 50,0 |
| | | | 9,5 x 38,1 |
| | | | 9,5 x 50,0 |
| Fina | Fibras de tecido e cabelo, etc. | 10 - 20 | 6,4 x 38,1 |
| | | | 7,9 x 38,1 |
| | | | 9,5 x 38,1 |

Fonte: Adaptada da NBR 12.209/2011.

A área útil do canal é dada pelo quociente da vazão máxima de fim de projeto pela velocidade de passagem do efluente na grade. Em projetos, recomenda-se a utilização de 0,6 m/s a 1,2 m/s para grades destinada a limpeza mecanizada e de 0,6 m/s a 0,9 m/s para a limpeza manual.

$$Au = \frac{Q_{max}}{v} \quad (13)$$

Em que:

Q_{max} = vazão máxima de projeto (em m³/s);

v = vazão de passagem adotada (m/s).

$$Au = \frac{0,02802}{0,9} = 0,0311 \text{ m}^2$$

No cálculo da área da seção transversal da grade é necessário determinar a eficiência da grade, a qual é calculada pela seguinte equação.

$$E_{grade} (\%) = \frac{a}{a+e} \times 100 \quad (14)$$

Em que:

a = espaçamento da grade;

e = espessura da grade.

As eficiências da grade média e da grade fina são:

$$E_{grade \text{ média}} (\%) = \frac{20}{20+10} \times 100 = 66,67 \%$$

$$E_{grade \text{ fina}} (\%) = \frac{10}{10+10} \times 100 = 50,00 \%$$

A eficiência global do gradeamento manual pode ser calculada com a equação a seguir:

$$E_{global} (\%) = 100 \times [1 - (1 - E)^n] \quad (15)$$

Em que:

E = eficiência de uma unidade em decimais;

n = número de unidades.

$$E (\%) = 100 \times [1 - (1 - 0,6667)(1 - 0,5)] = 83,33\%$$

A área da seção transversal (S) é dada pela equação a seguir:

$$S = \frac{Au}{E} \quad (16)$$

Em que:

Au = área útil do canal (m^2);

E_{grade} = eficiência da grade, em números decimais.

$$S = \frac{0,0311}{0,8333} = 0,0374 \text{ m}^2$$

Definido a área da seção transversal, pode-se determinar a largura do canal (L) que é determinada pela equação a seguir:

$$L = \frac{S}{h} \quad (17)$$

Em que:

S = área da seção transversal do canal (m^2);

h = altura do canal determinado pela equação extraída da tabela 4, em m.

$$L = \frac{0,0374}{0,19} = 0,20 \text{ m}$$

A velocidade imediatamente à montante da grade é determinada pela equação a seguir:

$$V_0 = \frac{Q_{\text{max}}}{s} \quad (18)$$

Em que:

Q_{max} = vazão máxima de projeto (m^3/s);

S = área da seção transversal do canal (m^2).

$$V_0 = \frac{0,02802}{0,0374} = 0,75 \frac{m}{s}$$

A perda de carga na grade é determinada pela seguinte equação:

$$hf = \frac{1,43((2V)^2 - V_0^2)}{2g} \quad (19)$$

Em que:

V = velocidade de passagem adotada (m/s);

V_0 = velocidade imediatamente à montante da grade (m/s).

$$hf = \frac{1,43((0,9)^2 - 0,75^2)}{2 \times 9,8} = 0,20 \text{ m}$$

A NBR 12209/2011 recomenda que a perda de carga mínima a ser considerada para o gradeamento de limpeza manual seja de 0,15 m. Portanto, a perda de carga para o gradeamento manual deste projeto atende à norma.

A tabela 6 apresenta o resultado do dimensionamento do gradeamento manual composto de uma grade média e uma grade fina do sistema de tratamento preliminar da estação de tratamento de esgotos proposto.

Tabela 6 - Resultado do dimensionamento do gradeamento.

| DESCRIÇÃO | OBSERVAÇÃO | RESULTADO |
|--|-------------------|-----------------------|
| Grade média (Espaçamento x espessura) | Tabela 2 | 20 mm x 10 mm |
| Grade fina (Espaçamento x espessura) | Tabela 2 | 10 mm x 10 mm |
| Velocidade de passagem | Adotado | 0,9 m/s |
| Inclinação (40° a 60°) | Adotado | 60° |
| Eficiência global | Equação 15 | 83,33% |
| Área útil (Au) | Equação 13 | 0,0311 m ² |
| Área da seção transversal | Equação 16 | 0,0374 m ² |
| Largura do canal | Equação 17 | 0,20 m |

Fonte: Produção do autor.

Calha Parshall

O dimensionamento de uma calha Parshall é realizado a partir da vazão determinando-se a medida da lâmina de água na seção e a seção da garganta. Determina-se as lâminas máximas e mínimas para definir as condições de escoamento na calha no período de projeto. A partir da tabela a seguir extraída da NBR 9.826/2008 determina-se o intervalo de operação da vazão.

Tabela 7 - Dados da calha Parshall

| Calha Parshall nº | Largura da garganta b (m) | Equação da vazão $Q = Ch_0^n$ (m ³ /s) | Intervalo de altura h ₀ (m) | | Intervalo de vazão Q (x 10 ⁻³ m ³ /s) | | Limite modular σ (experimental) | Razão de submergência σ (recomendado) |
|-------------------|---------------------------|---|--|------|---|-------|---------------------------------|---------------------------------------|
| | | | Mín. | Máx. | Mín. | Máx. | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 0,152 | $0,381h_0^{1,580}$ | 0,03 | 0,45 | 1,5 | 100 | 0,55 | 0,6 |
| 2 | 0,25 | $0,561h_0^{1,513}$ | 0,03 | 0,60 | 3,0 | 250 | - | 0,6 |
| 3 | 0,30 | $0,679h_0^{1,521}$ | 0,03 | 0,75 | 3,5 | 400 | 0,62 | 0,6 |
| 4 | 0,45 | $1,038h_0^{1,537}$ | 0,03 | 0,75 | 4,5 | 630 | 0,64 | 0,6 |
| 5 | 0,60 | $1,403h_0^{1,548}$ | 0,05 | 0,75 | 12,5 | 850 | 0,66 | 0,6 |
| 6 | 0,75 | $1,772h_0^{1,557}$ | 0,06 | 0,75 | 25,0 | 1.100 | 0,67 | 0,6 |
| 7 | 0,90 | $2,147h_0^{1,565}$ | 0,06 | 0,75 | 30,0 | 1.250 | 0,68 | 0,6 |
| 8 | 1,00 | $2,397h_0^{1,569}$ | 0,06 | 0,80 | 30,0 | 1.500 | - | 0,7 |
| 9 | 1,20 | $2,904h_0^{1,577}$ | 0,06 | 0,80 | 35,0 | 2.000 | 0,70 | 0,7 |
| 10 | 1,50 | $3,668h_0^{1,586}$ | 0,06 | 0,80 | 45,0 | 2.500 | 0,72 | 0,7 |
| 11 | 1,80 | $4,440h_0^{1,593}$ | 0,08 | 0,80 | 80,0 | 3.000 | 0,74 | 0,7 |
| 12 | 2,10 | $5,222h_0^{1,599}$ | 0,08 | 0,80 | 95,0 | 3.600 | 0,76 | 0,7 |
| 13 | 2,40 | $6,004h_0^{1,605}$ | 0,08 | 0,80 | 100,0 | 4.000 | 0,78 | 0,7 |

Fonte: NBR ISO 9.826/2008.

A estação de tratamento de esgotos irá operar com vazão máxima de 82,67 L/s. A Calha Parshall nº 1 é adequada para operar com para esta vazão, pois o intervalo de operação desta calha é de 1,5 L a 100 L. De posse da equação da vazão e adaptando às vazões mínima e máxima, determina-se as alturas mínima e máxima do canal.

$$h_{min} = \sqrt[1,580]{\frac{Q_{min}}{0,381}} = \quad (20)$$

$$h_{min} = \sqrt[1,580]{\frac{\left(\frac{8,88}{1000}\right)}{0,381}} = 0,09 \text{ m}$$

$$h_{máx} = \sqrt[1,580]{\frac{Q_{máx}}{0,381}} = \quad (21)$$

$$h_{m\acute{a}x} = \sqrt[1,580]{\frac{\left(\frac{28,02}{1000}\right)}{0,381}} = 0,19 \text{ m}$$

De posse das alturas mínima e máxima do canal calculadas pela equação da vazão correspondente a calha Parshall escolhida, calcula-se o valor do rebaixo a partir da equação a seguir:

$$Z = \frac{Q_{m\acute{a}x} H_{m\acute{i}n} - Q_{m\acute{i}n} H_{m\acute{a}x}}{Q_{m\acute{a}x} - Q_{m\acute{i}n}} \quad (22)$$

Em que:

$Q_{m\acute{a}x}$ = vazão máxima de projeto (m³/s);

$Q_{m\acute{i}n}$ = vazão mínima de projeto (m³/s);

$h_{m\acute{a}x}$ = altura máxima obtida pela equação da vazão (m);

$h_{m\acute{i}n}$ = altura mínima obtida pela equação da vazão (m).

$$Z = \frac{28,02 \times 0,09 - 8,88 \times 0,19}{28,02 - 8,88} = 0,05 \text{ m}$$

As dimensões da calha Parshall para as seções a seguir são especificadas pela tabela a seguir.

Tabela 8 - Dimensões para calhas Parshall de pequenas dimensões

| Calha Parshall nº | Garganta | | | | | Seção de entrada | | | | Seção de saída | | | Altura da parede |
|-------------------|----------|-------|------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|----------------|------|-------|------------------|
| | b | l | X | Y | hp1 | b1 | I1 | Ie | Ia | h2 | I2 | hp2 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | 0,152 | 0,305 | 0,05 | 0,075 | 0,115 | 0,40 | 0,610 | 0,622 | 0,415 | 0,39 | 0,61 | 0,012 | 0,152 |
| 2 | 0,250 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 0,78 | 1,325 | 1,352 | 0,900 | 0,55 | 0,92 | 0,072 | 0,800 |
| 3 | 0,300 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 0,84 | 1,350 | 1,377 | 0,920 | 0,60 | 0,92 | 0,072 | 0,900 |
| 4 | 0,450 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 1,02 | 1,425 | 1,454 | 0,967 | 0,75 | 0,92 | 0,072 | 0,950 |
| 5 | 0,600 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 1,20 | 1,500 | 1,530 | 1,020 | 0,90 | 0,92 | 0,072 | 0,950 |
| 6 | 0,750 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 1,38 | 1,575 | 1,607 | 1,074 | 1,05 | 0,92 | 0,072 | 0,950 |
| 7 | 0,900 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 1,56 | 1,650 | 1,683 | 1,121 | 1,20 | 0,92 | 0,072 | 0,950 |
| 8 | 1,000 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 1,68 | 1,700 | 1,734 | 1,161 | 1,30 | 0,92 | 0,072 | 1,000 |
| 9 | 1,200 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 1,92 | 1,800 | 1,836 | 1,227 | 1,50 | 0,92 | 0,072 | 1,000 |
| 10 | 1,500 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 2,28 | 1,950 | 1,989 | 1,329 | 1,80 | 0,92 | 0,072 | 1,000 |
| 11 | 1,800 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 2,64 | 2,100 | 2,142 | 1,427 | 2,10 | 0,92 | 0,072 | 1,000 |
| 12 | 2,100 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 3,00 | 2,250 | 2,295 | 1,534 | 2,40 | 0,92 | 0,072 | 1,000 |
| 13 | 2,400 | 0,600 | 0,05 | 0,075 | 0,230 | 3,36 | 2,400 | 2,448 | 1,632 | 2,70 | 0,92 | 0,072 | 1,000 |

Fonte: NBR ISO 9.826/2008.

Desarenador

Segundo recomendação da NBR 12.209/2011, para o projeto de desarenador de fluxo horizontal e seção retangular, opção adotada neste projeto, deve ser observado que a velocidade de escoamento seja na faixa de 0,25 a 0,40 m/s e seja previsto um compartimento de acumulação de material sedimentado com profundidade mínima de 0,20 m.

Ocorre que se a velocidade de escoamento for inferior a 0,15m/s ocorre o depósito de matéria orgânica na caixa e se a velocidade de escoamento for superior a 0,4m/s ocorre o arraste da areia retida e acumulada no fundo da caixa de areia.

A largura e o comprimento do desarenador retangular é dada, respectivamente, pelas equações a seguir:

$$B_{des} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{(h-z)vh} \quad (23)$$

$$L_{des} = 22,5(h - z) \quad (24)$$

Em que:

h = altura da água na caixa (m);

L_{des} = Comprimento da caixa de areia (m);

v_h = velocidade do fluxo (m/s);

v_s = velocidade de sedimentação (m/s).

$$B_{des} = \frac{0,02802}{(0,19-0,05)0,3} = 0,64 \text{ m}$$

$$L_{des} = 22,5(0,19 - 0,05) = 3,15 \text{ m}$$

Será realizado o arredondamento das dimensões do desarenador a fim de facilitar a construção. Portanto, para a largura B_{des} e o comprimento L_{des} será adota 0,65 m e 3,15 m, respectivamente.

A taxa de aplicação superficial no desarenador é pela seguinte equação:

$$q \left(\frac{m^3}{m^2 dia} \right) = \frac{Q}{B_{des} L_{des}} \quad (25)$$

Em que:

Q = Vazão de projeto (m^3/s);

B_{des} = Largura da caixa de areia (m);

L_{des} = Comprimento da caixa de areia (m).

$$q_{2020} = \frac{1257,24}{0,65 \times 3,15} = 614 \frac{m^3}{m^2 dia}$$

$$q_{2040} = \frac{2420,50}{0,65 \times 3,15} = 1.182 \frac{m^3}{m^2 dia}$$

A NBR 12.209 recomenda que a taxa de aplicação superficial no desarenador esteja compreendida na faixa de 600 a 1.300 m^3/m^2 dia. Portanto, a taxa de aplicação superficial deste desarenador atende à recomendada por norma.

A profundidade do compartimento de armazenamento de areia leva em consideração a periodicidade de limpeza do compartimento, a vazão média e a quantidade de areia removida. Para projetos, considera-se a remoção de 30L a 40 L de areia a cada 1.000 m^3 de esgoto. Para este projeto, adotamos o intervalo de limpeza semanal.

$$V_{lodo}(L) = Q_{méd} \times I \times t_{lodo} \quad (26)$$

onde:

Q_{med} = Vazão média de projeto (m^3/d);

I = intervalo de limpeza (dias);

t_{lodo} = taxa de remoção de areia (L/1000m³);

$$V_{\text{lodo}}(L) = 1467,60 \times 7 \times \frac{40}{1000}$$

$$V_{\text{lodo}}(L) = 410,93 \text{ L de areia por semana}$$

$$h_c(m) = \frac{V_{\text{lodo}}}{B_{\text{des}} \times L_{\text{des}}} \quad (27)$$

Em que:

B_{des} = largura do canal, em m;

L_{des} = comprimento do canal, em m.

$$h_c = \frac{0,41093}{0,65 \times 3,15} = 0,20 \text{ m}$$

A tabela 9 apresenta o resultado do dimensionamento dos desarenadores.

Tabela 9 - Resultado do dimensionamento do desarenador.

| DIMENSIONAMENTO DOS DESARENADORES | | |
|---|------------|--|
| DESCRIÇÃO | OBSERVAÇÃO | RESULTADO |
| h min | Equação 20 | 0,09 m |
| h máximo | Equação 21 | 0,19 m |
| Rebaixo Z da Calha Parshall | Equação 22 | 0,04 m |
| Largura | Equação 23 | 0,65 m |
| Comprimento | Equação 24 | 3,15 m |
| Taxa de escoamento superficial em início de projeto | Equação 25 | 614 m ³ /m ² dia |
| Taxa de escoamento superficial em fim de projeto | Equação 25 | 1.182 m ³ /m ² dia |
| Profundidade do compartimento de armazenamento de areia | Equação 27 | 0,20 m |

Fonte: Produção do autor.

6.3 Dimensionamento do reator UASB

A carga afluyente média de DQO é obtida pelo produto da concentração média de DQO afluyente ao reator pela vazão média diária. Segundo Jordão (2009), a concentração de DQO dos esgotos domésticos varia de 200 a 800 mg/L. Para o dimensionamento deste sistema de tratamento será adotada a concentração de DQO igual a 600 mg/L.

$$L_{0 \text{ UASB,DQO}} \left(\frac{\text{kgDQO}}{\text{d}} \right) = S_{0 \text{ UASB,DQO}} \times Q_{\text{méd}} \quad (28)$$

Em que:

$S_{0 \text{ UASB,DQO}}$ = Concentração média de DQO afluyente ao reator UASB (kg/m³);

$Q_{\text{méd}}$ = Vazão média diária (m³/d).

$$L_{0 \text{ UASB,DQO}} = 0,600 \times 1.467,60 = 880,56 \frac{\text{kgDQO}}{\text{d}}$$

O volume total de reatores é determinado pelo produto da vazão média diária pelo tempo de detenção hidráulica TDH do esgoto no reator UASB. Chernicharo (2019) apresenta algumas diretrizes para a escolha do tempo de detenção hidráulica em projetos de reatores de

manta de lodo, conforme pode ser observado na tabela a seguir. Para a temperatura de esgoto à 25 °C e vazão média seria necessário o TDH superior a 6 horas, porém por segurança, será adotado 8 horas.

Tabela 10 - Tempo de detenção hidráulica em horas.

| Temperatura de esgoto (°C) | Para $Q_{méd}$ | Para $Q_{máx}$ |
|----------------------------|----------------|----------------|
| 15 a 18 | $\geq 10,0$ | $\geq 7,0$ |
| 18 a 22 | $\geq 8,0$ | $\geq 5,5$ |
| 22 a 25 | $\geq 7,0$ | $\geq 4,5$ |
| >25 | $\geq 6,0$ | $\geq 4,0$ |

Fonte: Chernicharo (2019)

$$V_{reatores}(m^3) = Q_{méd} \times TDH \quad (29)$$

Em que:

$Q_{méd}$. = Vazão média diária (m³/h);

TDH . = Tempo de detenção hidráulica (h).

$$V_{reator} = 61,15 \times 8 = 489,20 \text{ m}^3$$

A área de cada reator é dada pelo quociente do volume do reator pela altura. A altura adotada para cada reator será 4,5 m.

$$A_{reator} = \frac{V_{reator}}{H_{reator}} \quad (30)$$

Em que:

V_{reator} . = Volume do reator (m³);

H_{reator} . = Altura do reator (m).

$$A_{reator} = \frac{489,20}{4,5} = 108,71 \text{ m}^2$$

A área necessária para a construção do reator foi estimada em 108,71 m². Entretanto, optou-se por dividir a área requerida em dois módulos com 8 m de comprimento e 7 m de largura, totalizando 56,00 m². A tabela 11 apresenta o resultado do dimensionamento dos módulos do reator UASB.

Tabela 11 - Resultado do dimensionamento do reator UASB.

| DIMENSIONAMENTO DO REATOR UASB | | |
|---|------------|-----------|
| DESCRIÇÃO | OBSERVAÇÃO | RESULTADO |
| $Q_{md\ final}$ (m ³ /d) | | 1.467,60 |
| Concentração médio de DQO(kg/m ³) | Adotado | 0,600 |
| Carga afluyente média de DQO ($\frac{kgDQO}{d}$) | Equação 28 | 880,56 |
| Tempo de detenção hidráulica adotado (h) | tabela 10 | 8 |
| Volume total dos reatores (m ³) | Equação 29 | 489,20 |
| Área estimada total dos reatores (m ³) | Equação 30 | 108,71 |
| Número de módulos de reatores | Adotado | 2 |
| Volume adotado de cada modulo de reatores em m ³ | Adotado | 250 |
| Adoção da altura do reator (4 a 5m) | Adotado | 4,50 |
| Área de cada reator (m ²) | = 250/4,5 | 55,56 |
| Comprimento adotado (m) | Adotado | 8,00 |
| Largura adotado (m) | Adotado | 7,00 |
| Área de cada reator corrigida (m ²) | | 56,00 |
| Volume corrigido (m ³) | | 252,00 |
| Tempo de detenção corrigido (horas) | | 8,24 |

Fonte: Produção do autor.

A carga hidráulica volumétrica é determinada pelo quociente entre a vazão média diária e o volume.

$$CHV \left(\frac{m^3/d}{m^3} \right) = Q_{méd}/V_{reator} \quad (31)$$

Em que:

$Q_{méd}$. = Vazão média diária (m³/d);

V_{reator} . = Volume de reatores (m³).

$$CHV = \frac{1467,60}{2 \times 252} = 2,91 \frac{m^3/d}{m^3}$$

A carga orgânica volumétrica Cv é determinada pelo quociente da carga afluyente média de DQO pelo volume. Chernicharo (2019) recomenda que a carga orgânica volumétrica esteja na faixa de 2,5 a 3,5 kgDQO/m³d a fim de evitar velocidades ascensionais excessivas.

$$Cv \left(\frac{kgDQO}{m^3.d} \right) = \frac{L_0 UASB, DQO}{V_{reatores}} \quad (32)$$

onde:

$$L_0 UASB, DQO = \text{carga afluyente média de DQO} \left(\frac{kgDQO}{d} \right);$$

$$V_{reatores} = \text{Volume de reatores (m}^3\text{)}.$$

$$Cv = \frac{880,56}{2 \times 252} = 1,75 \frac{kgDQO}{m^3.d}$$

A velocidade superficial do fluxo é calculada pelo quociente da vazão média diária pela área do reator. A velocidade superficial recomendada para o projeto de reatores UASB é dada pela tabela a seguir.

Tabela 12 - Velocidade superficial recomendada para o projeto de reatores UASB.

| Vazão afluyente | Velocidade superficial (m/h) |
|------------------------------|------------------------------|
| Vazão média | 0,5 a 0,7 |
| Vazão máxima | $\leq 1,1$ |
| Vazão para picos temporários | $< 1,5$ |

Fonte: Chernicharo (2019).

$$v_{fluxo} \left(\frac{m}{h} \right) = \frac{Q_{méd}}{A_{reatores}} \quad (33)$$

onde:

$$Q_{méd} = \text{Vazão média diária (m}^3\text{/h)};$$

$$A_r = \text{Área de reatores (m}^2\text{)}.$$

$$v_{méd} \left(\frac{m}{h} \right) = \frac{61,15}{2 \times 56,00} = 0,55 \text{ m/s}$$

$$v_{máx d} \left(\frac{m}{h} \right) = \frac{61,15 \times 1,2}{2 \times 56,00} = 0,66 \text{ m/s}$$

$$v_{máx h} \left(\frac{m}{h} \right) = \frac{61,15 \times 1,2 \times 1,5}{2 \times 56,00} = 0,98 \text{ m/s}$$

Tabela 13 - Resultado de verificações de carga aplicada e velocidades superficiais.

| DESCRIÇÃO | RESULTADO |
|--|-----------|
| Verificação da carga hidráulica volumétrica aplicada (m ³ /m ³ .d) | 2,71 |
| Verificação da carga orgânica volumétrica aplicada (kgDQO/m ³ .d) | 1,76 |
| Verificação da velocidade superficial médio (m/h) | 0,55 |
| Verificação da velocidade superficial máx. diário (m/h) | 0,66 |
| Verificação da velocidade superficial máx. horário (m/h) | 0,98 |

Fonte: Produção do autor.

As equações a seguir são apresentadas por Chernicharo (2019) para estimativa da eficiência de remoção de DQO e DBO, resultado de modelagem matemática desenvolvido pelo grupo de trabalho da International Water Association (IWA) para modelagem de processos de digestão anaeróbia:

$$E_{DQO}(\%) = 100 \times (1 - 0,68 \times TDH^{-0,35}) \quad (34)$$

$$E_{DBO}(\%) = 100 \times (1 - 0,70 \times t^{-0,50}) \quad (35)$$

Em que:

TDH. = Tempo de detenção hidráulica (h).

$$E_{DQO}(\%) = 100 \times (1 - 0,68 \times 8^{-0,35}) = 67,16 \%$$

$$DQO = 600 - (0,6716 \times 600) = 197,05 \frac{mg \ DQO}{L}$$

Segundo Jordão (2009), a concentração de DBO dos esgotos domésticos varia de 100 a 400 mg/L. Para o dimensionamento deste sistema de tratamento será adotada a concentração de DBO equivalente a 300 mg/L.

$$E_{DBO}(\%) = 100 \times (1 - 0,70 \times 8^{-0,50}) = 75,25 \%$$

$$DBO = 300 - (0,7525 \times 300) = 86,62 \frac{mg \ DBO}{L}$$

A tabela a seguir apresenta o resultado da estimativa de eficiência de remoção de DBO e DQO segundo a modelagem apresentada.

Tabela 14 – Estimativa de eficiência.

| ESTIMATIVA DE EFICIÊNCIA | | |
|--|------------|-----------|
| DESCRIÇÃO | OBSERVAÇÃO | RESULTADO |
| Concentração médio de DQO (mg/DQO/L) | Adotada | 600 |
| Concentração médio de DBO (mg/DQO/L) | Adotada | 300 |
| Tempo de detenção hidráulica (h) | Tabela 10 | 8 |
| Estimativa da eficiência de remoção de DQO (%) | Equação 34 | 67,16 |
| Estimativa da eficiência de remoção de DBO (%) | Equação 35 | 75,25 |
| Estimativa da concentração DQO (mg/DQO/L) | | 197,05 |
| Estimativa da concentração DBO (mg/DBO/L) | | 86,62 |

Fonte: Produção do autor.

Produção, coleta e tratamento de biogás

A avaliação da produção de biogás pode ser feita a partir da estimativa de carga de DQO convertida em gás metano.

$$DQO_{CH_4} \left(\frac{kgDQO_{CH_4}}{d} \right) = Q \times (S_0 - S) - Y_{obs} \times Q \times S_0 \quad (36)$$

Em que:

Q.= Vazão de esgoto afluente (m³/d);

S₀.= Concentração de DQO afluente ($\frac{kgDQO}{m^3}$);

S.= Concentração de DQO efluente ($\frac{kgDQO}{m^3}$);

Y_{obs}.= Coeficiente de produção de sólidos do sistema em termos de DQO (0,11 a 0,23 $\frac{kgDQO_{lodo}}{kgDQO_{apt}}$).

$$DQO_{CH_4} = 1.467,60 \times (600 - 197,05) - 0,21 \times 1.467,50 \times 600$$

$$DQO_{CH_4} = 406,45 \frac{kgDQO_{CH_4}}{d}$$

A produção volumétrica de metano é feita a partir da equação seguinte:

$$Q_{CH_4} \left(\frac{m^3}{d} \right) = \frac{DQO_{CH_4}}{f(T)} \quad (37)$$

Em que:

DQO_{CH_4} . = Produção de biogás ($\frac{kgDQO_{CH_4}}{d}$);

$f(T)$. = fator de correção para a temperatura operacional do reator ($\frac{kgDQO}{m^3}$);

O fator de correção para a temperatura operacional do reator é calculado pela expressão a seguir:

$$f(T) = \frac{P \times K_{DQO}}{R \times (273+T)} \quad (38)$$

Em que:

P . = Pressão atmosférica (1 atm);

K_{DQO} . = DQO correspondente a 1 mol de CH₄ ($64 \frac{gDQO}{mol}$);

R_g = constante dos gases (0,08206 atm.L/mol.K);

T = Temperatura operacional do reator (°C)

$$f(T) = \frac{1 \times 64}{0,08206 \times (273+24)} = 2,63$$

$$Q_{CH_4} \left(\frac{m^3}{d} \right) = \frac{406,45}{2,63} = 154,78 \text{ m}^3/d$$

A produção total de biogás é calculada pelo quociente da produção volumétrica de biogás pela concentração de metano no biogás. Segundo Chernicharo (2019), os teores de metano no biogás são da ordem de 70 a 80 %. Na condição mais desfavorável, será adotado o teor de 70%.

$$Q_{biogás} \left(\frac{m^3}{d} \right) = \frac{Q_{CH_4}}{C_{CH_4}} \quad (39)$$

Em que:

Q_{CH_4} . = Produção volumétrica de metano ($\frac{m^3}{d}$);

C_{CH_4} = Concentração de metano no biogás.

$$Q_{biogás} \left(\frac{m^3}{d} \right) = \frac{154,78}{0,80} = 221,11 \text{ m}^3/d$$

6.4 Leito de secagem

A estimativa da produção de lodo no reator UASB pode ser feita a partir da seguinte equação:

$$P_{\text{lodo}} \left(\frac{\text{kgSST}}{\text{d}} \right) = Y \times L_{0 \text{ UASB,DQO}} \quad (40)$$

Em que:

$L_{0 \text{ UASB,DQO}}$ = carga afluente média de DQO $\left(\frac{\text{kgDQO}}{\text{d}} \right)$;

Y = coeficiente de sólidos no sistema, em kgSST/kgDQO_{aplicada}.

Chernicharo (2019), relata que os valores do coeficiente de sólidos no sistema para o tratamento de esgotos domésticos variam entre ,10 a 0,20 kgSST/kgDQO_{aplicada}. Para o presente projeto foi adotado o Y igual a 0,18.

$$P_{\text{lodo}} = 0,18 \times 880,56 = 158,50 \text{ kgSST/d}$$

O volume de lodo produzido pelos reatores UASB é dado pelo quociente do lodo produzido pelo produto da densidade e concentração do lodo, conforme equação abaixo:

$$V_{\text{lodo}} = \frac{P_{\text{lodo}}}{(\gamma C_{\text{lodo}})} \quad (41)$$

Em que:

P_{lodo} = estimativa da produção de lodo no reator UASB $\left(\frac{\text{kgSST}}{\text{d}} \right)$;

γ = densidade do lodo $\left(\frac{\text{kgSST}}{\text{m}^3} \right)$;

C_{lodo} = concentração esperada do lodo para o descarte (%).

$$V_{\text{lodo}} = \frac{158,50}{(1020 \times 0,04)} = 3,88 \text{ m}^3/\text{d}$$

A equação a seguir expressa a massa de lodo retirado dos reatores, por ciclo de operação dos reatores. Usualmente, os ciclos de operação dos reatores variam entre 15 a 20 dias. O presente projeto adotou 15 dias.

$$M_c = P_{\text{lodo}} \times t_c \quad (42)$$

Em que:

P_{lodo} = estimativa da produção de lodo no reator *UASB* ($\frac{\text{kgSST}}{\text{d}}$);

t_c = ciclo de operação do(s) leito(s) de secagem (dia).

$$M_c = 158,58 \times 15 = 2377,51 \text{ kgSST}$$

Em unidade de volume, a equação a seguir expressa o volume de lodo retirado dos reatores, por ciclo de operação dos reatores.

$$V_c = V_{\text{lodo}} \times t_c \quad (43)$$

Em que:

V_{lodo} = volume de lodo produzido pelos reatores *UASB* (m^3);

t_c = ciclo de operação do(s) leito(s) de secagem (dia).

$$V_c = 3,88 \times 15 = 58,27 \text{ m}^3$$

A área necessária de leitos de secagem é dada pelo quociente da massa de lodo retirado dos reatores pela taxa nominal de aplicação de sólidos no leito. Segundo Chernicharo (2019), a taxa nominal de aplicação de sólidos no leito varia de 10 a 15 kgST/m². Para o dimensionamento do leito de secagem foi considerado a situação mais desfavorável, ou seja, foi adotada a taxa nominal de aplicação de 10 kgST/m².

$$A_{\text{leito}} = \frac{M_c}{T_{\text{leito}}} \quad (44)$$

Em que:

M_c = massa de lodo retirado dos reatores, por ciclo de operação dos reatores *UASB* (m^3);

T_{leito} = taxa nominal de aplicação de sólidos no leito ($\frac{\text{kgST}}{\text{m}^2}$).

$$A_{\text{leito}} = \frac{2377,51}{10} = 237,75 \text{ m}^2$$

O presente projeto requer 237,75m² de área de leito de secagem. Optou-se dividir a área requerida em 4 células com 12 m de comprimento e 5 m de largura, totalizando 60 m² por célula. A tabela 15 apresenta o resultado do dimensionamento das células dos leitos de secagem.

Tabela 15 – Resultado do dimensionamento dos leitos de secagem.

| LEITO DE SECAGEM | | |
|---|------------|-----------|
| DESCRIÇÃO | OBSERVAÇÃO | RESULTADO |
| Produção de lodo no reator <i>UASB</i> , em kgSST/d | Equação 40 | 158,50 |
| Volume de lodo produzido pelos reatores <i>UASB</i> , em m ³ | Equação 41 | 3,88 |
| Ciclo de operação do(s) leito(s) de secagem | Adotado | 15 |
| Massa de lodo produzido pelos reatores <i>UASB</i> , em kgSST | Equação 42 | 2.377,51 |
| Volume de lodo produzido pelos reatores <i>UASB</i> , em m ³ | Equação 43 | 58,27 |
| Área necessária de leitos de secagem, em m ² | Equação 44 | 237,75 |
| Número de células | Adotado | 4 |
| Largura, em m ² | Adotado | 5,00 |
| Comprimento, em m ² | Adotado | 12,00 |
| Área total de leitos de secagem, em m ² | | 240,00 |

Fonte: Produção do autor.

6.5 Dimensionamento da lagoa de polimento

As lagoas de estabilização possuem grande capacidade de amortecimento de vazões. Por este motivo, a vazão média de projeto é utilizada no seu dimensionamento. O volume das lagoas de polimento é dado pelo produto da vazão média diária pelo tempo de detenção hidráulica.

$$V_{L.polimento} = TDH \times Q_{méd} \quad (45)$$

Em que:

TDH = tempo de detenção (d);

$Q_{méd}$ = vazão média (m^3/d).

$$V_{L.polimento} = 12 \times 1.467,60 = 17.611,20 \text{ m}^3$$

A área necessária de lagoa de polimento é expressa dividindo o volume calculado anteriormente pela altura da lagoa. Para o presente projeto foi adotado a altura da lagoa de polimento igual a 1,00m.

$$A_{L.polimento} = V_{L.polimento} / H \quad (46)$$

Em que:

$V_{L.polimento}$ = volume da lagoa de polimento (m^3);

H = altura da lagoa de polimento (m).

$$A_{L.polimento} = \frac{17.611,20}{1,00} = 17.611,20 \text{ m}^2$$

Para a análise da melhor alternativa de para remoção de coliformes fecais, será realizado o dimensionamento de duas alternativas. A primeira alternativa consiste em um sistema de 3 lagoas de polimento em série. A segunda alternativa consiste em uma lagoa de polimento com chicanas.

Sistema de 3 lagoas de polimento em série

O presente projeto considerou dividir a área requerida para a lagoa de polimento em 3 lagoas de polimento em série. Adotando a relação comprimento/largura aproximadamente igual

a 4, as dimensões adotadas foram: largura $L_{\text{lagoa}} = 38,00 \text{ m}$ e; o comprimento $C_{\text{lagoa}} = 155,00 \text{ m}$.

O número de dispersão pode ser estimado pela fórmula apresentada por Von Sperling (2017):

$$d = \frac{1}{L_{\text{lagoa}}/B_{\text{lagoa}}} \quad (47)$$

Em que:

L_{lagoa} = comprimento da lagoa (m);

B_{lagoa} = largura da lagoa (m).

$$d = \frac{1}{155/38} = 0,25$$

A equação empírica a seguir determina o coeficiente de decaimento bacteriano para lagoas, considerando o fluxo disperso. Ela é resultado da experimentação com 82 lagoas facultativas e de maturação no Brasil e no mundo (VON SPERLING,1993) . O autor sugere que seja feita uma correção com o coeficiente de temperatura aproximadamente igual a 7 %, ou seja, $\Theta = 1,07$.

$$K_b = 0,542 h^{-1,259} \quad (48)$$

Em que:

$V_{L,\text{polimento}}$ = volume da lagoa de polimento (m^3);

H = altura da lagoa de polimento em (m);

$$K_{b20} = 0,542 \times 1^{-1,259} = 0,542 d^{-1} \text{ a } 20^\circ \text{C}$$

A correção do coeficiente de remoção de DBO “ K_b ” para diferentes temperaturas. Seu valor pode ser corrigido pela equação de Van’t Hoff-Arrhenius:

$$K_{bT} = K_{b20} \Theta^{(T-20)} \quad (49)$$

Em que:

K_{20} = Coeficiente de remoção de DBO na temperatura do líquido de 20°C (d^{-1});

Θ = constante de variação de temperatura;

T = temperatura ($^\circ \text{C}$).

$$K_{bT} = 0,542 \times 1,07^{(25-20)} = 0,76 d^{-1}$$

Von Sperling (1993. p.119) diz que as concentrações de coliformes fecais (CF) no esgoto bruto são da ordem de 10^6 a 10^9 org/100ml. Este presente projeto visa dimensionar um sistema de tratamento de esgoto doméstico para uma área urbana de Poço Branco que possui uma pequena população para atender, por este motivo, espera-se que o esgoto bruto apresente pequenas concentrações de coliformes fecais. Portanto, será adotado para o dimensionamento a concentração CF da ordem de 10^7 .

Segundo Von Sperling (1993), o reator UASB possui a capacidade de remoção de uma unidade logarítmica de remoção de coliformes. A expressão para determinação do número de unidades logarítmica de remoção de coliformes é dada em função da eficiência de remoção.

$$U_{\logremovidas} = -\log\left(1 - \frac{E}{100}\right) \quad (50)$$

$$E(\%) = 100(1 - 10^{-U_{\logremovidas}}) \quad (51)$$

Em que:

$$U_{\logremovidas} = \text{unidades logarítmicas removidas}$$

$$E(\%) = 100(1 - 10^{-1}) = 90\%$$

A concentração de coliformes fecais no esgoto efluente ao reator UASB pode ser calculada pela seguinte equação:

$$N = N_0 - E \times N_0 \quad (52)$$

Em que:

N_0 = concentração afluente (org/100mL);

E = eficiência em decimais.

$$N = 10^7 - 0,90 \times 10^7 = 10^6 \frac{CF}{100ml}$$

O fluxo disperso melhor representa o regime hidráulico de uma lagoa de estabilização. A fórmula a seguir é utilizada para o cálculo da contagem de coliformes efluentes de lagoas para o regime de fluxo disperso.

$$N = N_0 \frac{4ae^{1/2d}}{(1+a)^2e^{a/2d} - (1-a)^2e^{-a/2d}} \quad (53)$$

Em que:

N_0 = concentração afluente de coliformes termotolerantes afluente, em $\frac{CF}{100ml}$;

d = número de dispersão;

a = coeficiente determinado pela equação 54.

$$a = \sqrt{1 + 4K_b TDH d} \quad (54)$$

Em que:

K_b = coeficiente de decaimento bacteriano, em d^{-1} ;

TDH = tempo de detenção hidráulico, em dias;

d = número de dispersão.

$$a = \sqrt{1 + 4 \times 0,76 \times 4 \times 0,25} = 2,01$$

$$N = 10^7 \frac{4 \times 2,01 e^{1/(2 \times 0,25)}}{(1 + 2,01)^2 x e^{2,01/(2 \times 0,25)} - (1 - 2,01)^2 x e^{-2,01/(2 \times 0,25)}} = 1,18 \times 10^5$$

A eficiência de uma lagoa de polimento pode ser estimada pela equação abaixo. A eficiência global será estimada pela equação 15.

$$E(\%) = \frac{X - X_0}{X} \times 100 \quad (55)$$

Em que:

X = valor inicial;

X_0 = valor final.

$$E(\%) = \frac{10^6 - 1,18 \times 10^5}{10^6} \times 100 = 88,23\%$$

$$E_{global}(\%) = 100 \times [1 - (1 - 0,8823)^3] = 99,8369\%$$

A concentração de Coliformes Fecais pode ser estimada pela equação 52:

$$N = 10^6 - 0,998369 \times 10^6 = 1631 \frac{CF}{100ml}$$

Lagoa de polimento com chicanas

Para o dimensionamento da lagoa de polimento com chicanas, foi adotado a relação comprimento/largura igual a 1, as dimensões adotadas a largura e comprimento foram 133,00 m.

A lagoa foi dividida em 5 partes por 4 chicanas. A largura interna da lagoa chicanada será 26,60 m. A alta relação comprimento/largura da lagoa adquirida com esta divisão com chicanas permite a aproximação do regime hidráulico para o fluxo em pistão. A contagem de coliformes afluente para este regime hidráulico é dado pela expressão abaixo:

$$N = N_0 e^{-K_{bT}TDH} \quad (56)$$

Em que:

N_0 = concentração afluente de coliformes termotolerantes afluente ($\frac{CF}{100ml}$);

K_{bT} = coeficiente de remoção de DBO corrigido para a temperatura do líquido em d^{-1} ;

TDH= tempo de detenção (dia).

$$N = 10^6 e^{-0,76 \times 12} = 110 \frac{CF}{100ml}$$

Com a utilização da equação 55, determinamos a eficiência de remoção de coliformes fecais da lagoa de polimento com chicanas.

$$E(\%) = \frac{10^6 - 110}{10^6} \times 100 = 99,989\%$$

$$U_{\logremovidas} = -\log\left(1 - \frac{99,989}{100}\right) = 3,96$$

Para a análise da melhor alternativa de lagoa de polimento para pós tratamento de efluente faz-se necessário realizar a comparação das duas alternativas (Tabela 16), dentre elas, a lagoa com chicana apresenta melhor eficiência de remoção de coliformes fecais. Portanto, a lagoa com chicanas é a melhor alternativa.

Tabela 16 - Resultado do dimensionamento das lagoas de polimento.

| DESCRIÇÃO | LAGOAS EM SÉRIE | LAGOA COM CHICANA |
|---|-----------------|-------------------|
| Número de lagoas (unidade) | 3 | 1 |
| Largura adotada (m) | 38,00 | 133,00 |
| Comprimento adotado (m) | 155,00 | 133,00 |
| Área requerida por lagoa (m ²) | 5.890,00 | 55.696,00 |
| Área total requerida (m ²) | 17.670,00 | 17.689,00 |
| Eficiência de uma lagoa de remoção de CF (%) | 88,23 | 99,9890 |
| Eficiência global de remoção de CF (%) | 99,8369 | 99,9890 |
| Concentração de CF afluente ($\frac{CF}{100 ml}$) | 1.631 | 110 |

Fonte: Produção do autor.

7 RESULTADOS

Como critério de dimensionamento das unidades do sistema de tratamento de esgotos foi considerado que as concentrações de DBO e DQO eram relativamente baixas, 300 mL e 600 mL, respectivamente, devido às baixas concentrações encontradas em esgotos domésticos de pequenas populações.

O dimensionamento dos módulos dos reatores UASB apresentou excelentes resultados na estimativa de remoção das concentrações de DBO e DQO.

Segundo Chernicharo (2019), a eficiência de remoção de DBO e DQO nos reatores UASB se situam na faixa de 65% a 75%. O dimensionamento estimou uma concentração efluente de DBO igual a 86,62 mgDBO/L, em termos de eficiência, estimou-se remoção equivalente a 75,25 % de carga orgânica. Em relação à remoção de DQO, o dimensionamento dos reatores UASB estimou a concentração efluente do reator 197,05 mgDQO/L, equivalente a 67,16% de eficiência de remoção. Portanto, os resultados do dimensionamento das unidades se situam na faixa de porcentagem reportados por Chernicharo.

Apesar dos excelentes resultados encontrados por Monteiro (2009), no monitoramento das eficiências médias de remoção de coliformes termotolerantes na região metropolitana de Fortaleza, no dimensionamento desta ETE, optou-se por considerar a eficiência de 90% apontada por Chernicharo (2019) para o dimensionamento das lagoas de polimento.

Para a escolha da melhor configuração de lagoas de polimento para a remoção de CF, optou-se por avaliar duas alternativas: o sistema de 3 lagoas de polimento em série e a lagoa com chicanas. O critério de escolha foi a melhor eficiência de remoção de CT.

O sistema de 3 lagoas de polimento em série possui uma relação comprimento/largura de lagoa aproximadamente igual a 4. O regime hidráulico idealizado de uma lagoa foi considerado como fluxo disperso devido à baixa relação comprimento/largura adotado. A eficiência de remoção de organismo patogênicos de uma lagoa de polimento para este regime foi estimada em 88,23 %. Em relação à eficiência global das lagoas em série foi estimada a eficiência de 99,8369 % o que resultou em uma concentração efluente de CF igual a 1631 CF/100mL.

Já a lagoa de polimento com chicanas, possui uma relação comprimento/largura de lagoa igual a 1, com dimensões iguais a 133,00 m. O número de chicanas utilizadas foram 4 o que resulta em 5 divisões na lagoa com largura igual a 26,60m. Devido a adoção destas 5 chicanas, a relação comprimento/largura de lagoa resultou em 25 (5 chicanas x 133 m / 26,60

m). Por este motivo, o regime hidráulico idealizado para esta lagoa foi considerado como fluxo em pistão devido à alta relação comprimento/largura encontrada.

A eficiência de remoção da lagoa de polimento com chicanas para o regime hidráulico em pistão foi estimada em 99,989 % o que resultou em uma concentração efluente de coliformes termotolerantes (CT) igual a 110 CT/100mL. Esta solução se tornou mais atrativa devido a concentração de coliformes efluente ser inferior a alternativa anterior e melhor atender a legislação ambiental.

Segundo o artigo 15º da Resolução 357/05 do CONAMA, aplicam-se às águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1. Em relação à concentração de coliformes termotolerantes não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros. A concentração de CT estimada do efluente da ETE Poço Branco é inferior à requerida pela resolução. Portanto, a ETE se enquadra na condição de concentração de CT para lançamento de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

Em relação a concentração de DBO, o sistema de tratamento de esgoto da ETE Poço Branco resultou em uma concentração DBO efluente igual a 86,62 mgDBO/L. Segundo o artigo 21º da Resolução 430/11 do CONAMA, o lançamento direto de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários deverá obedecer a concentração de DBO 5 dias a 20°C máximo de 120 mg/L. Portanto, no que se refere à concentração de DBO, a ETE se enquadra na legislação.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho propôs o tratamento coletivo dos esgotos domésticos da zona urbana do município de Poço Branco/RN que atualmente não possui sistema de esgotamento sanitário coletivo (composto por coleta, tratamento e disposição final dos efluentes).

Apesar da inexistência do sistema de coleta o projeto teve como objeto apenas o projeto da Estação de Tratamento de Esgotos, sendo que para implantação/funcionamento deste componente faz-se necessário projetar e construir o sistema de coleta e transporte dos esgotos da área de estudo.

O local de implantação do sistema de tratamento de esgotos foi escolhido por sua topografia. As curvas de nível foram produzidas através de geoprocessamento de imagens de satélite do Google Earth por meio do software Global Mapper 20.1. Para melhor precisão, recomendo a realização de um levantamento topográfico georreferenciado do terreno.

Após a escolha do local de implantação, verificou-se que a implantação da lagoa de polimento resultará grandes movimentos de terra. Na escolha de uma área para implantar lagoas de estabilização exige-se terrenos planos pois, os movimentos de terra são onerosos. Recomenda-se que em trabalhos futuros sejam concebidas configurações alternativas de ETEs e realizada uma avaliação técnica e econômica entre os resultados.

O sistema de tratamento projetado apresentou altas eficiências de remoção de DBO e DQO, possibilitando nas condições operacionais impostas alcançar valores médios acima de 90% de remoção da carga orgânica, atendendo aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental.

Em relação a eficiência de remoção de coliformes termotolerantes, o sistema obteve resultado inferior à requerida pela Resolução 357/05 do CONAMA, enquadrando-se na condição de concentração de CT para lançamento de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

Para assegurar o funcionamento adequado do sistema faz-se necessário implementar um programa de monitoramento do sistema. O programa de monitoramento possibilitar, tanto a verificação dos parâmetros operacionais aqui adotados, quanto a otimização da rotina operacional.

REFERÊNCIAS

ARES-PCJ - AGÊNCIA REGULADORA DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO DAS BACIAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. **Relatório de fiscalização técnica dos sistemas de água e esgoto do município de Cerquilha**: Relatório R11 – Não Conformidades. Americana: UFMG, 2018. 37 p. Disponível em: www.arespcj.com.br/arquivos/62909_Cerquilha_R7.pdf. Acesso em: 20 out. 2020.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário - Procedimento**. Rio de Janeiro, 1986.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9826: Medição de vazão de líquido em canais abertos – Calhas Parshall e SANIIRI**. Rio de Janeiro, 2008.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11885: Grade de barras retas, de limpeza manual- Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, 2011.

CAMPOS, José Roberto. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**: Coletânea de Trabalhos Técnicos. Rio de Janeiro-RJ: FINEP, 2000. 443 p. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/historico-de-programa/prosab/produtos>. Acesso em: 3 abr. 2020.

CAVALCANTI, P.F. **Aplicação de reatores UASB e lagoas de polimento no tratamento de esgoto doméstico**. Gráfica Santa Marta. João Pessoa, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores anaeróbios**. 5. ed. rev. atual. e aum. Belo Horizonte: UFMG, 2019. v. 2..

CLIMATEMPO. **Climatologia em Poço Branco, RN**, 2020. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/6320/pocobranco-rn>. Acesso em: 10 ago. 2020.

CONAMA -CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357**. [S. l.], 17 maio 2005. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2747>. Acesso em: 10 ago. 2020.

CONAMA -CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 430**. [S. l.], 13 maio 2011. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=17214>. Acesso em: 10 ago. 2020.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Cidades**: Poço Branco. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/poco-branco/panorama>. Acesso em: 10 ago. 2020.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2008. 219 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=283636>. Acesso em: 10 ago. 2020.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**, 5 5ªed., Rio de Janeiro: ABES, 2009

MONTEIRO, Carlo Rannyêr Lopes. **Análise da eficiência e confiabilidade em 56 estações de tratamento de esgotos localizados na região metropolitana de Fortaleza**. Orientador: André Bezerra dos Santos. 2009. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/16482>. Acesso em: 11 nov. 2020.

OLIVEIRA, Cristiane Mayara Reis. **Aplicabilidade de sistemas simplificados para estações de tratamento de esgoto de cidades de pequeno porte**. Orientador: Ana Sílvia Pereira Santos. 2014. 88 p. Monografia (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014. Disponível em: <https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/APLICABILIDADE-DE-SISTEMAS-SIMPLIFICADOS-PARA-ESTA%C3%87%C3%95ES-DE-TRATAMENTO-DE-ESGOTO-DE-CIDADES-DE-PEQUENO-PORTE.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2020.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Ministério das cidades/Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 10 ago. 2020.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbico de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994.

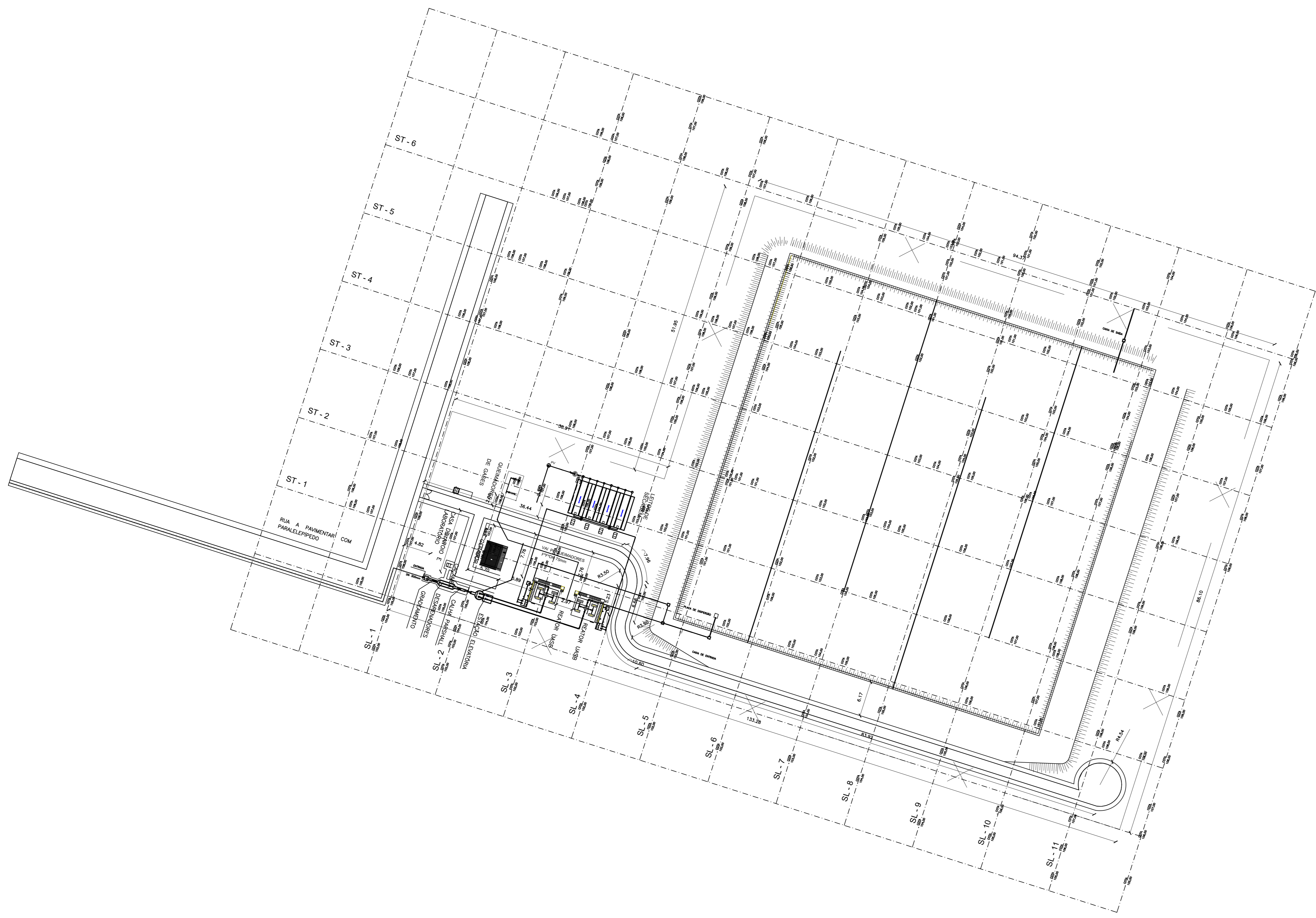
VON SPERLING, Marcos. **Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries**: Relatório R11 – Não Conformidades. [S. l.]: Elsevier, 1996. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/027312239600323X>. Acesso em: 20 out. 2020.

VON SPERLING, Marcos Von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização**. 2. ed. aum. Belo Horizonte: UFMG, 1995. 95 p. v. 3.

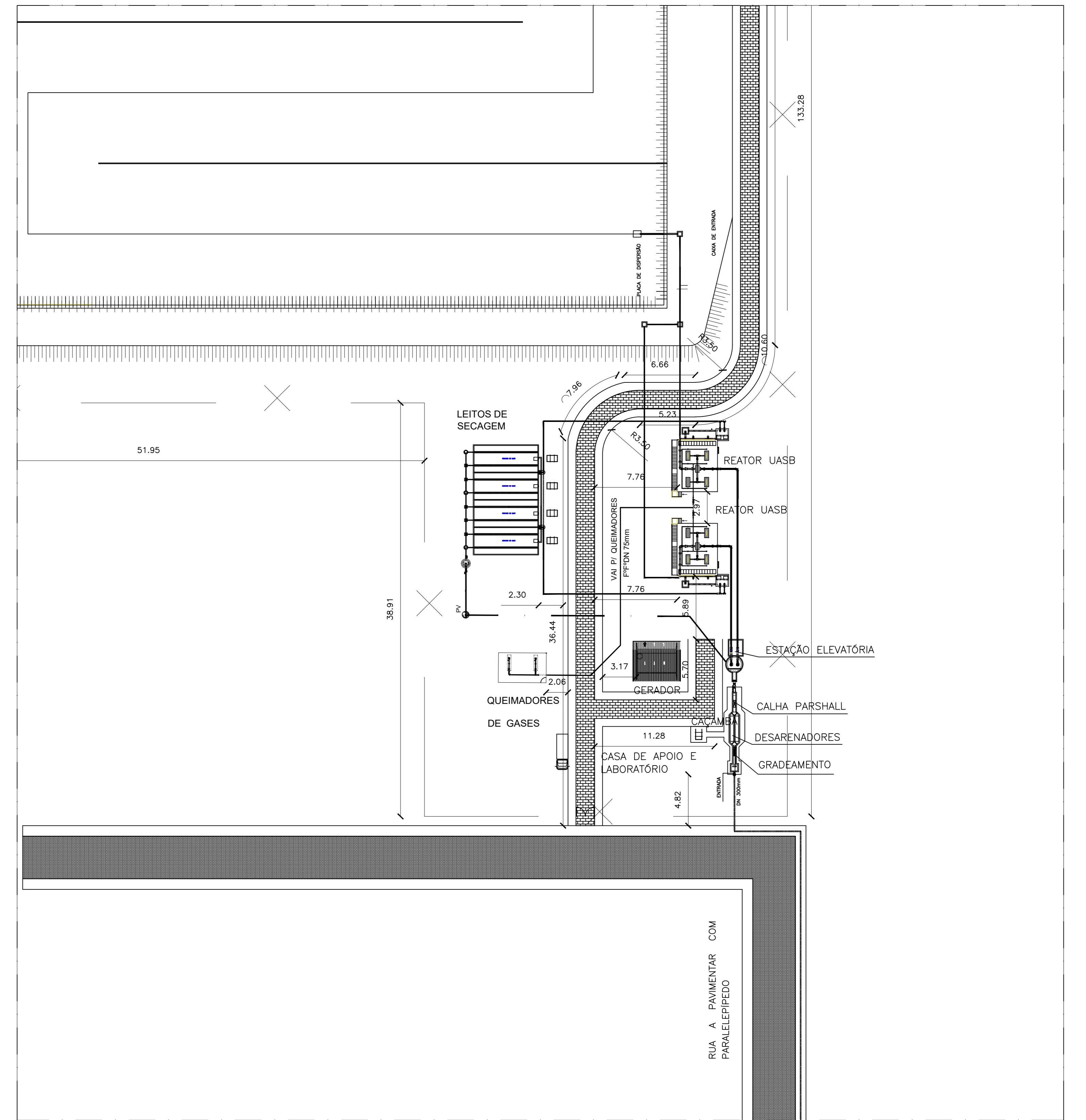
APÊNDICES



PLANTA GERAL
ESCALA:1:750

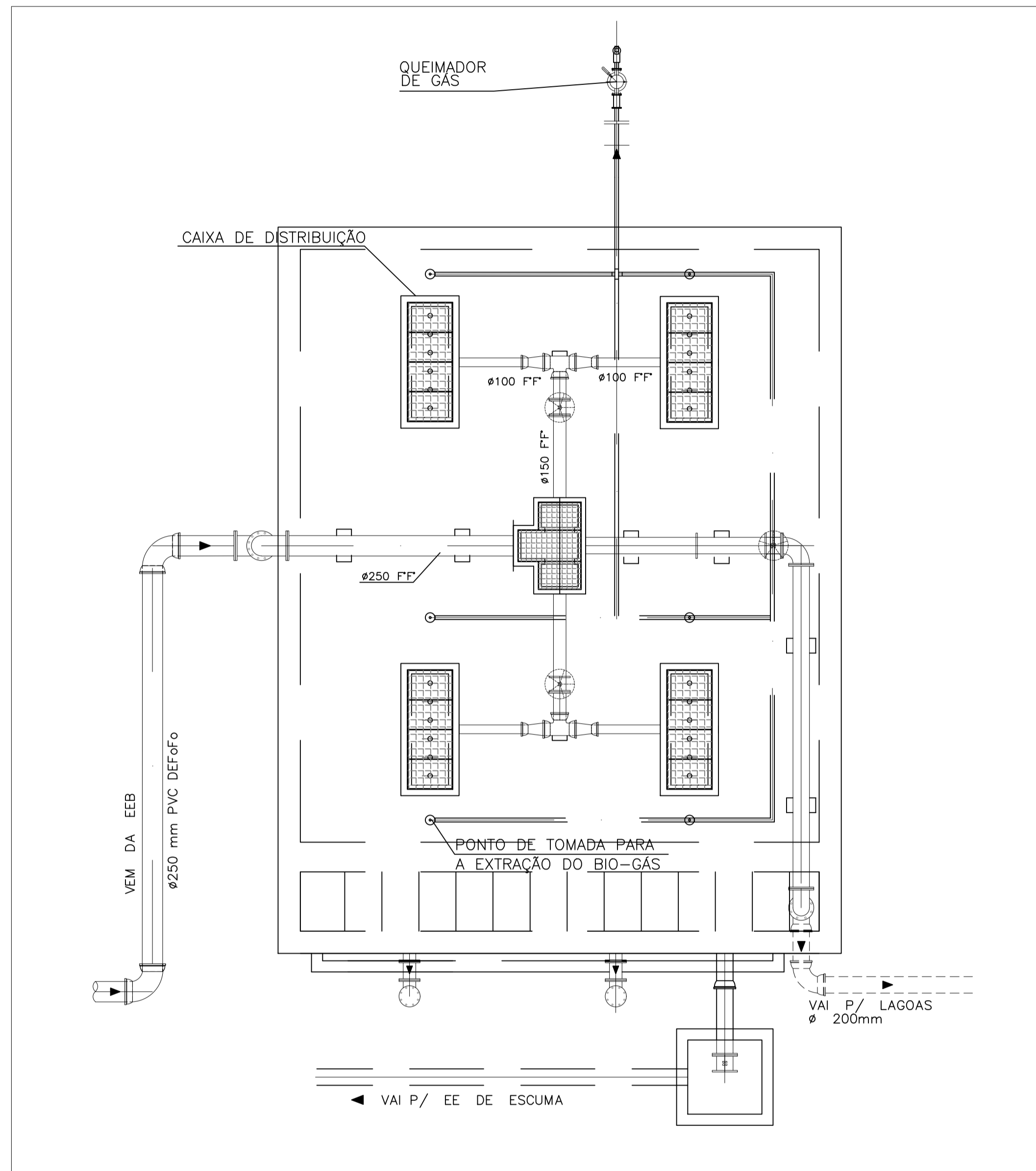


PLANTA DE SITUAÇÃO
ESCALA:1:7500

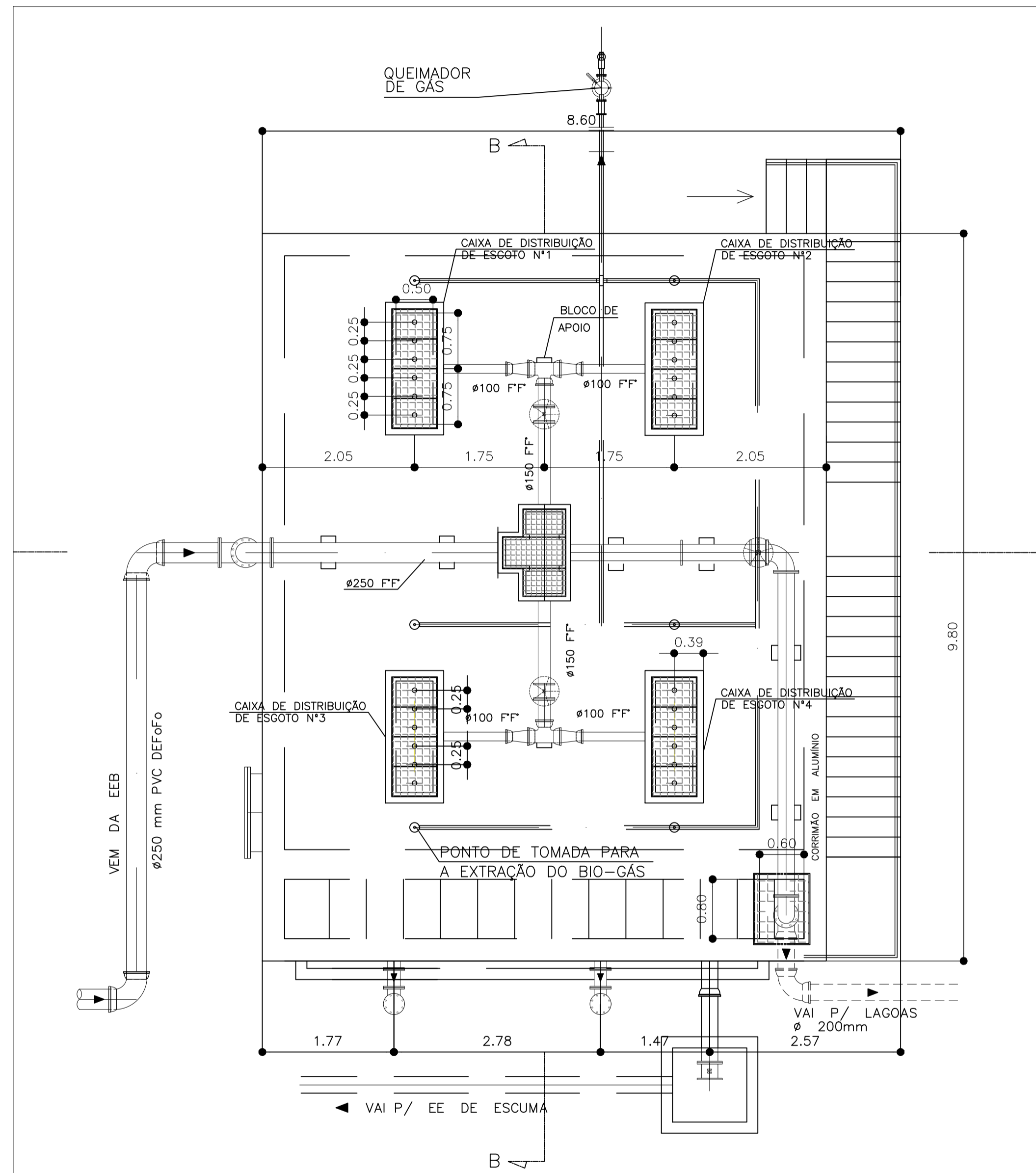


PLANTA DE LOCAÇÃO
ESCALA:1:500

| | | |
|--|-----------------------|---|
| UFRN UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE | | CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL CURSO DE ENGENHARIA CIVIL |
| PROJETO: ESTÁÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN | | |
| TÍTULO: PROJETO DE REATOR UASB SEGUIDO DE LAGOA DE POLIMENTO COM CHICANAS | | |
| SUBTÍTULO: PLANTA DE LOCAÇÃO E PLANTA DE SITUAÇÃO | | PRONCHA Nº |
| DISCENTE: GEORGE MATEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA | | |
| ESCALA(S): INDICADAS | DATA: OUTUBRO/2020 | 01 /01 |



PLANTA GERAL
ESC:1:50

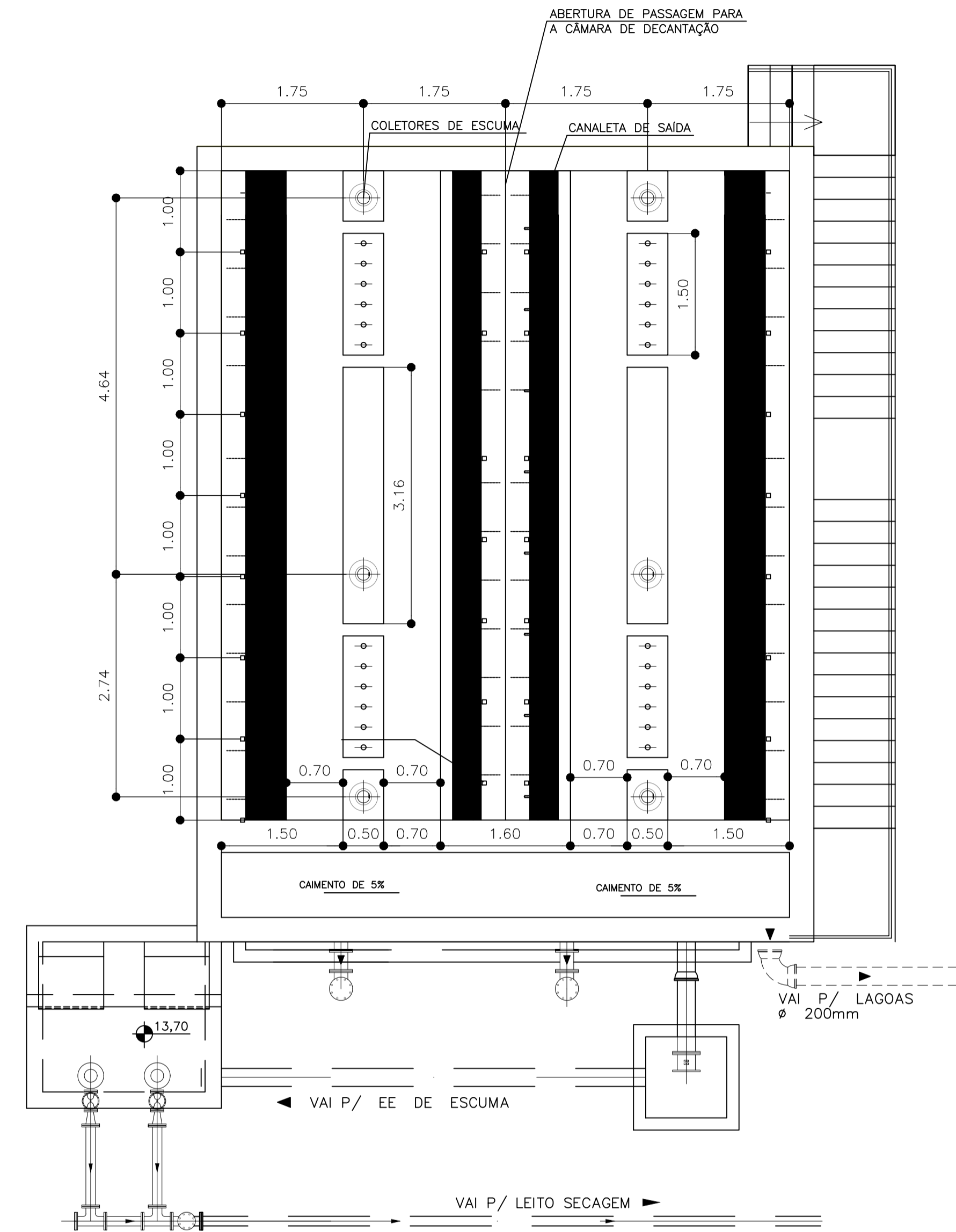


PLANTA DE COBERTURA
ESC:1:50

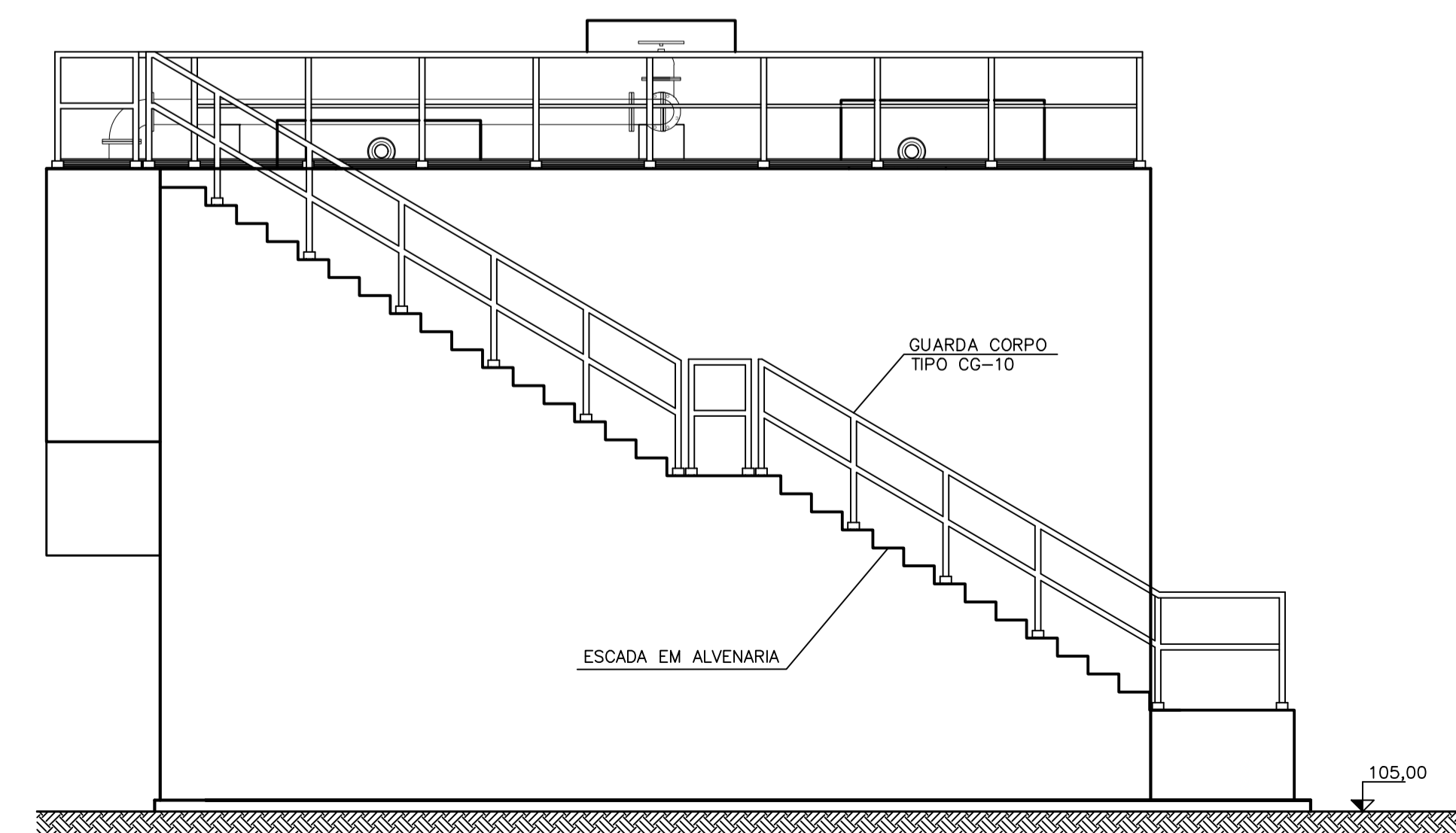
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

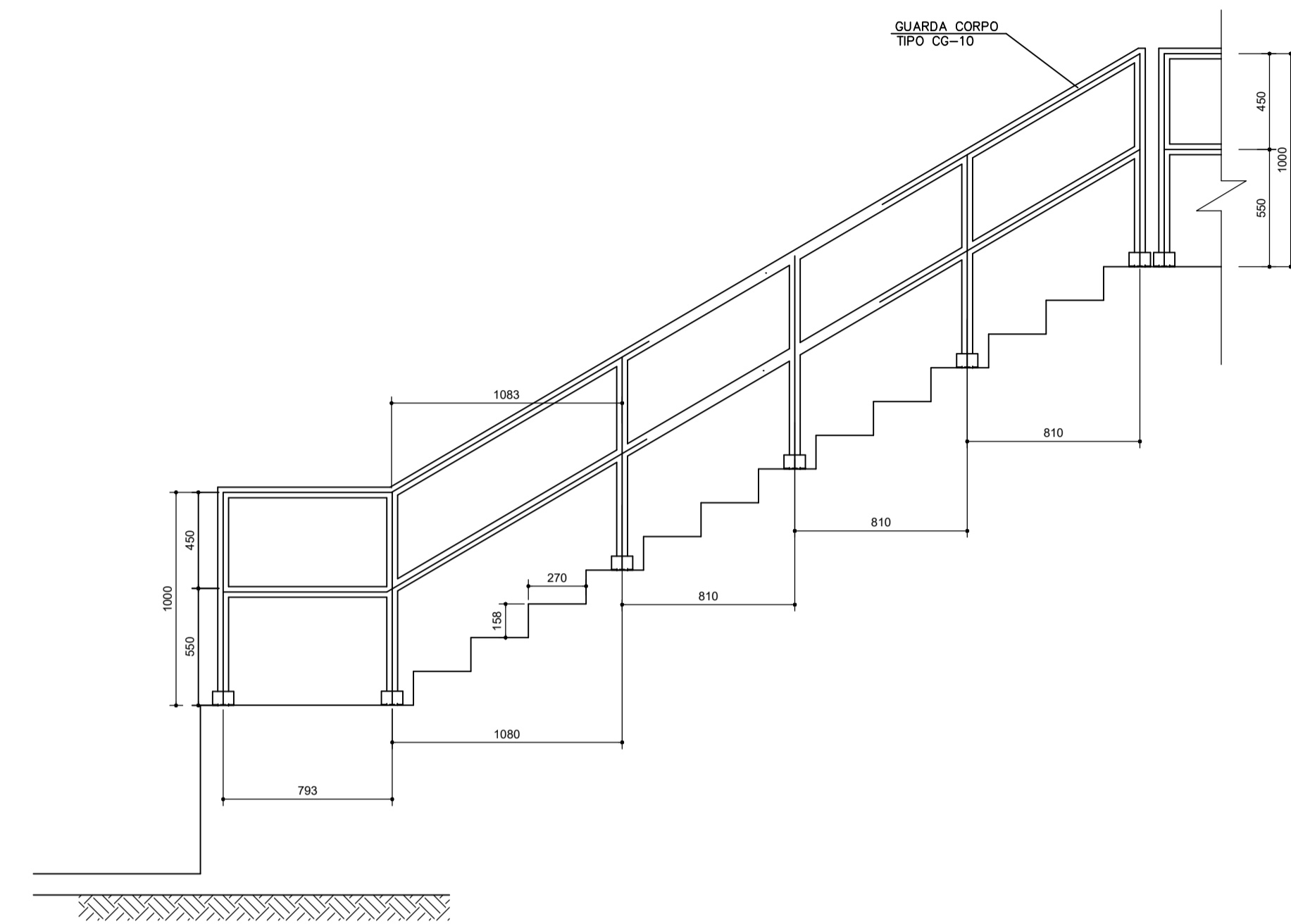
| | | |
|---|---------------------|---|
|  | | CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL CURSO DE ENGENHARIA CIVIL |
| PROJETO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN | | |
| TÍTULO: PROJETO DE REATOR UASB SEGUIDO DE LAGOA DE POLIMENTO COM CHICANAS | | |
| SUBTÍTULO: PLANTA BAIXA E PLANTA DE COBERTURA | | PRANCHA N° |
| DISCENTE: GEORGE MATHEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA | | 01 / 05 |
| ESCALA(S): 1:50 | DATA: NOVEMBRO/2020 | |



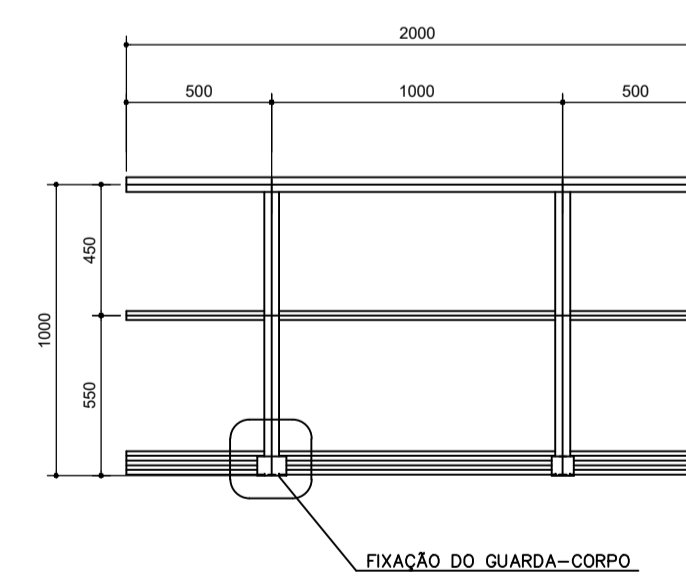
PLANTA
ESC.1:50



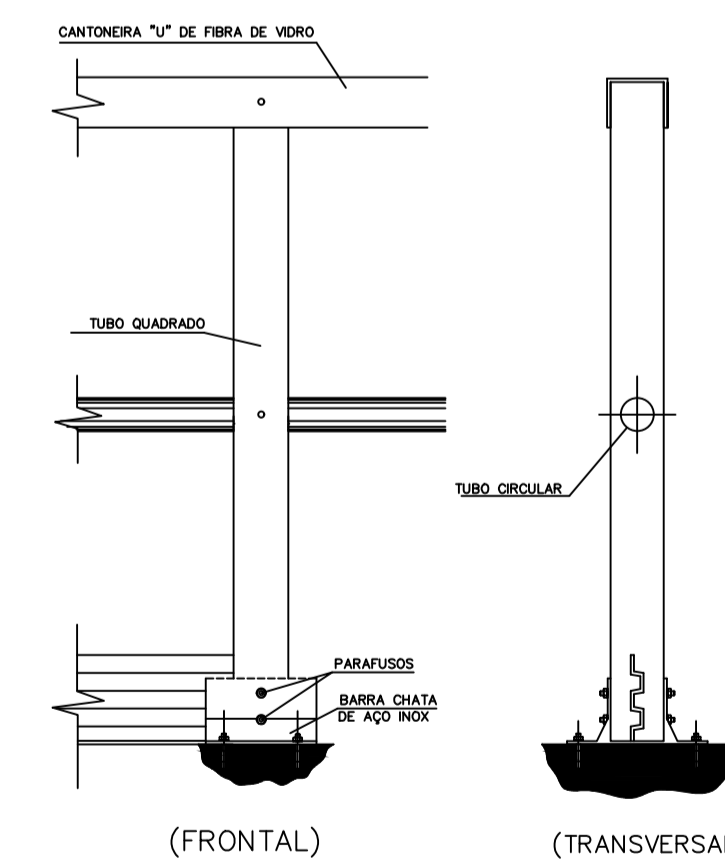
FACHADA LATERAL
ESC.1:50



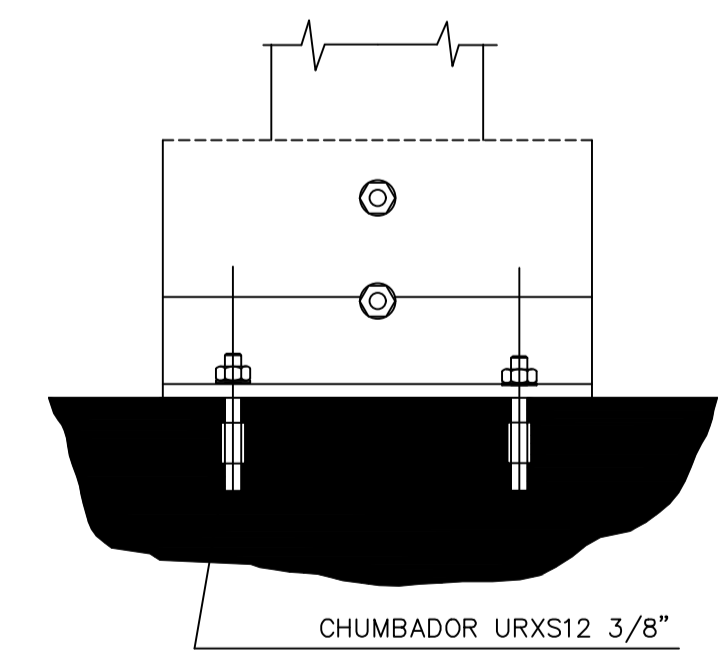
ESCALA
ESC.1:25




DETALHE DO GUARDA-CORPO
SEM ESCALA

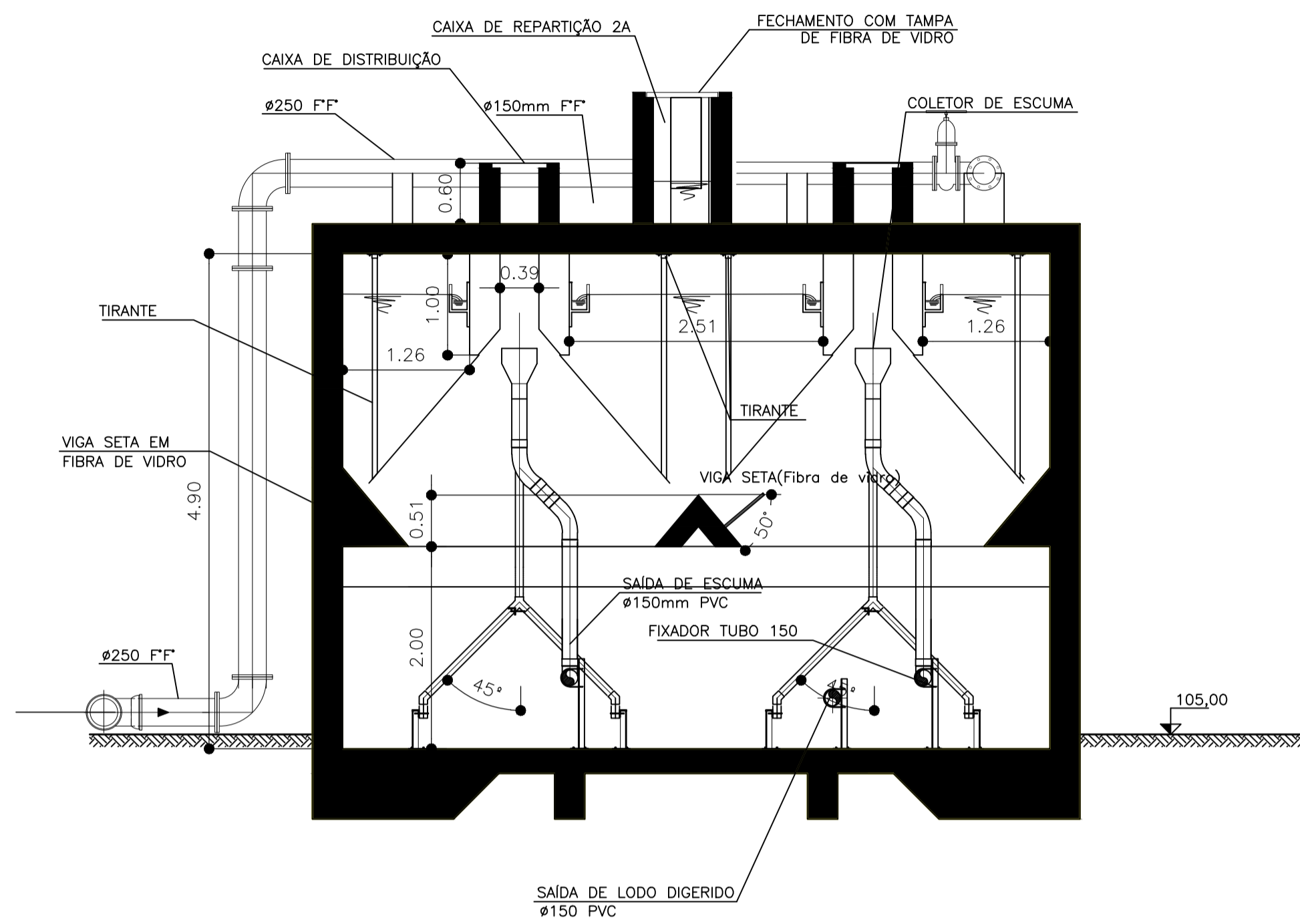


GUARDA-CORPO
ESC.1:20

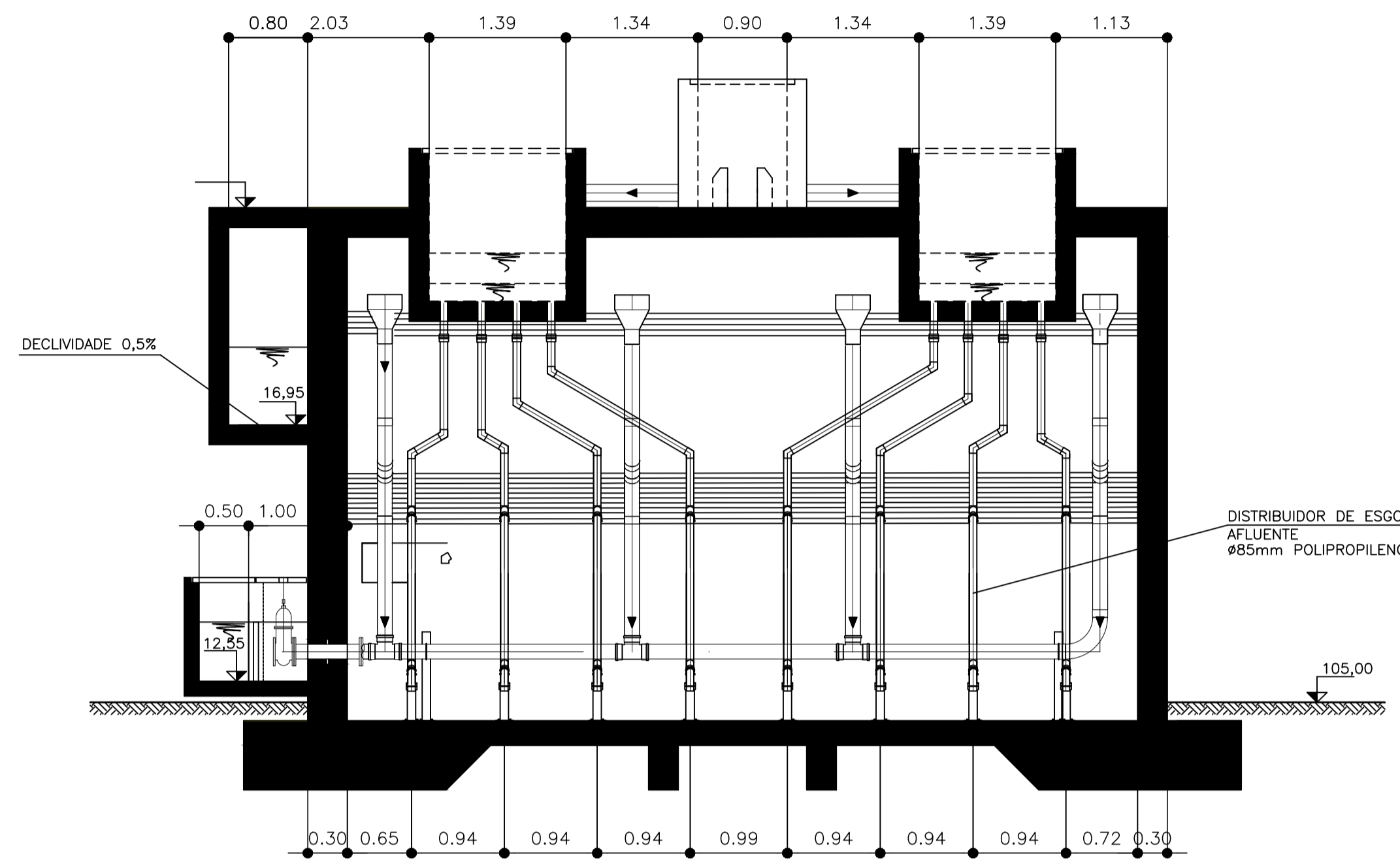


DETALHE DE FIXAÇÃO DO GUARDA-CORPO
SEM ESCALA

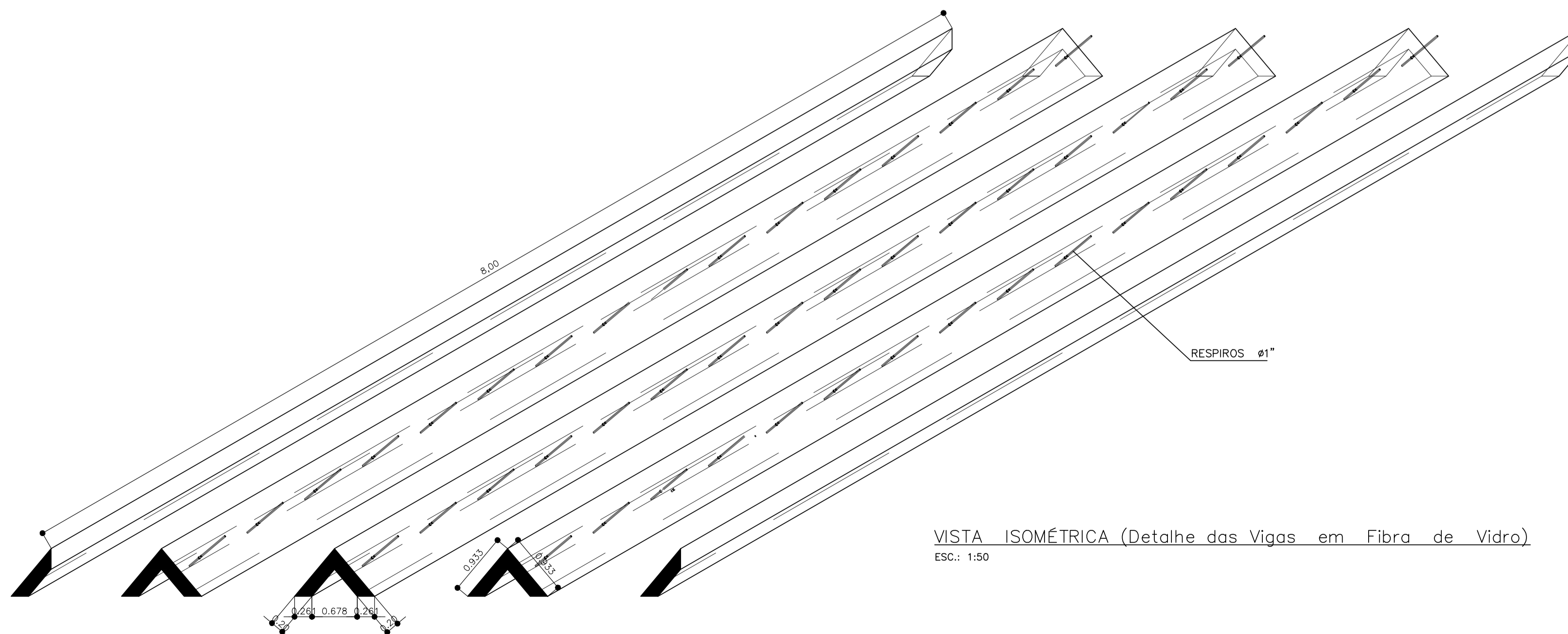
| | | | |
|---|--|---|--|
|  | | CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL CURSO DE ENGENHARIA CIVIL | |
| | | PROJETO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN TÍTULO: PROJETO DE REATOR UASB SEGUIDO DE LAGOA DE POLIMENTO COM CHICANAS SUBTÍTULO: PLANTA DE FACHADA E DETALHES DISCENTE: GEORGE MATHEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA ESCALA(S): 1:50 DATA: OUTUBRO/2020 | |
| | | FRANCHA N° 02/05 | |



CORTE A-A
ESC.1:50

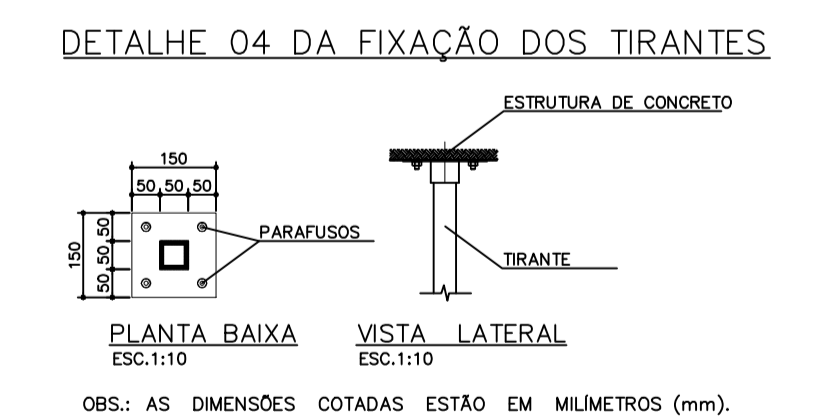
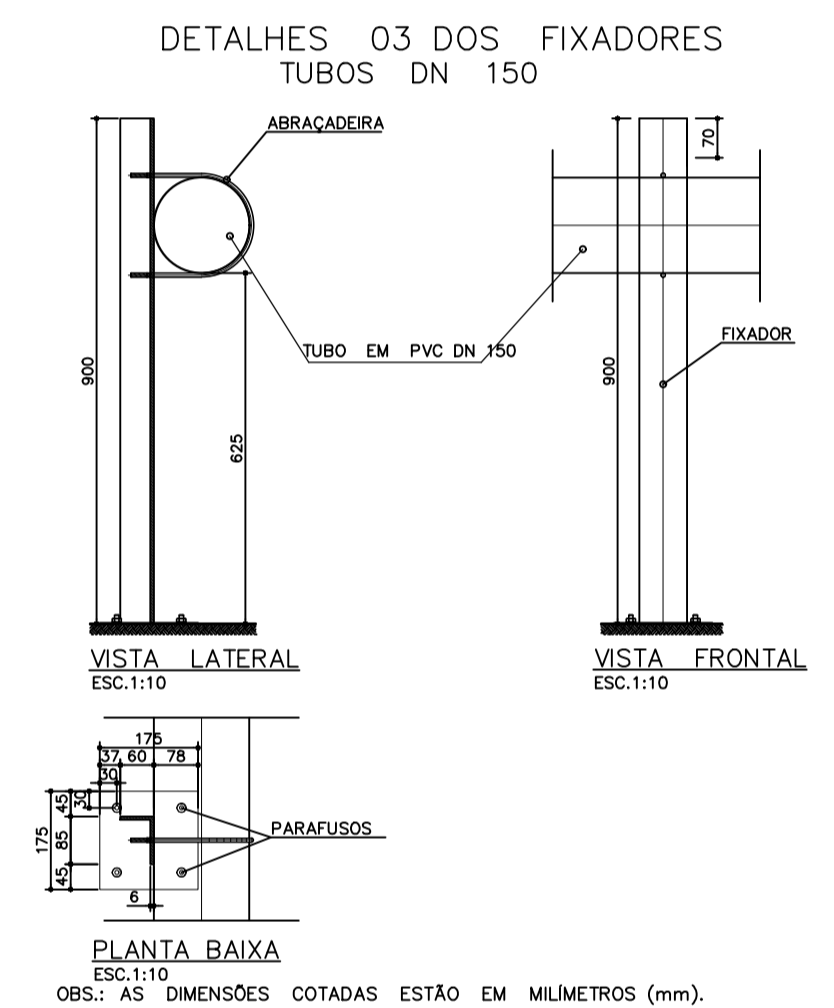
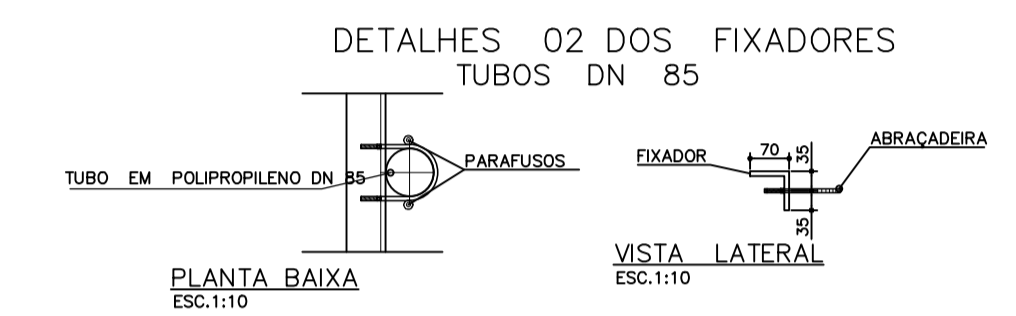
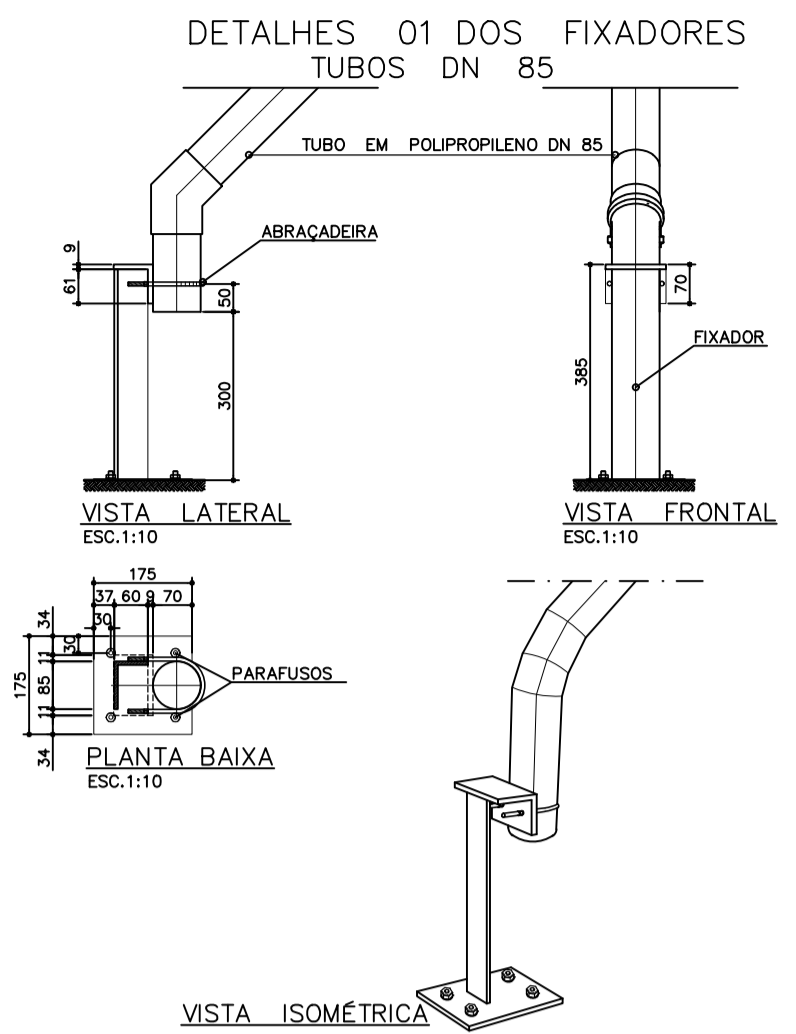


CORTE B-B
ESC.1:50



VISTA ISOMÉTRICA (Detalhe das Vigas em Fibra de Vidro)
ESC.: 1:50

VIGA SETA
ESC.1:50



CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

PROJETO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN

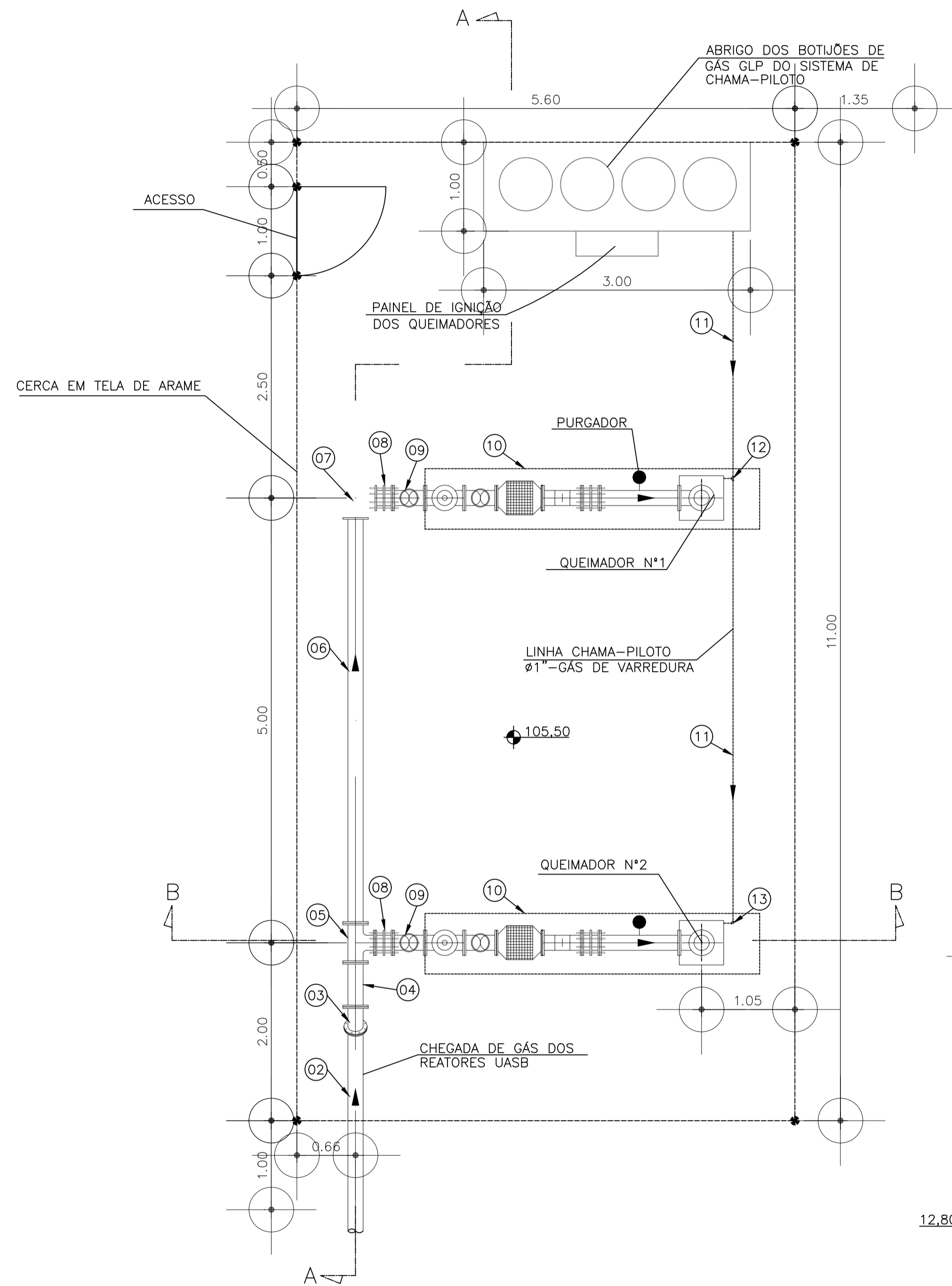
TÍTULO: PROJETO DE REATOR UASB SEGUIDO DE LAGOA DE POLIMENTO COM CHICANAS

SUBTÍTULO: CORTES A - A, CORTES B - B E DETALHES

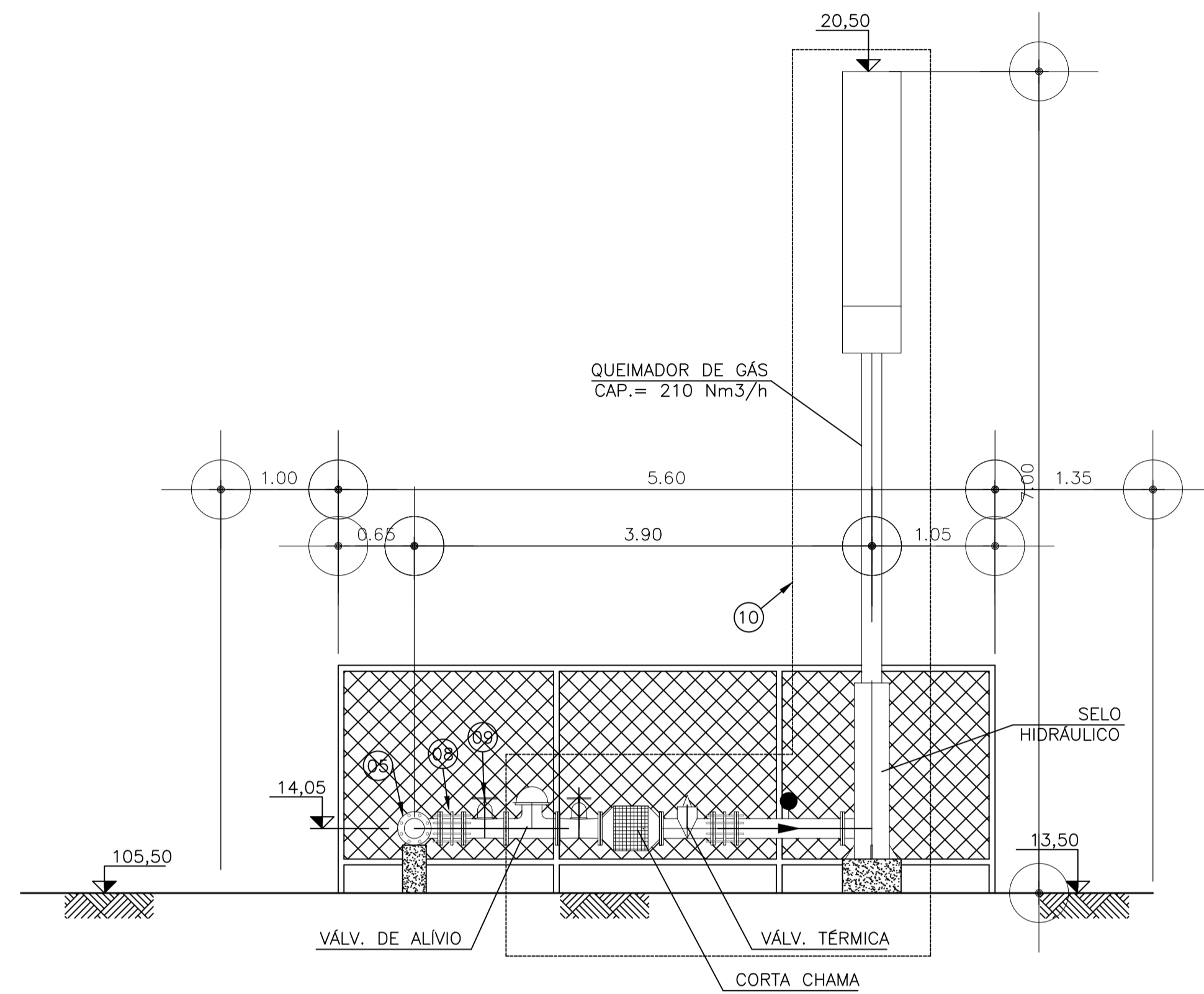
DISCENTE: GEORGE MATHEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA

ESCALA(S): INDICADAS DATA: OUTUBRO/2020

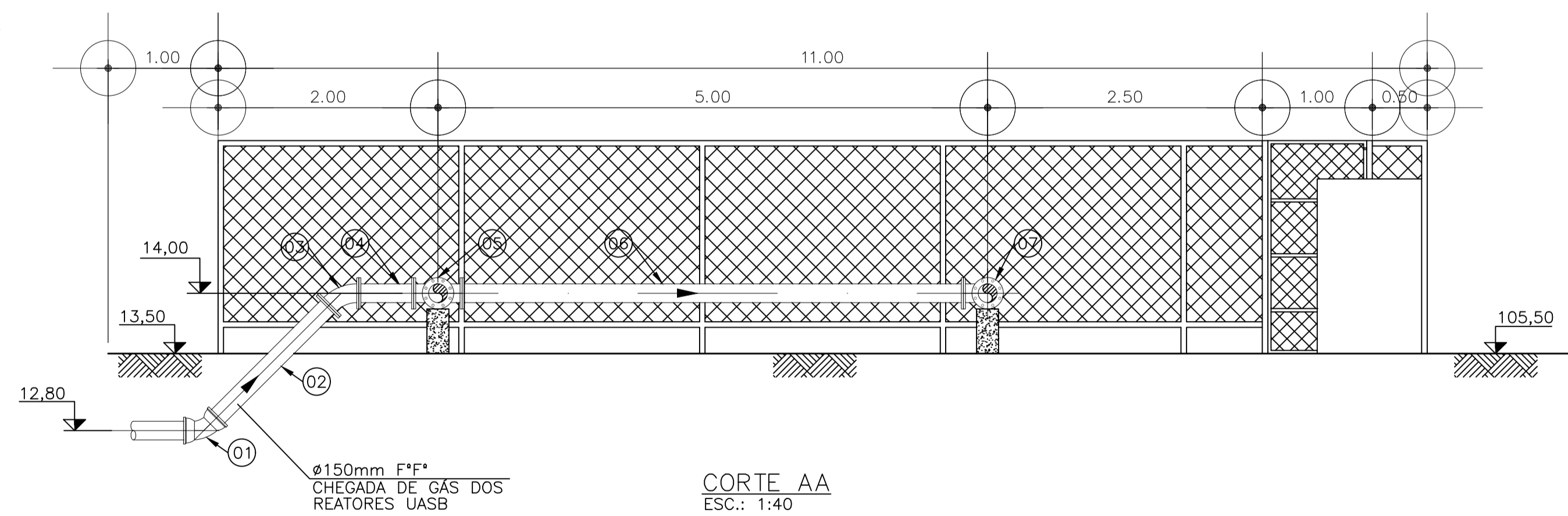
PRANCHA N° 03/05



PLANTA
ESC.: 1:40



CORTE_BB
ESC.: 1:40



CORTE_AA
ESC.: 1:40



CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

PROJETO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN

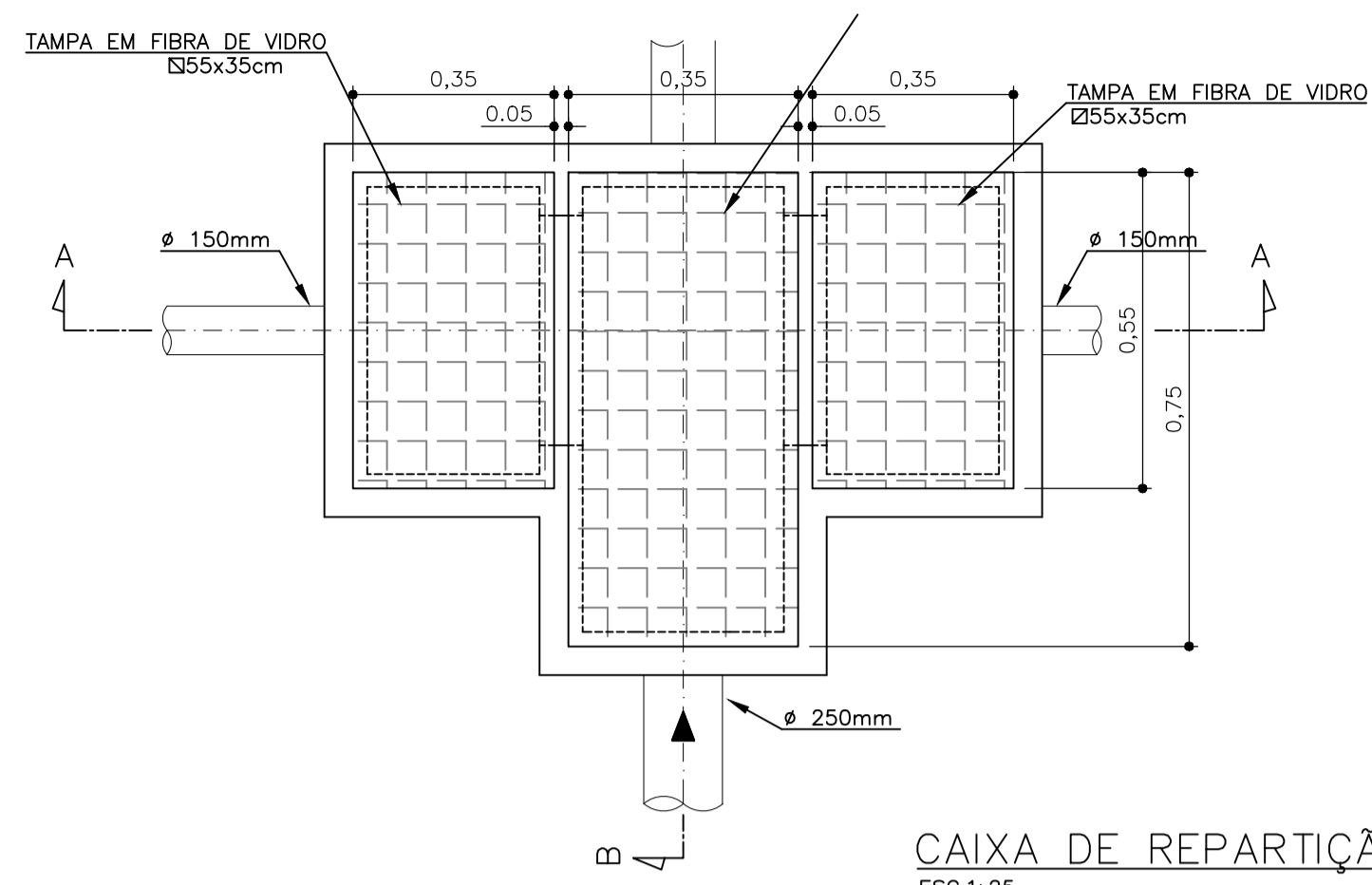
TÍTULO: PROJETO DE REATOR UASB SEGUIDO DE LAGOA DE POLIMENTO COM CHICANAS

SUBTÍTULO: QUEIMADORES

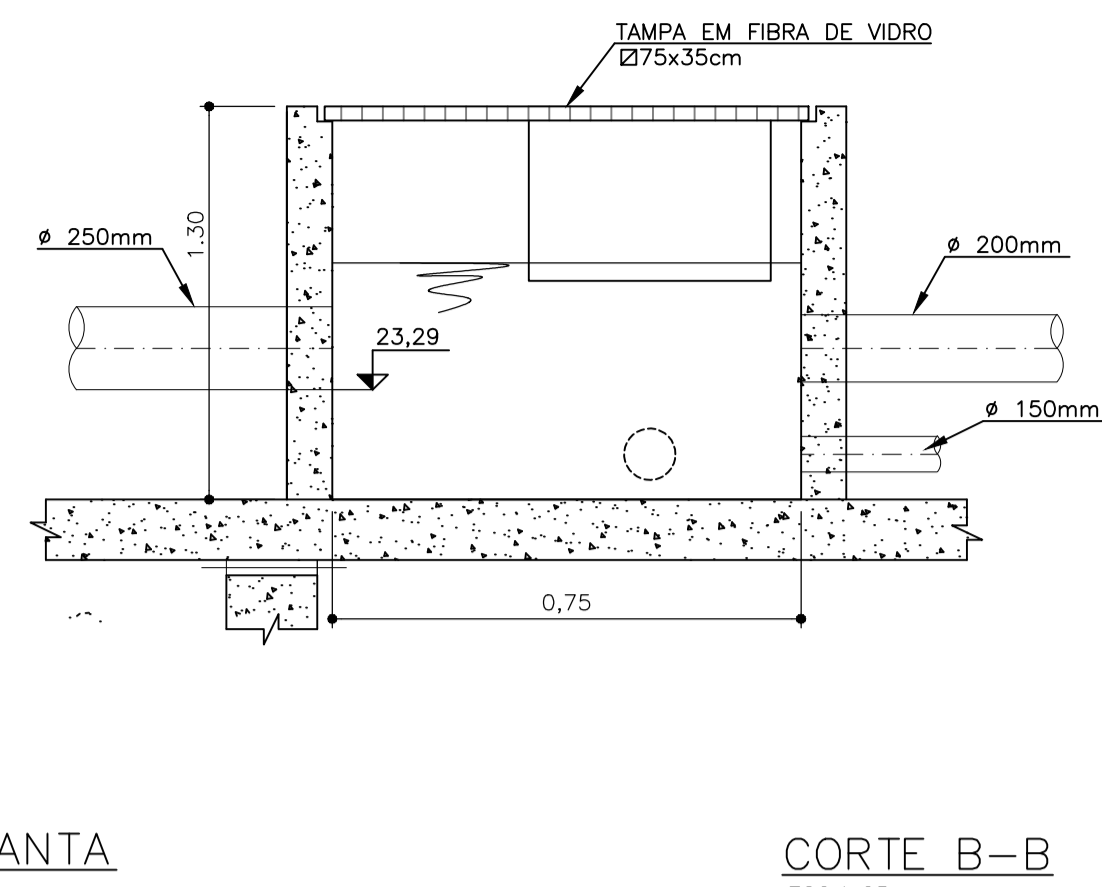
DISCENTE: GEORGE MATHEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA

ESCALA(S): 1:50 DATA: OUTUBRO/2020

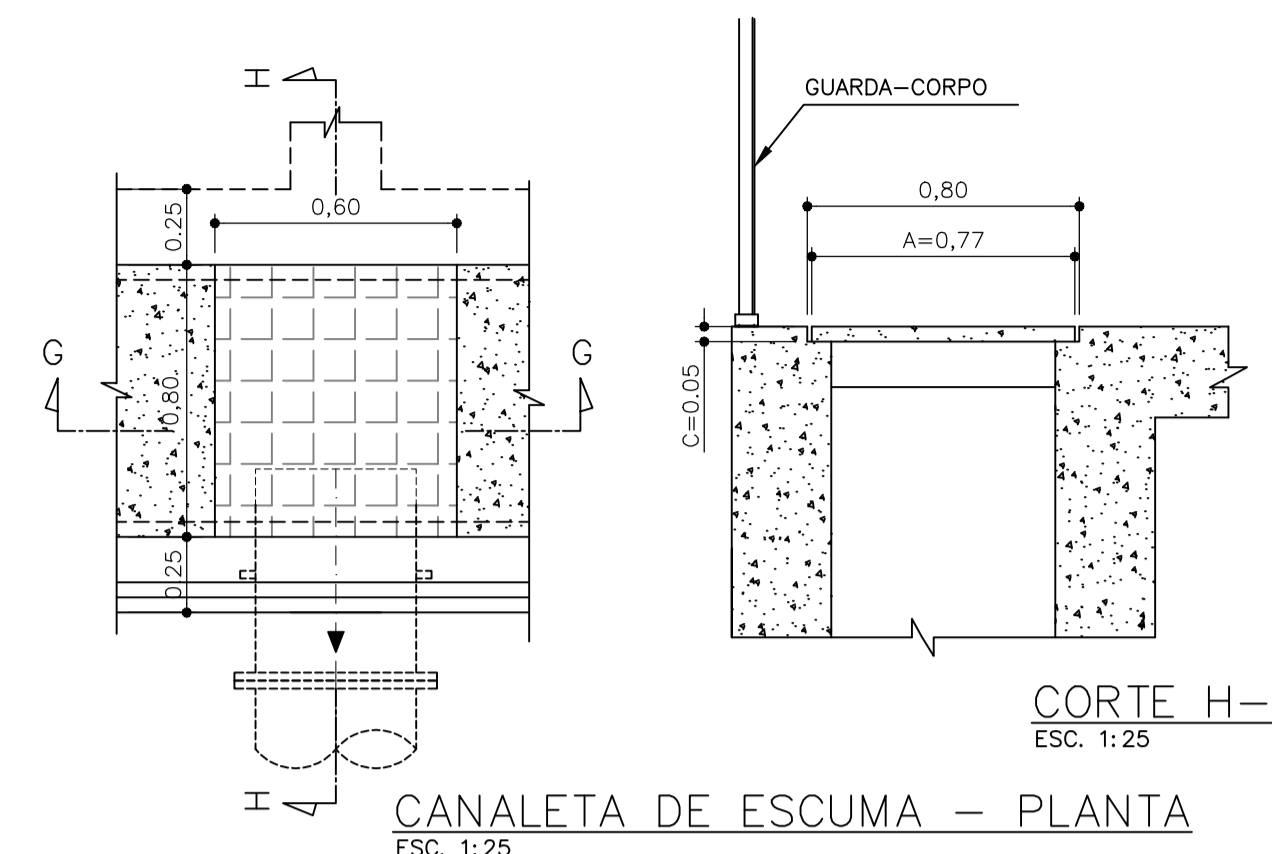
PRANCHA N°
04/05



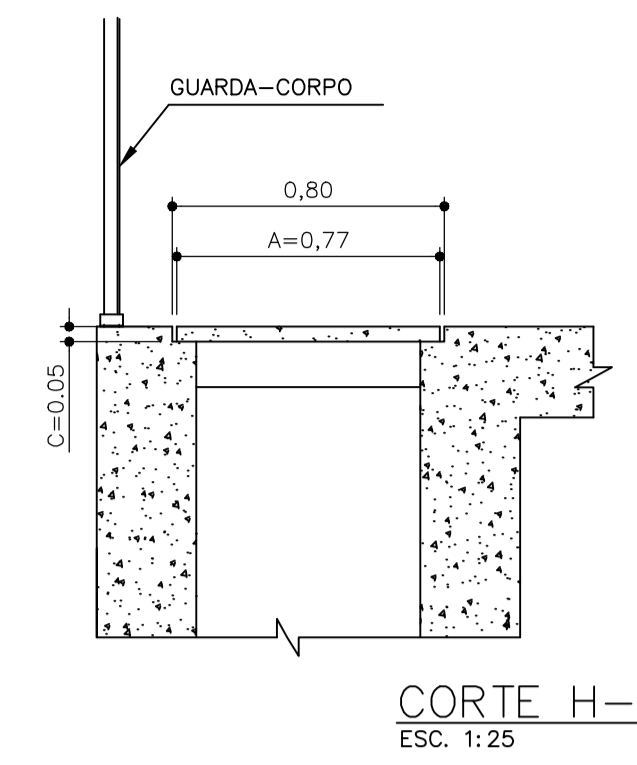
CAIXA DE REPARTIÇÃO-PLANTA
ESC.1:25



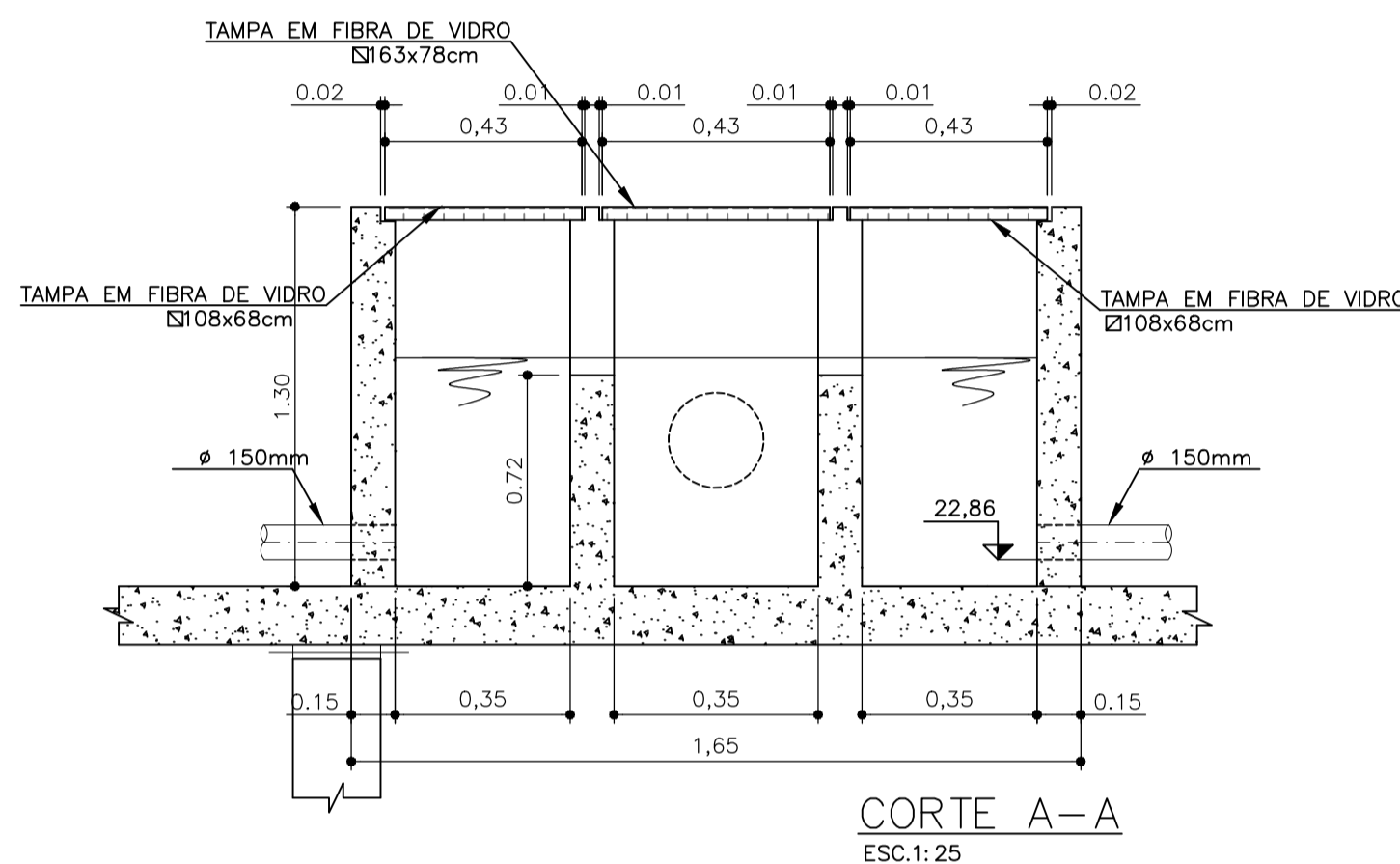
CORTE B-B
ESC.1:25



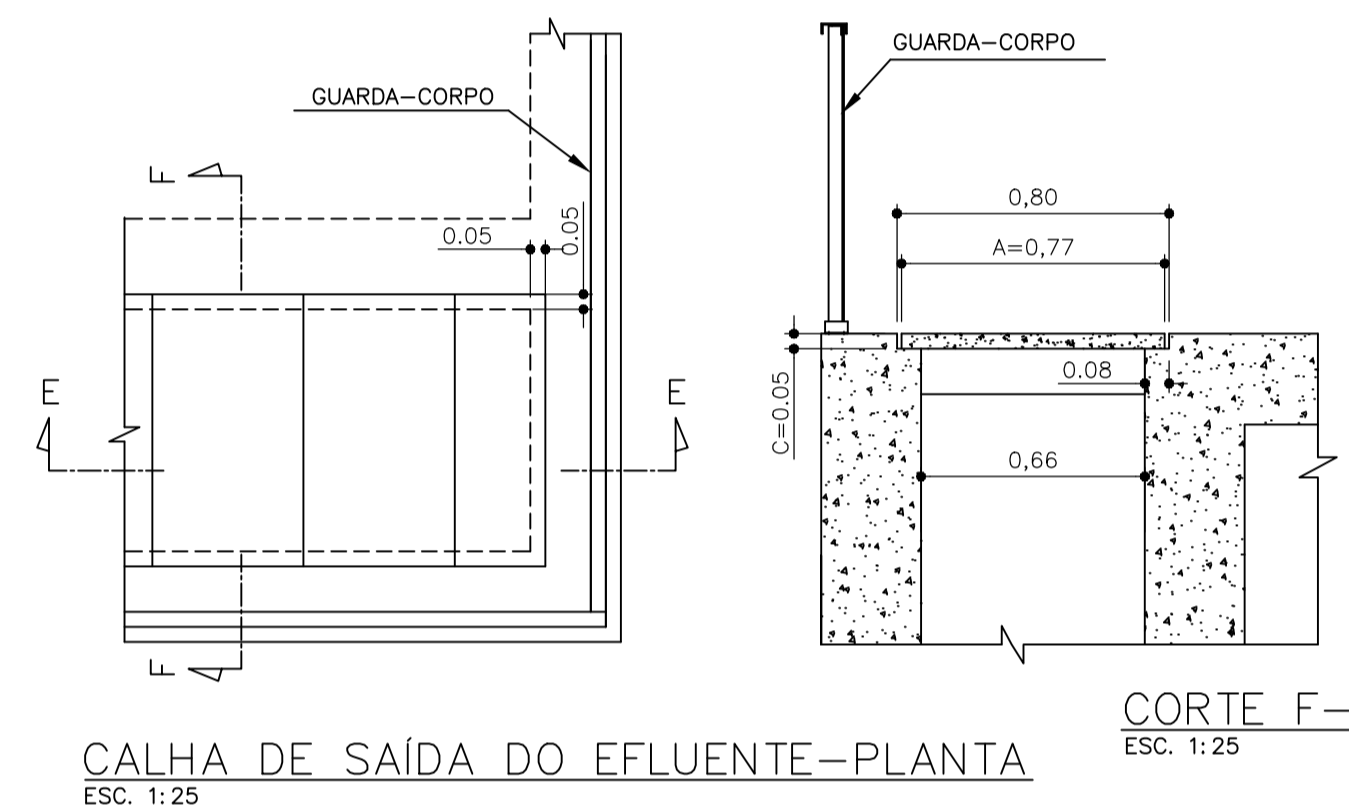
CANALETA DE ESCUMA - PLANTA
ESC. 1:25



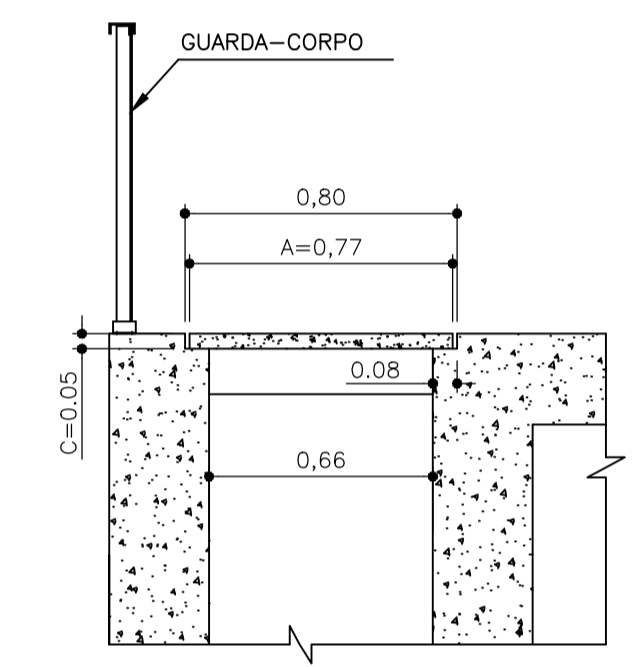
CORTE H-H
ESC. 1:25



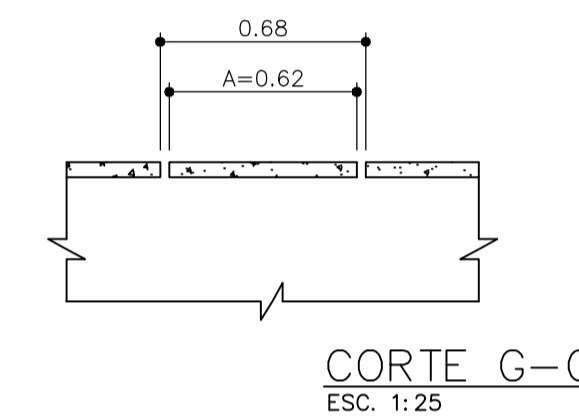
CORTE A-A
ESC.1:25



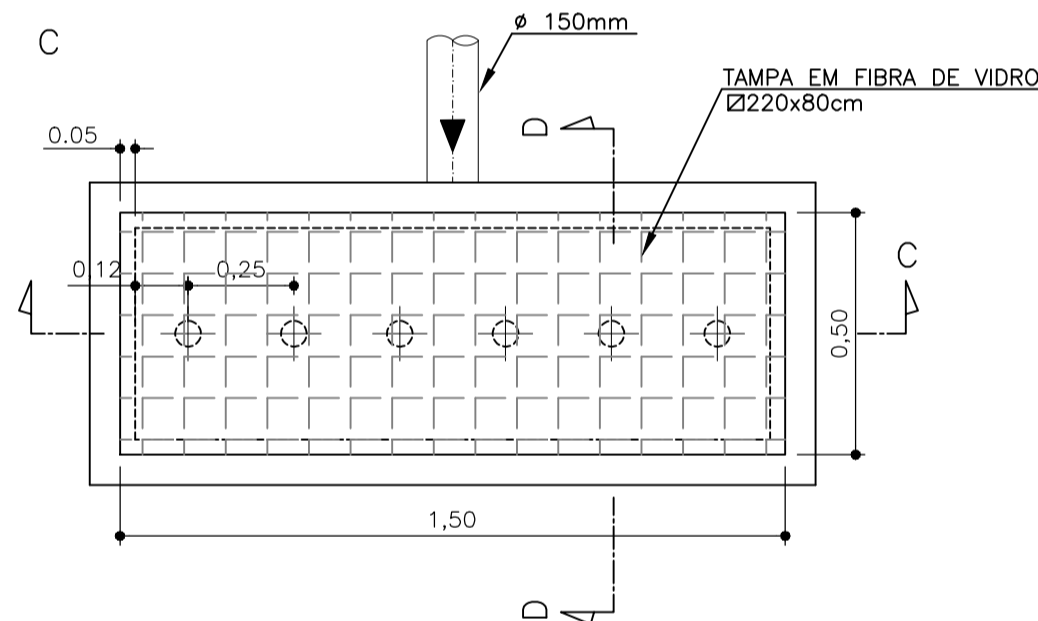
CALHA DE SAÍDA DO EFLUENTE-PLANTA
ESC. 1:25



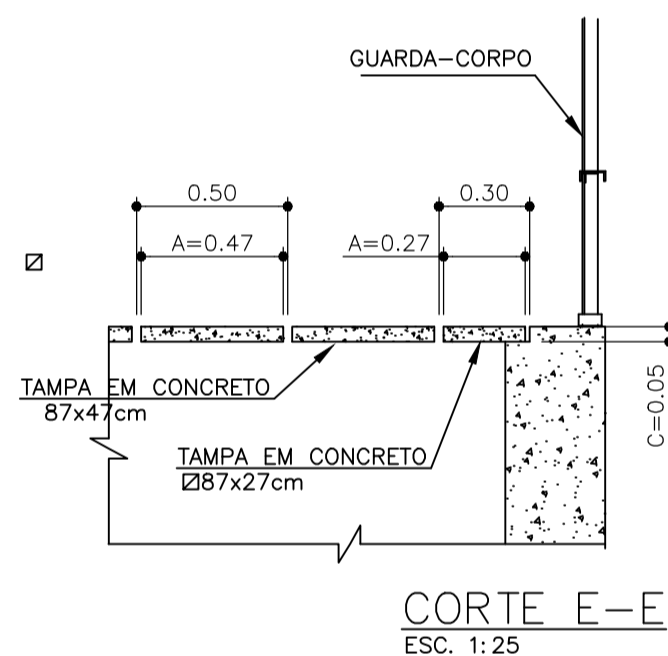
CORTE F-F
ESC. 1:25



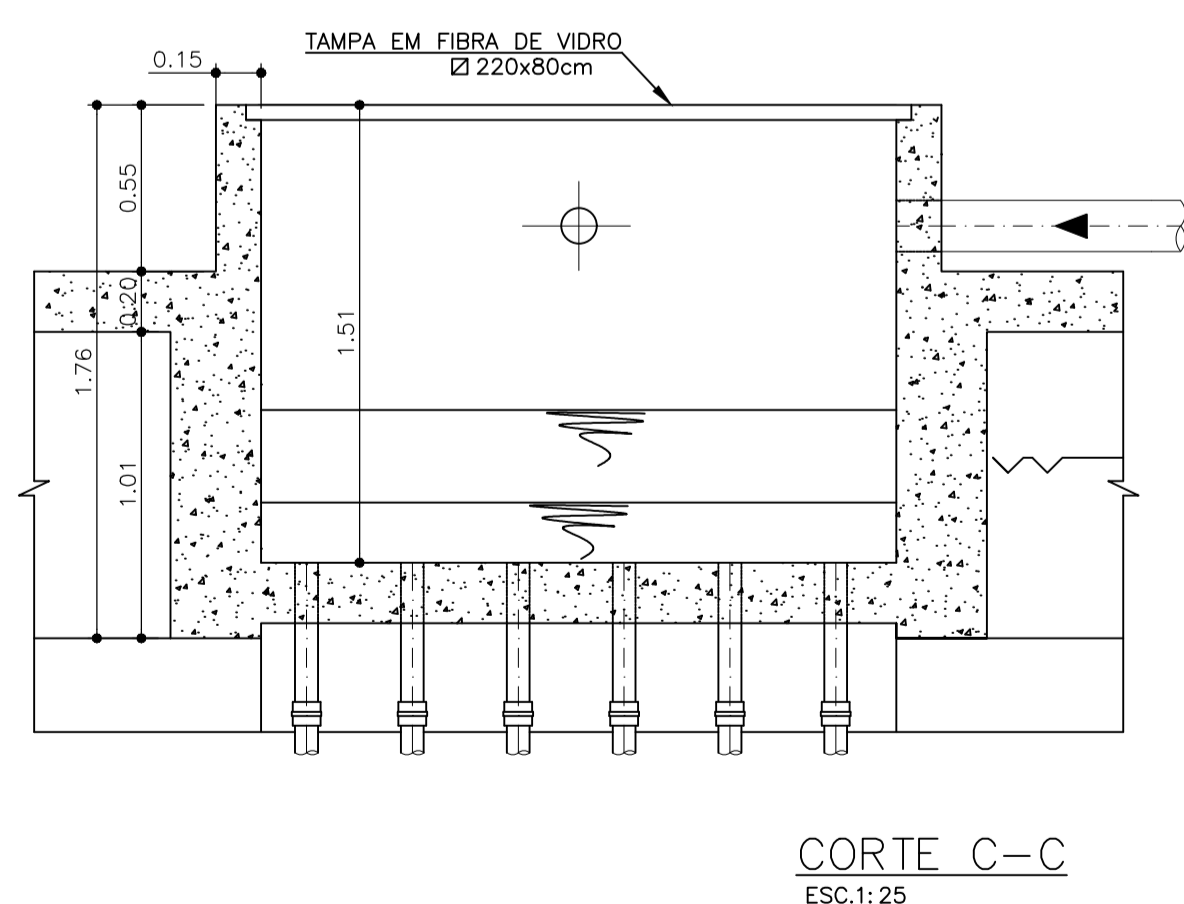
CORTE G-G
ESC. 1:25



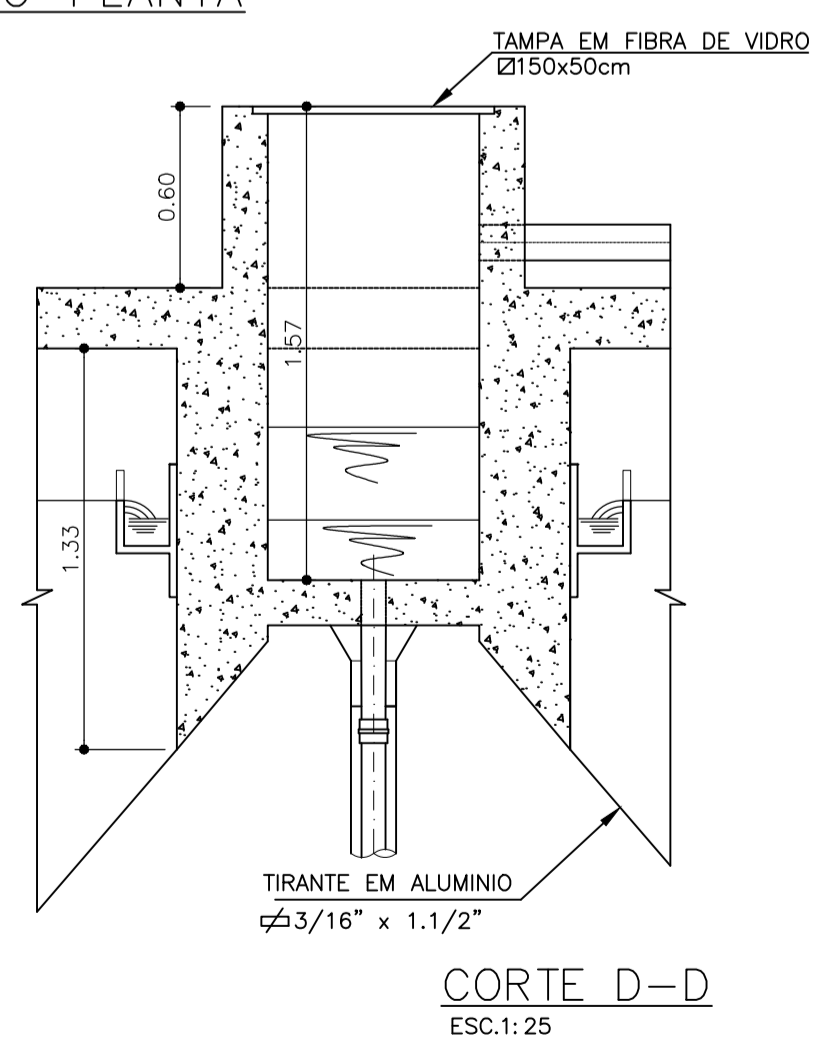
CAIXA DE DISTRIBUIÇÃO-PLANTA
ESC.1:25



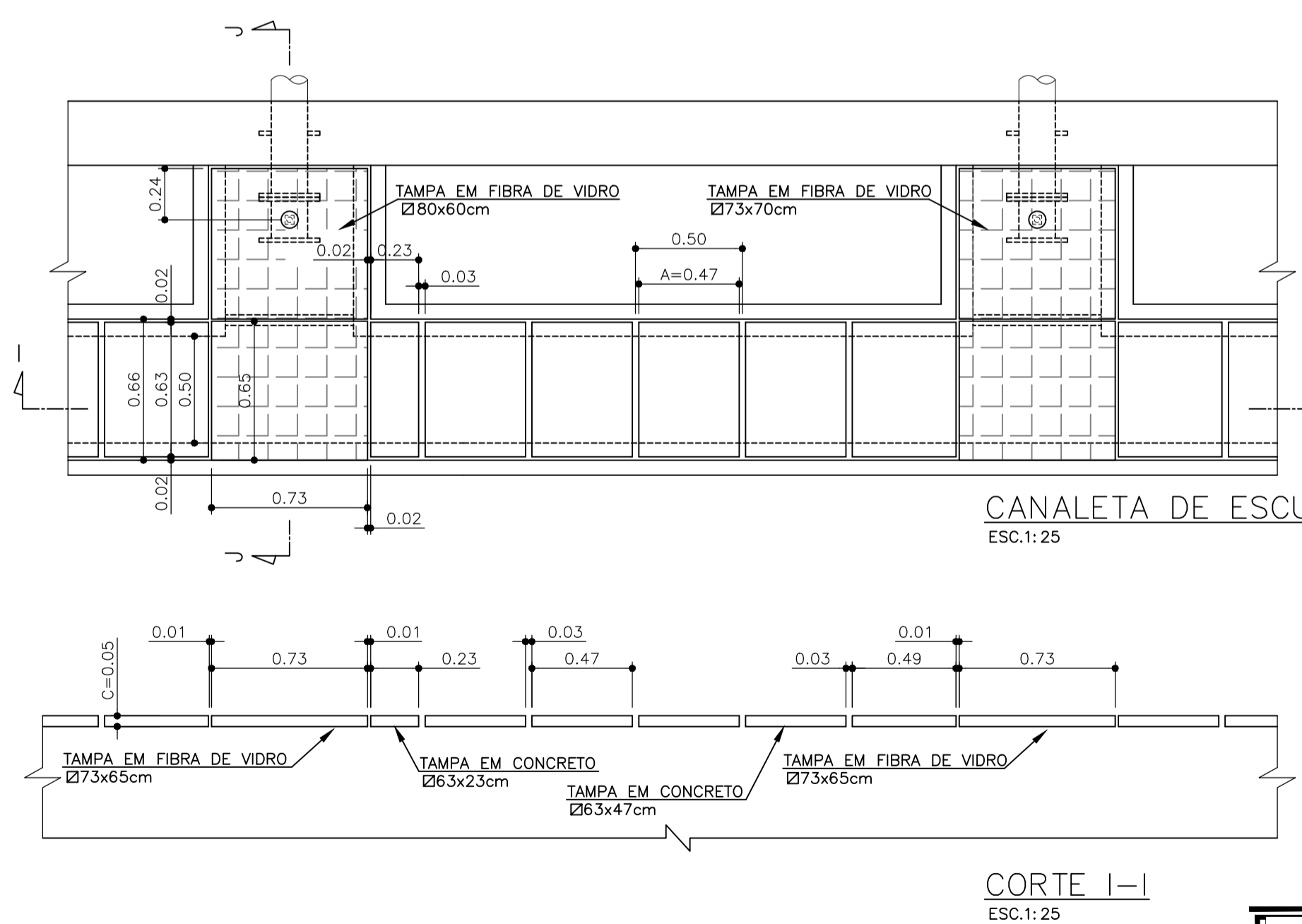
CORTE E-E
ESC. 1:25



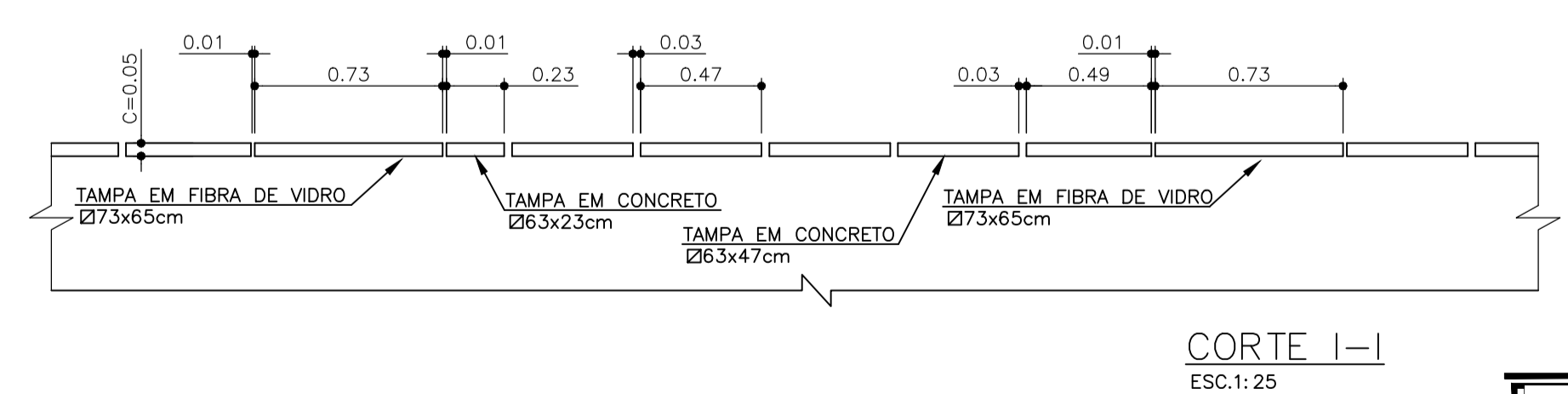
CORTE C-C
ESC.1:25



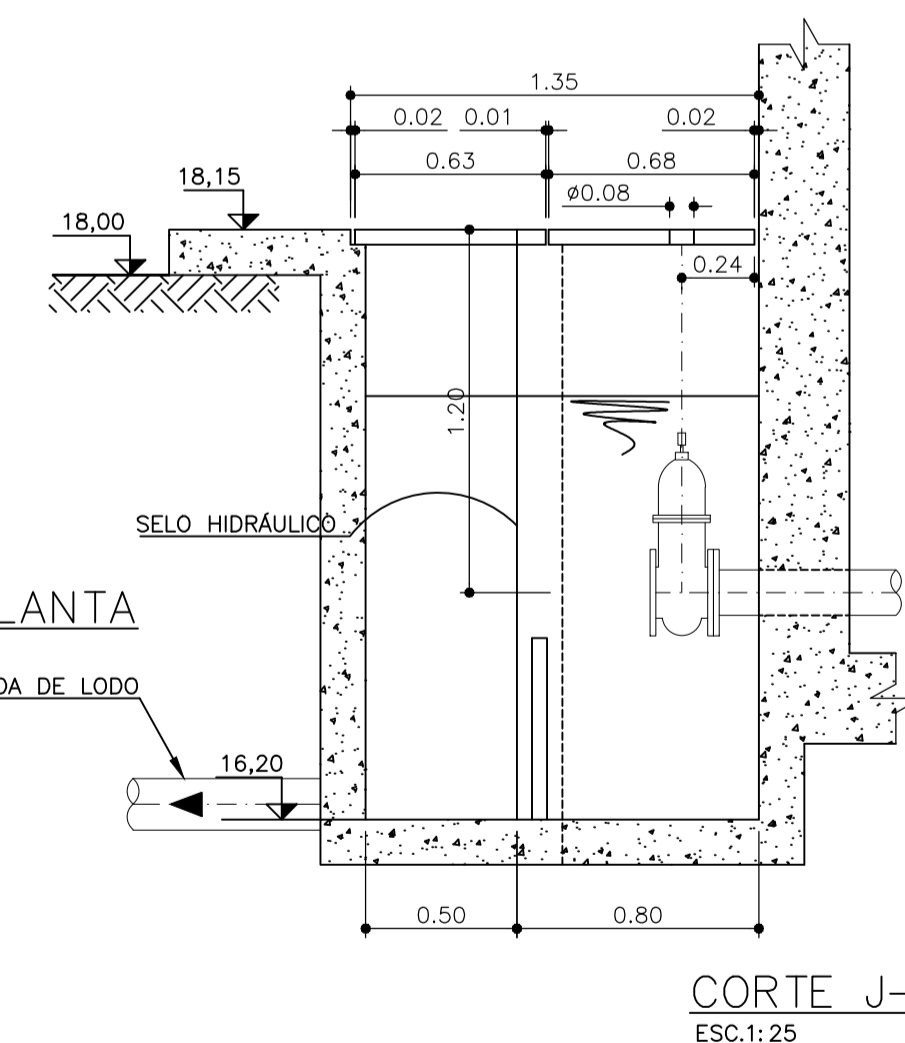
CORTE D-D
ESC.1:25



CANALETA DE ESCUMA-PLANTA
ESC.1:25



CORTE I-I
ESC.1:25

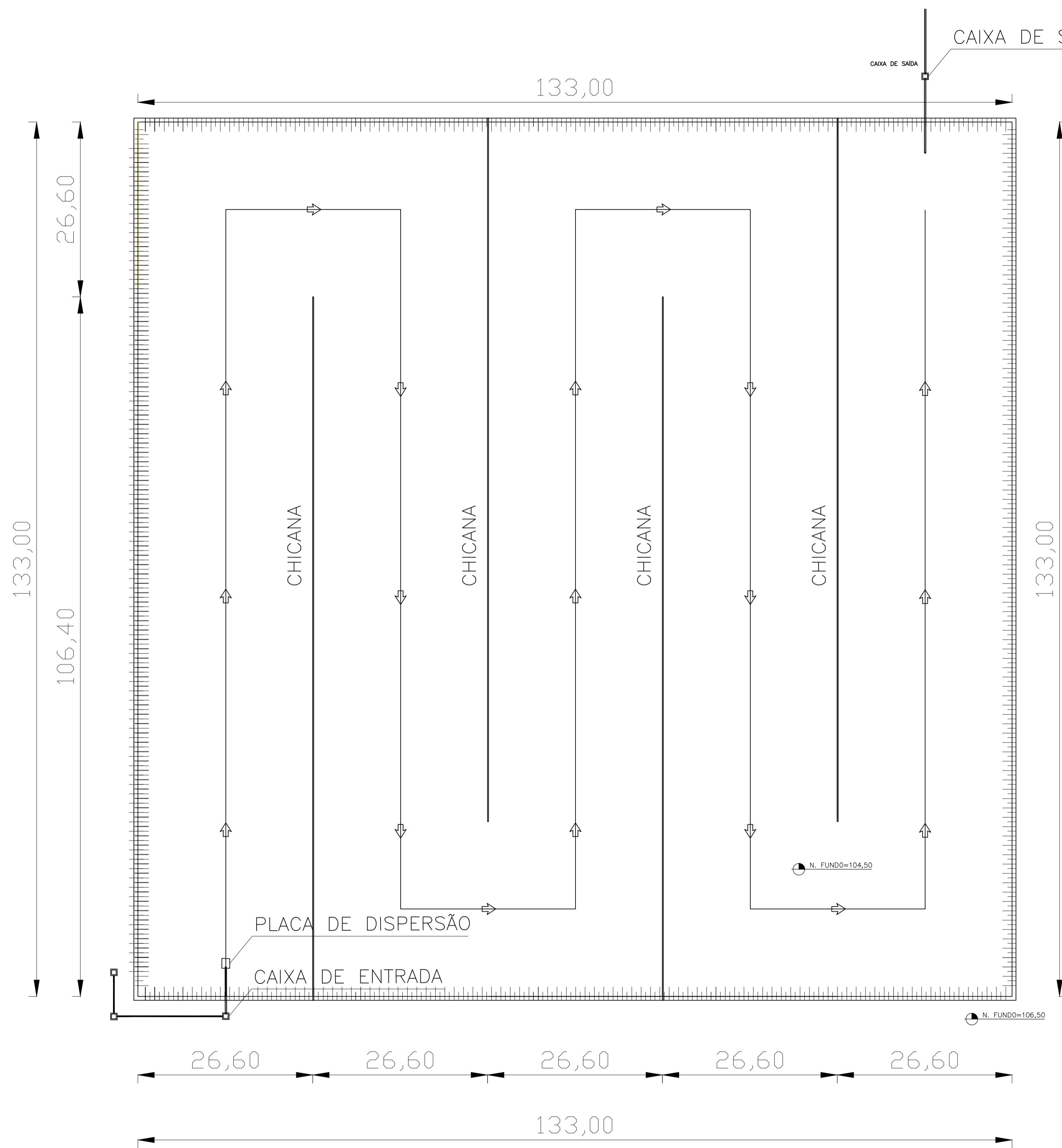


CORTE J-J
ESC.1:25

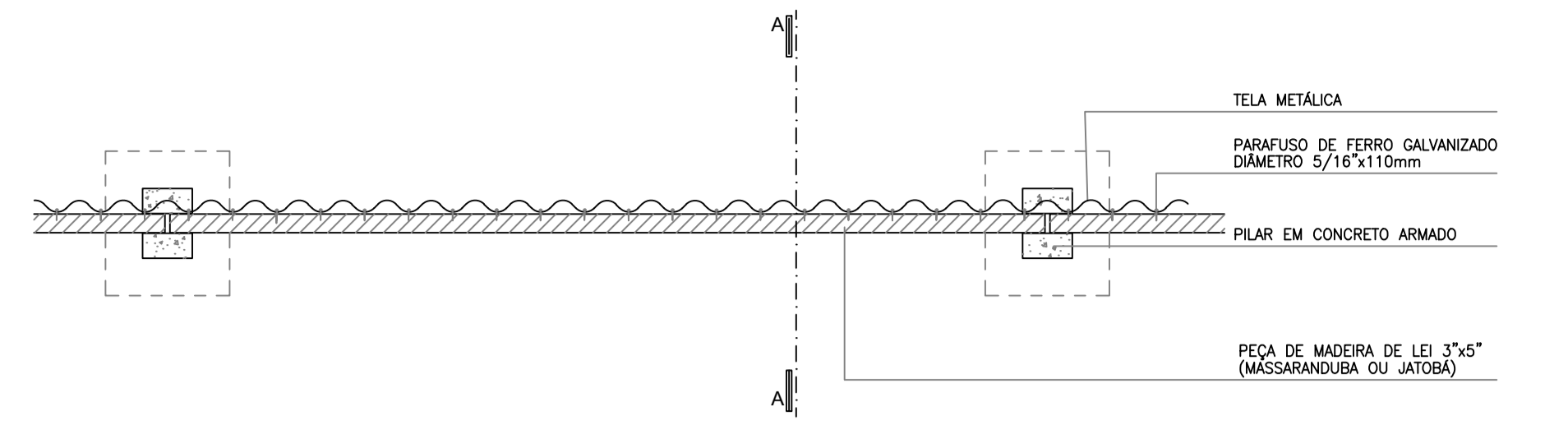
UFRN UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

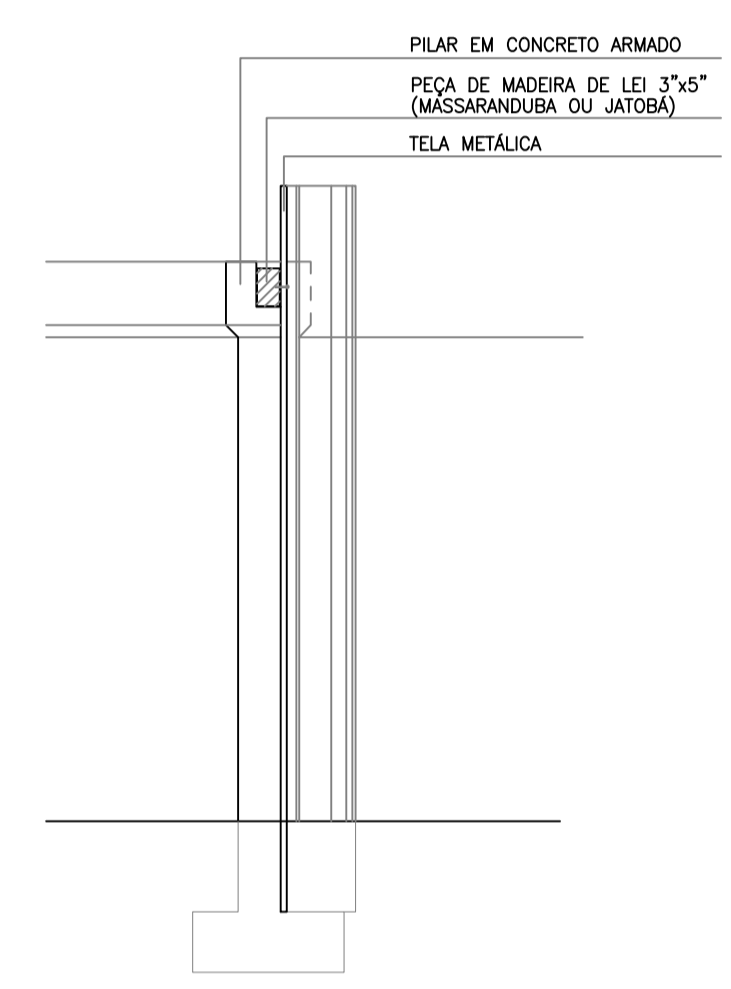
| | |
|---|--------------------|
| PROJETO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN | |
| TÍTULO: PROJETO DE REATOR UASB SEGUIDO DE LAGOA DE POLIMENTO COM CHICANAS | |
| SUBTÍTULO: DETALHES | |
| DISCENTE: GEORGE MATHEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA | |
| ESCALA(S): INDICAS | DATA: OUTUBRO/2020 |
| FRANCA Nº: 05/05 | |



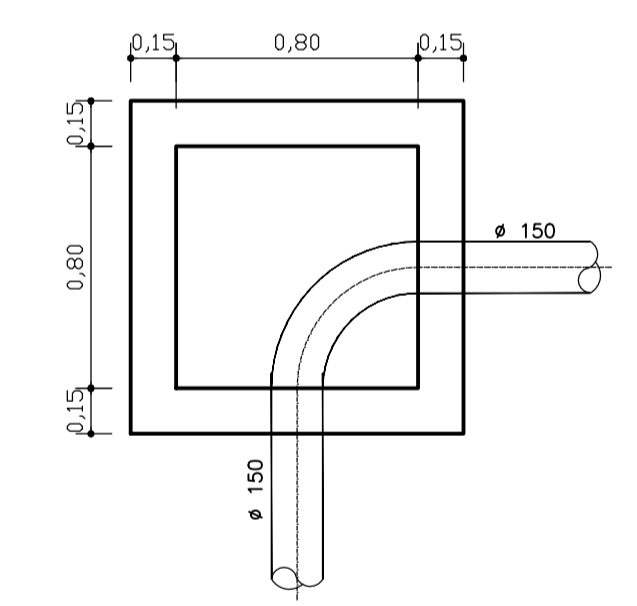
PLANTA GERAL
ESC.1: 400



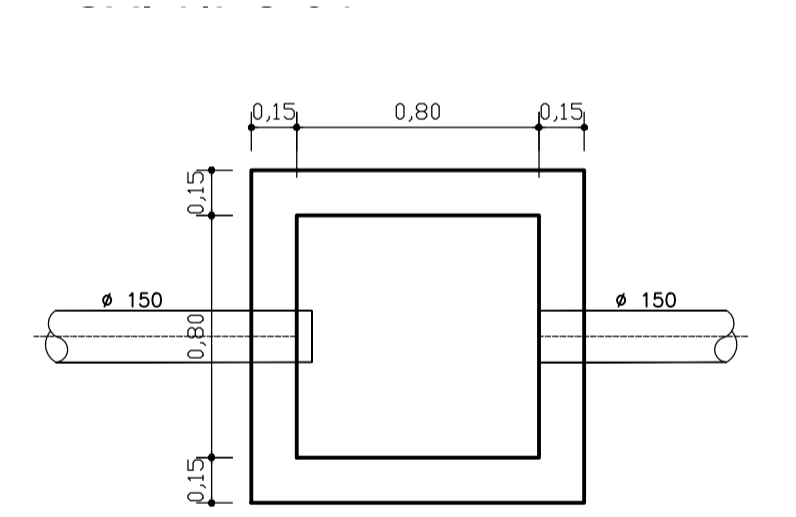
PLANTA BAIXA DA CHICANA
ESC.1: 25



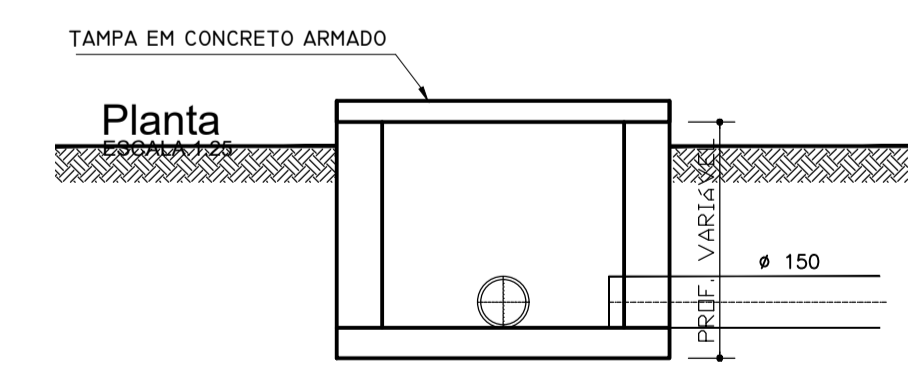
CORTE A-A
ESC.1: 25



CAIXA DE ENTRADA
ESC.1: 25

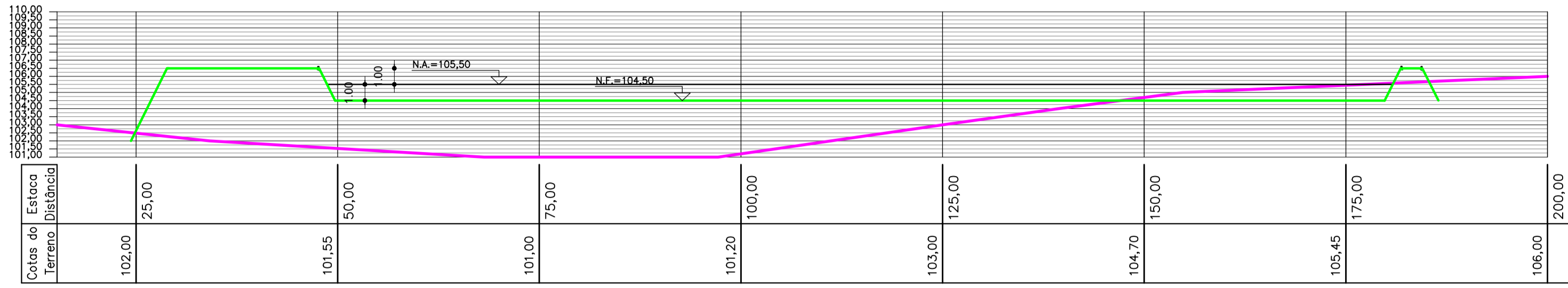


CAIXA DE SAÍDA
ESC.1: 25

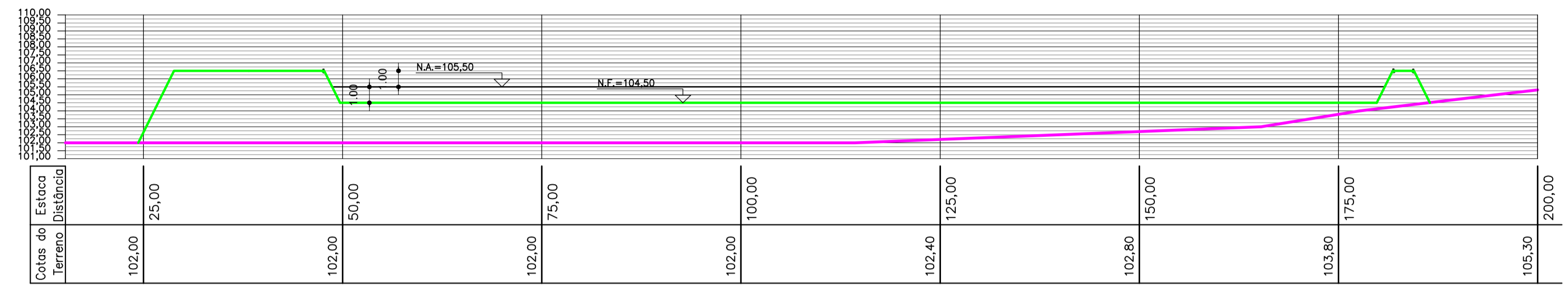


CORTE
ESC.1: 25

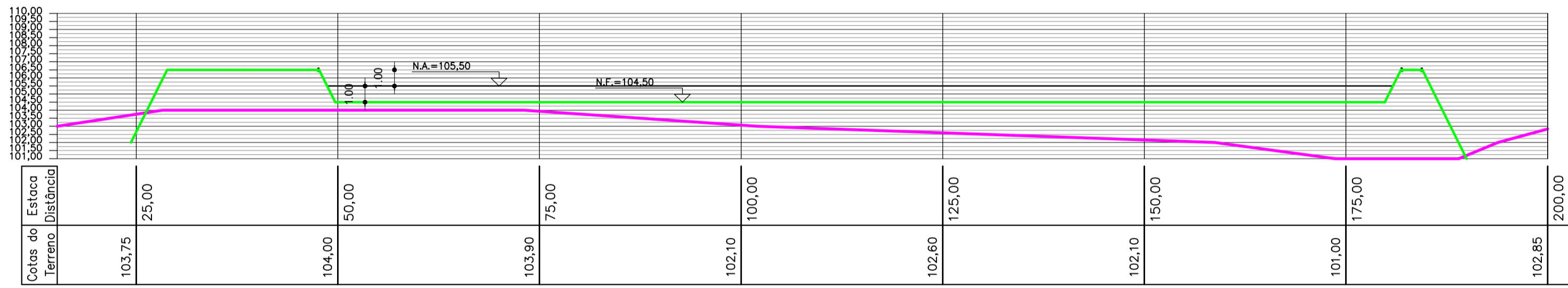
| | | | |
|---|--|---|---------------------|
| UFRN UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE | | CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL CURSO DE ENGENHARIA CIVIL | |
| PROJETO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN | | | |
| TÍTULO: LAGOA DE POLIMENTO COM CHICANAS | | | |
| SUBTÍTULO: PLANTA BAIXA DA LAGOA, PLANTA BAIXA DA CHICANA E CORTE AA | | | |
| DISCENTE: GEORGE MATHEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA | | | PRANCHA Nº |
| ESCALA(S): INDICADAS | | | 01 /03 |
| INDICADAS | | | DATA: NOVEMBRO/2020 |



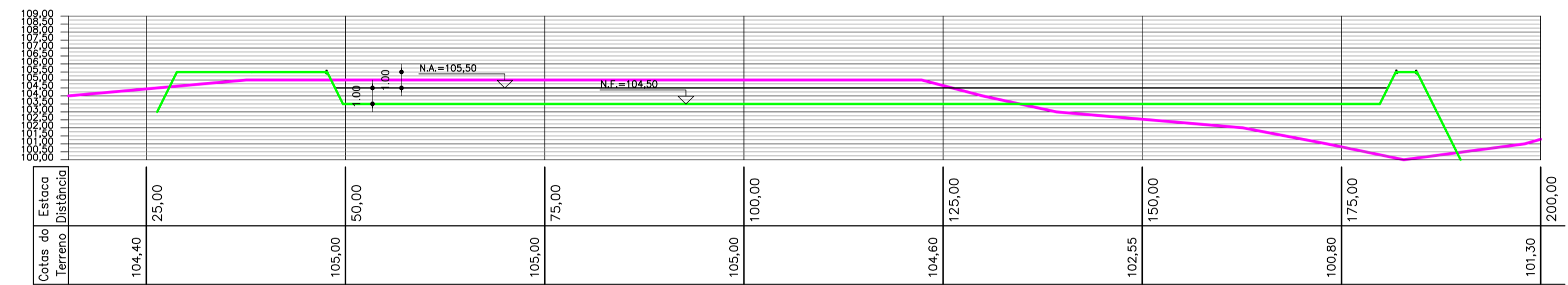
SEÇÃO LONGITUDINAL 5
ESC. 1:500



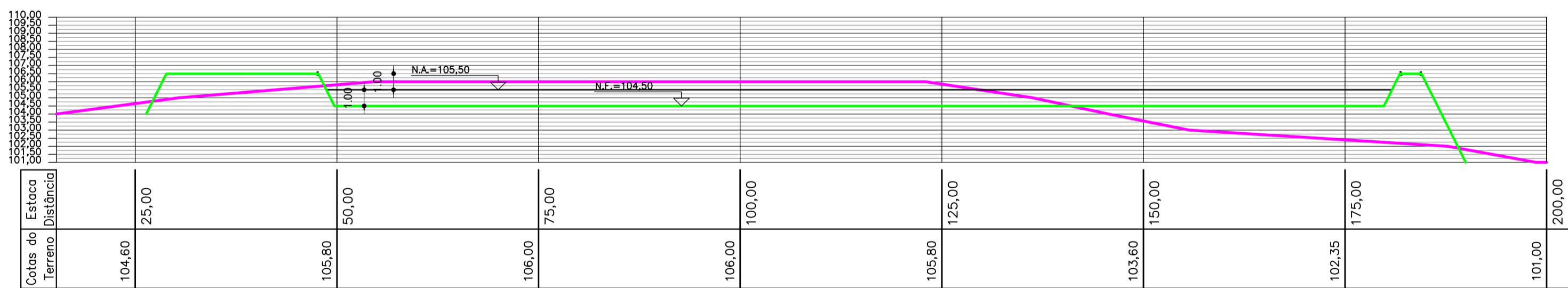
SEÇÃO LONGITUDINAL 6
ESC. 1:500



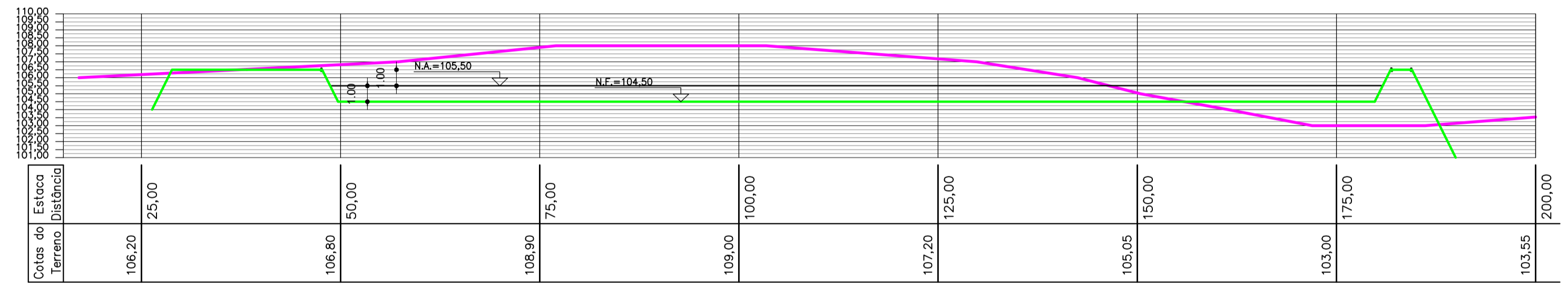
SEÇÃO LONGITUDINAL 7
ESC. 1:500



SEÇÃO LONGITUDINAL 8
ESC. 1:500




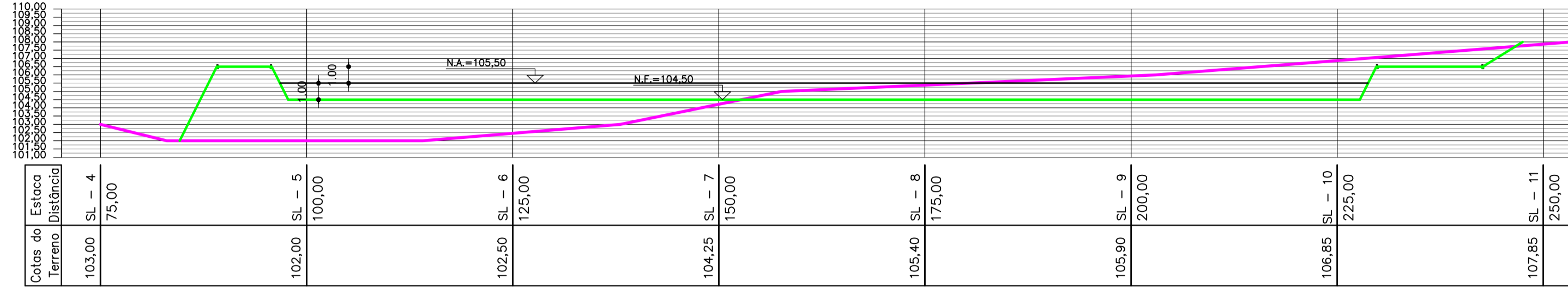
SEÇÃO LONGITUDINAL 9
ESC. 1:500



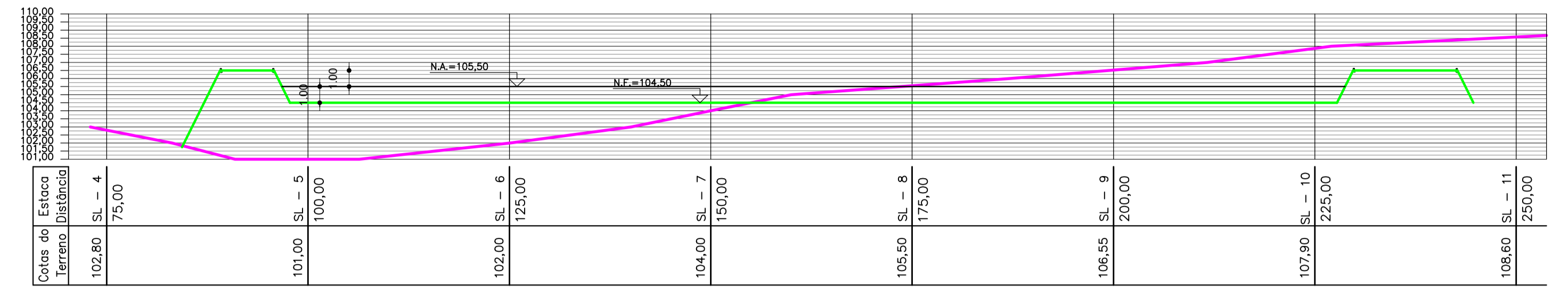
SEÇÃO LONGITUDINAL 10
ESC. 1:500

| LEGENDA | |
|--|-------------------|
| — | PERFIL DO TERRENO |
| — | PERFIL DA LAGOA |

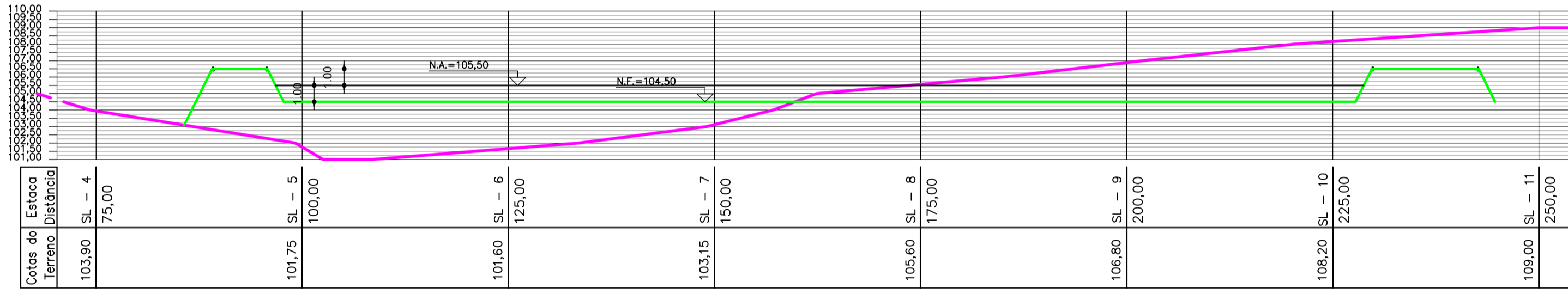
| | | | |
|--|------------------------|---|------------|
|  UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE | | CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL CURSO DE ENGENHARIA CIVIL | |
| PROJETO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN | | | |
| TÍTULO: LAGOA DE POLIMENTO COM CHICANAS | | | |
| SUBTÍTULO: PERFIS LONGITUDINAIS | | | PRANCHA N° |
| DISCENTE: GEORGE MATHEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA | | | 02 |
| ESCALAS: INDICADAS | DATA: NOVEMBRO/2020 | | /03 |



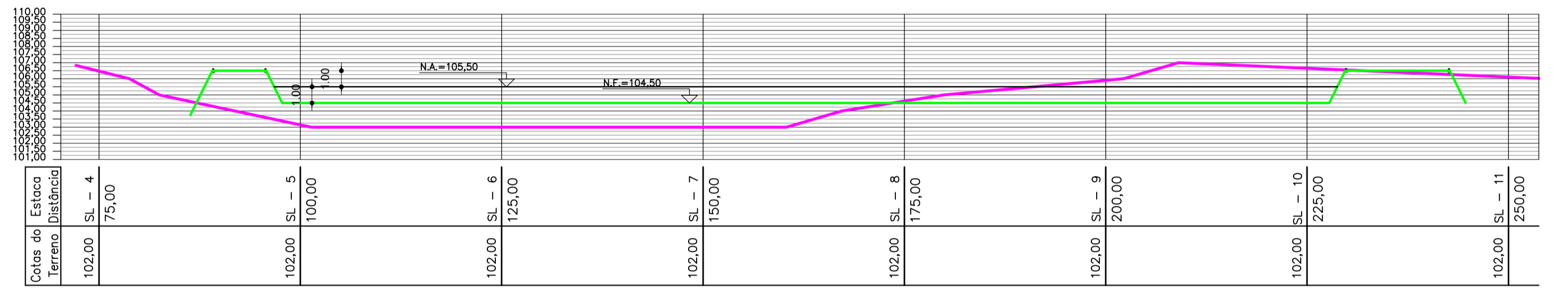
SEÇÃO TRANSVERSAL 1
ESC.1: 500



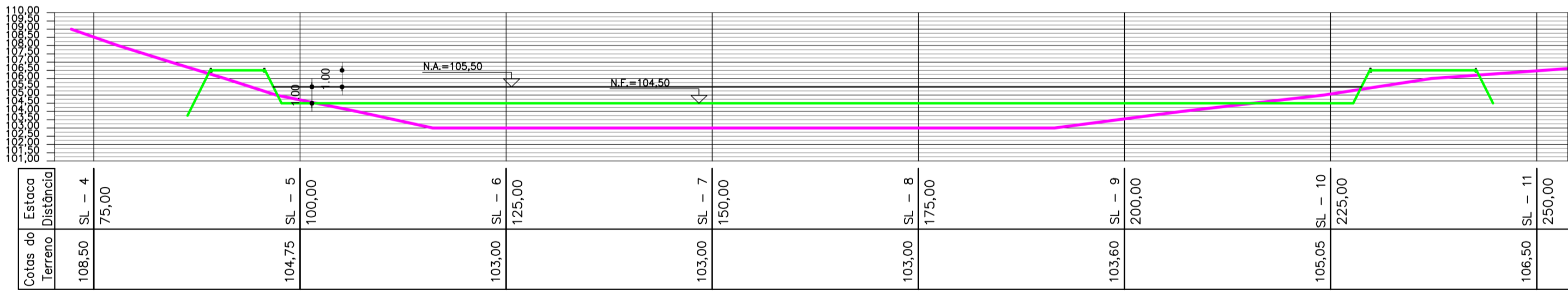
SEÇÃO TRANSVERSAL 2
ESC.1: 500



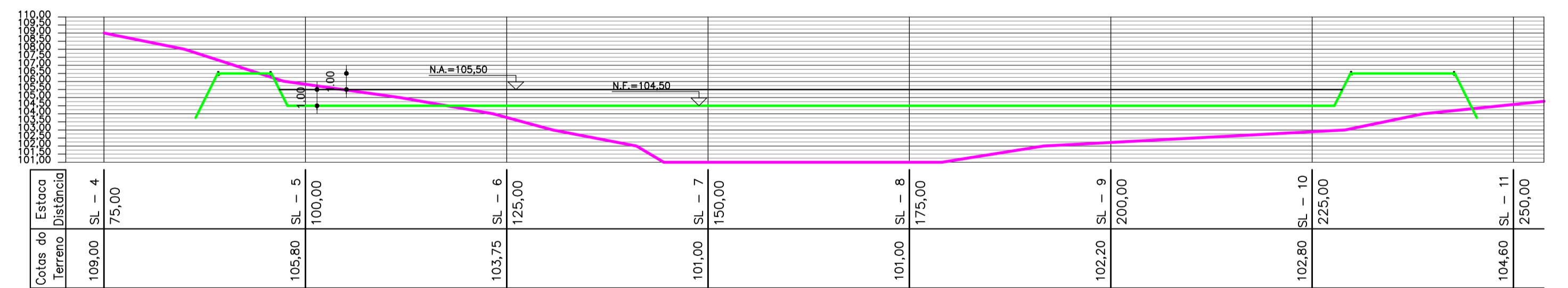
SEÇÃO TRANSVERSAL 3
ESC.1: 500



SEÇÃO TRANSVERSAL 4
ESC.1: 500



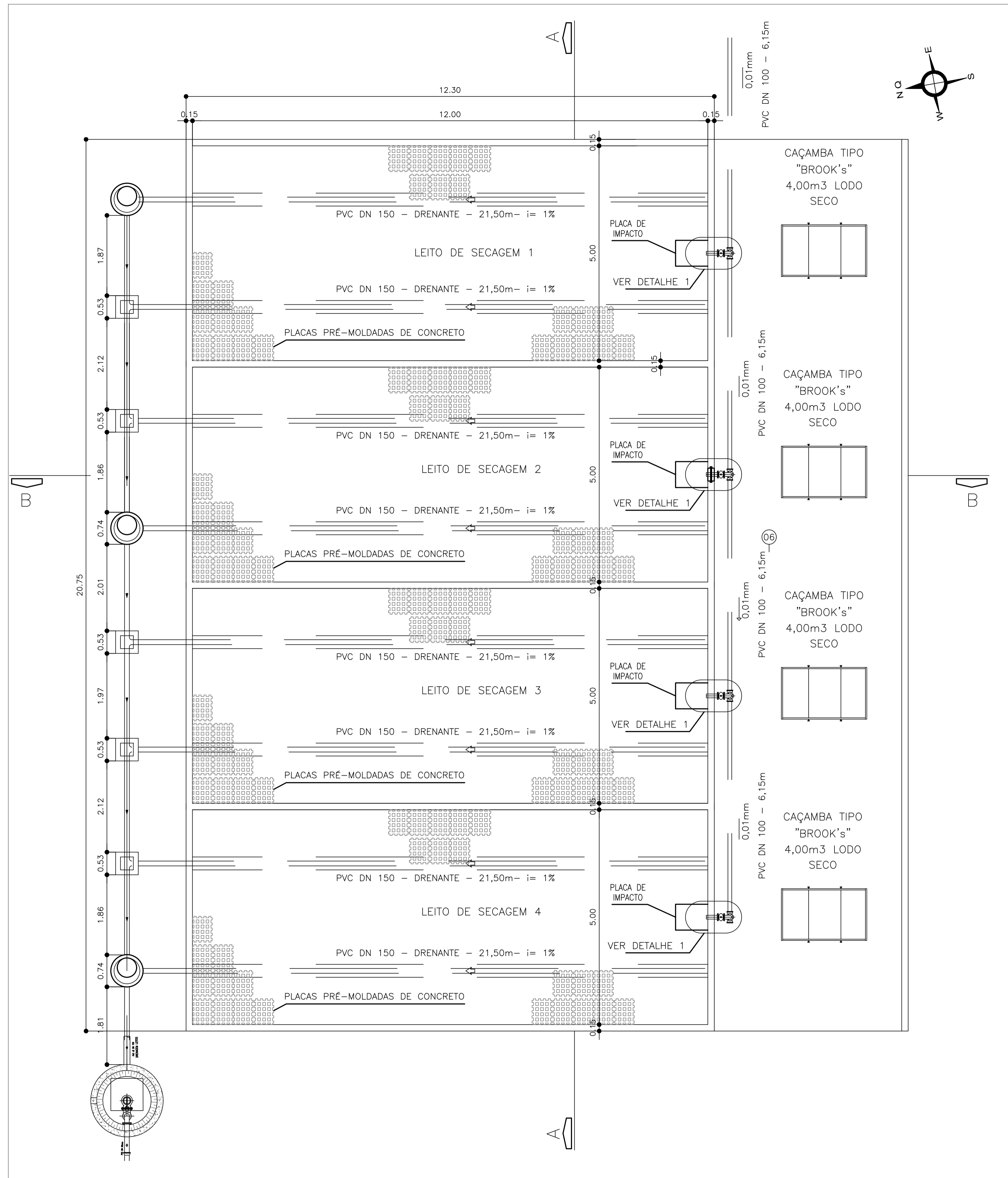
SEÇÃO TRANSVERSAL 5
ESC.1: 500



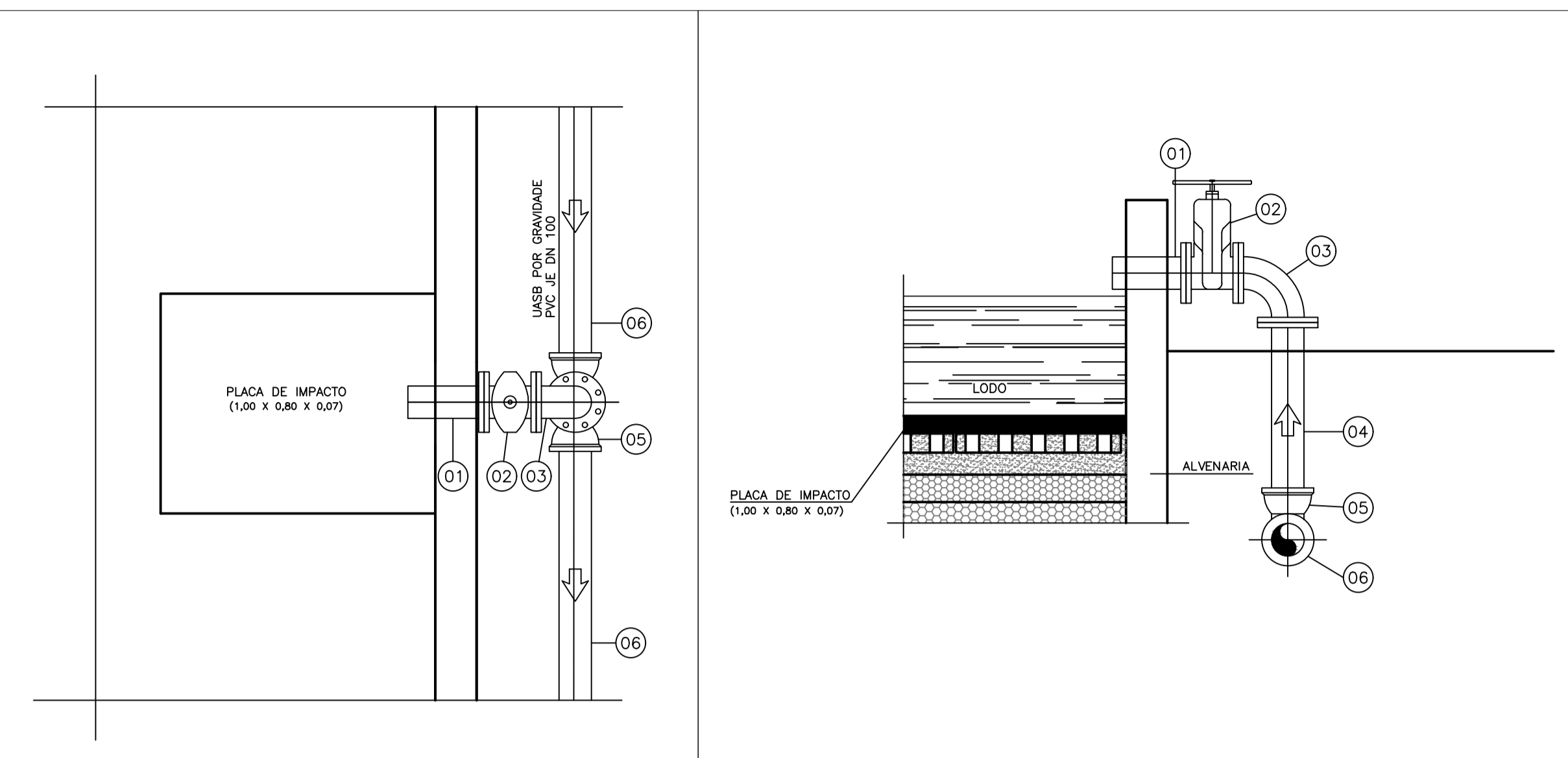
SEÇÃO TRANSVERSAL 6
ESC.1: 500

| LEGENDA | |
|--|-------------------|
| — | PERFIL DO TERRENO |
| — | PERFIL DA LAGOA |

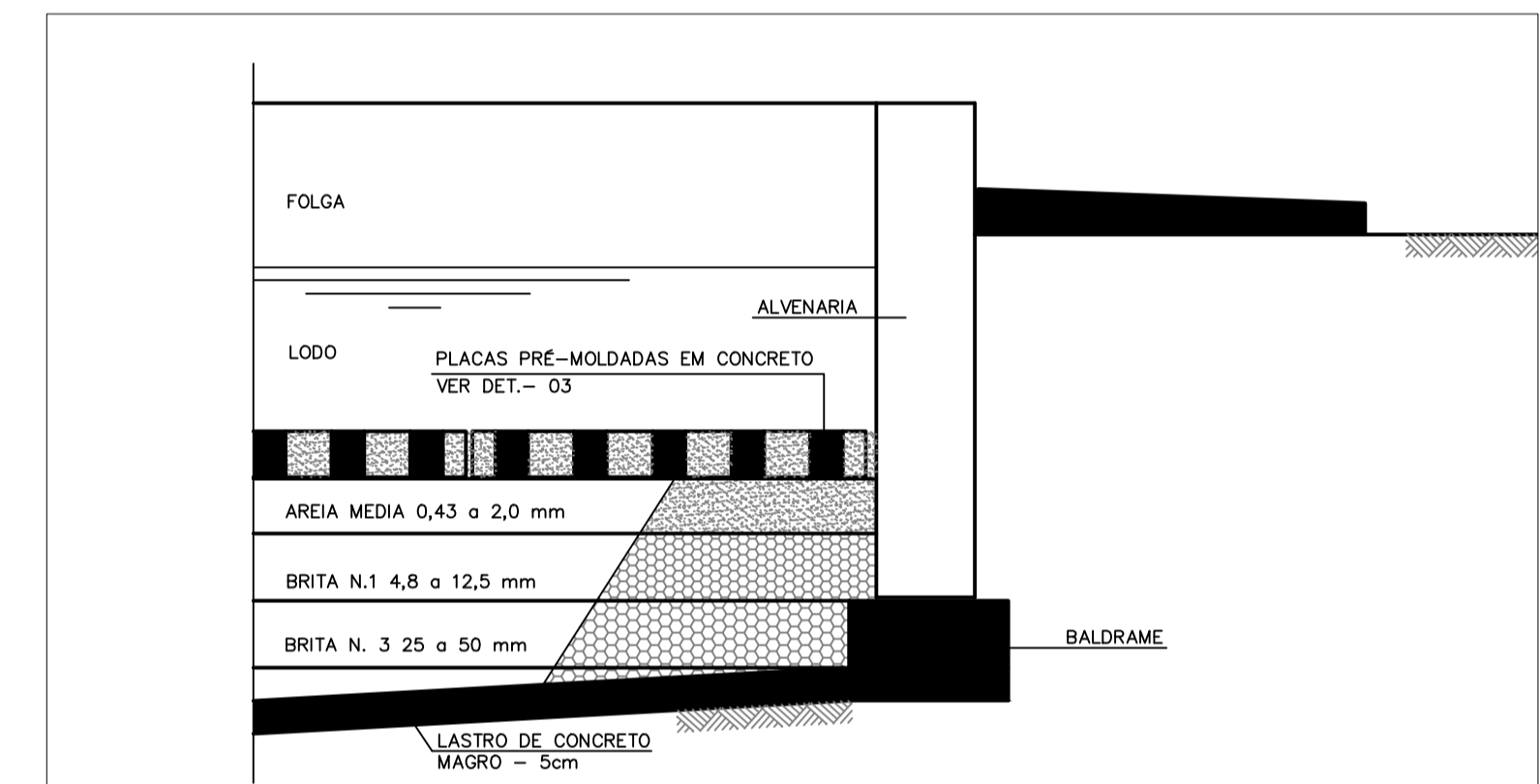
| | | | |
|---|--|---|------------|
| UFRN UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE | | CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL CURSO DE ENGENHARIA CIVIL | |
| PROJETO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN | | | |
| TÍTULO: LAGOA DE POLIMENTO COM CHICANAS | | | |
| SUBTÍTULO: PERFIS TRANSVERSAIS | | | |
| DISCENTE: GEORGE MATHEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA | | | PRANCHA Nº |
| ESCALA(S): INDICADAS | | | 03 |
| DATA: NOVEMBRO/2020 | | | /03 |



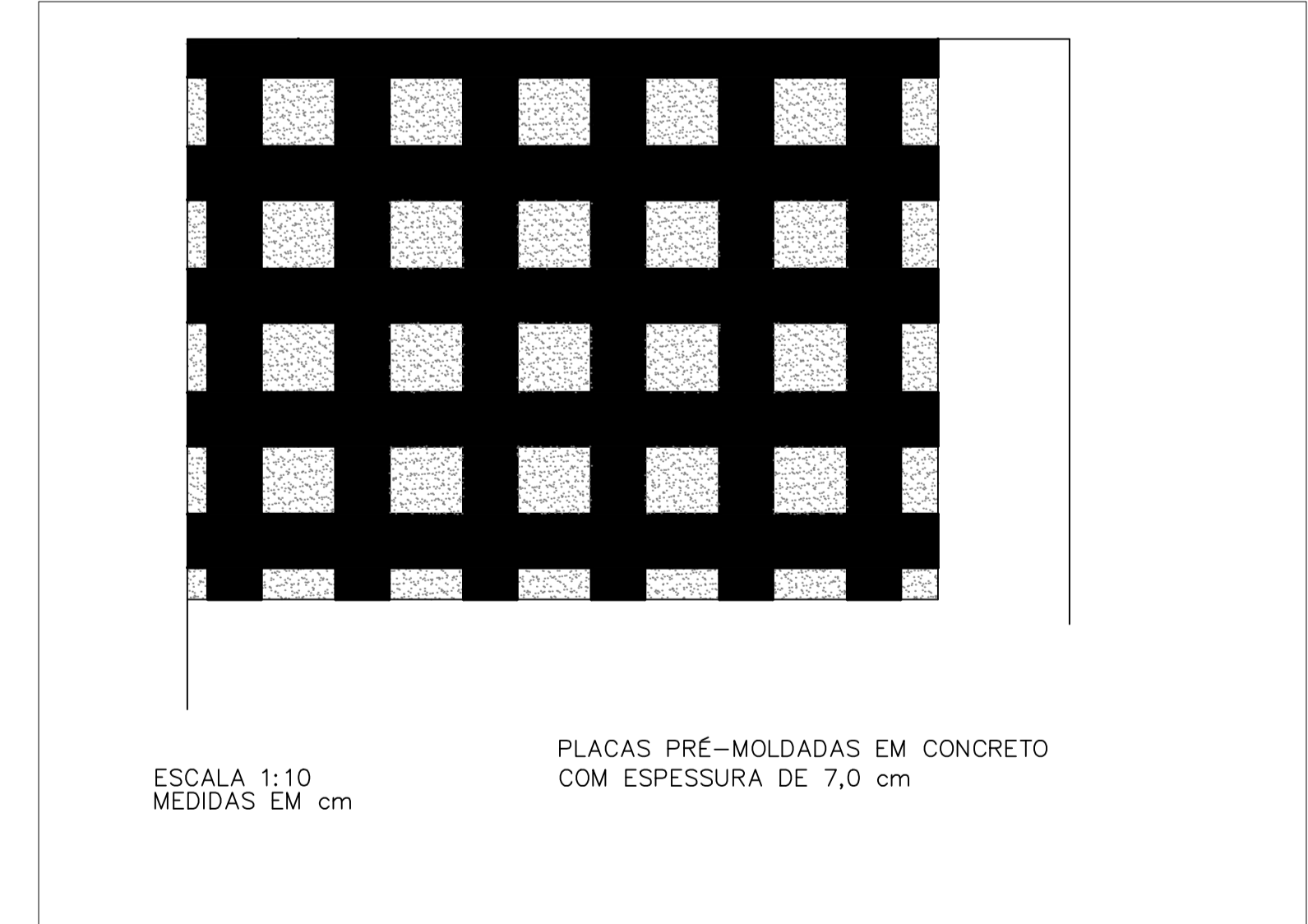
PLANTA BAIXA
ESC.1:50



DETALHE 1: CHEGADA DO LODO NO LEITO
ESC.1:25

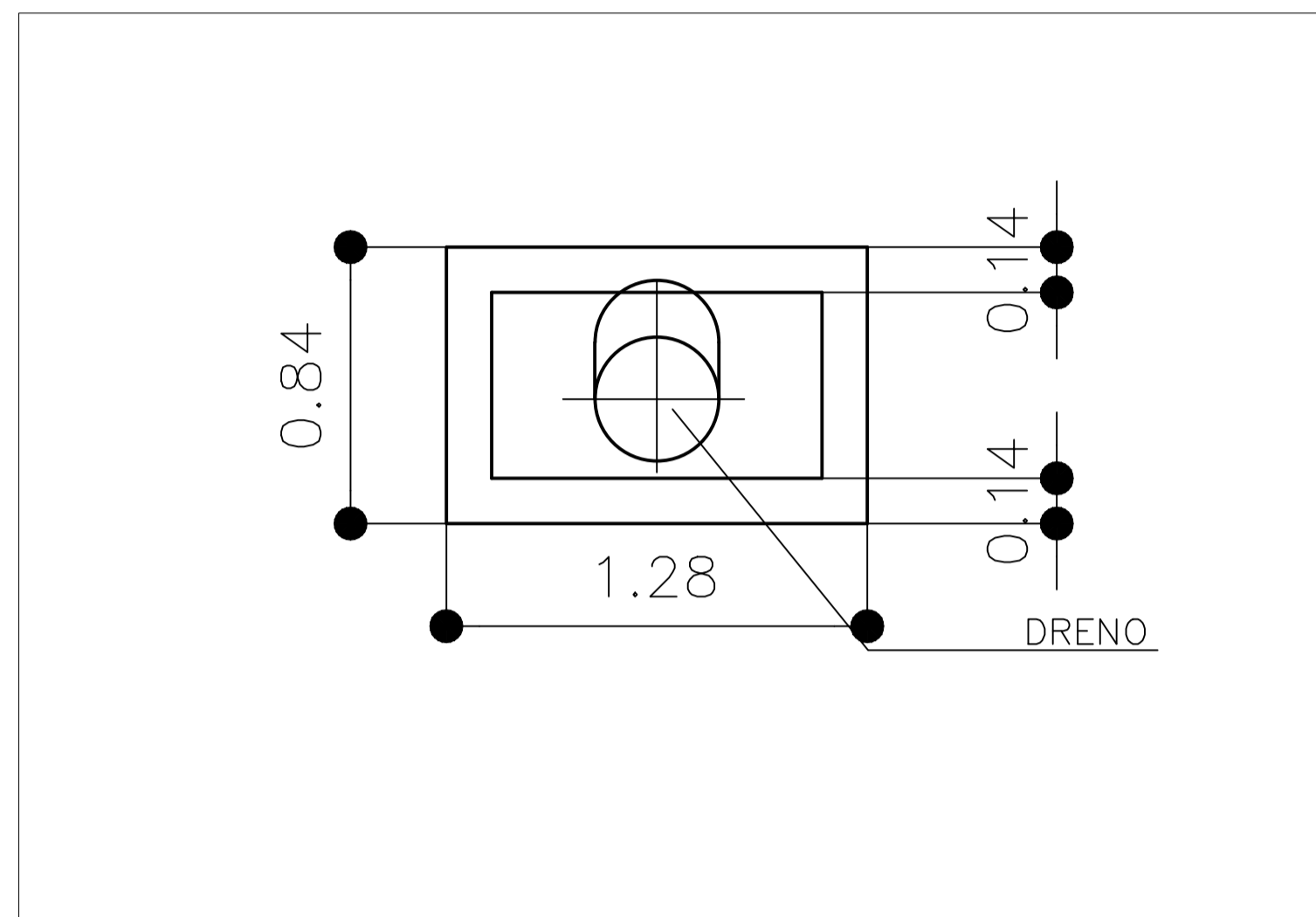


DETALHE 2: CAMADAS FILTRANTES
ESC.1:25

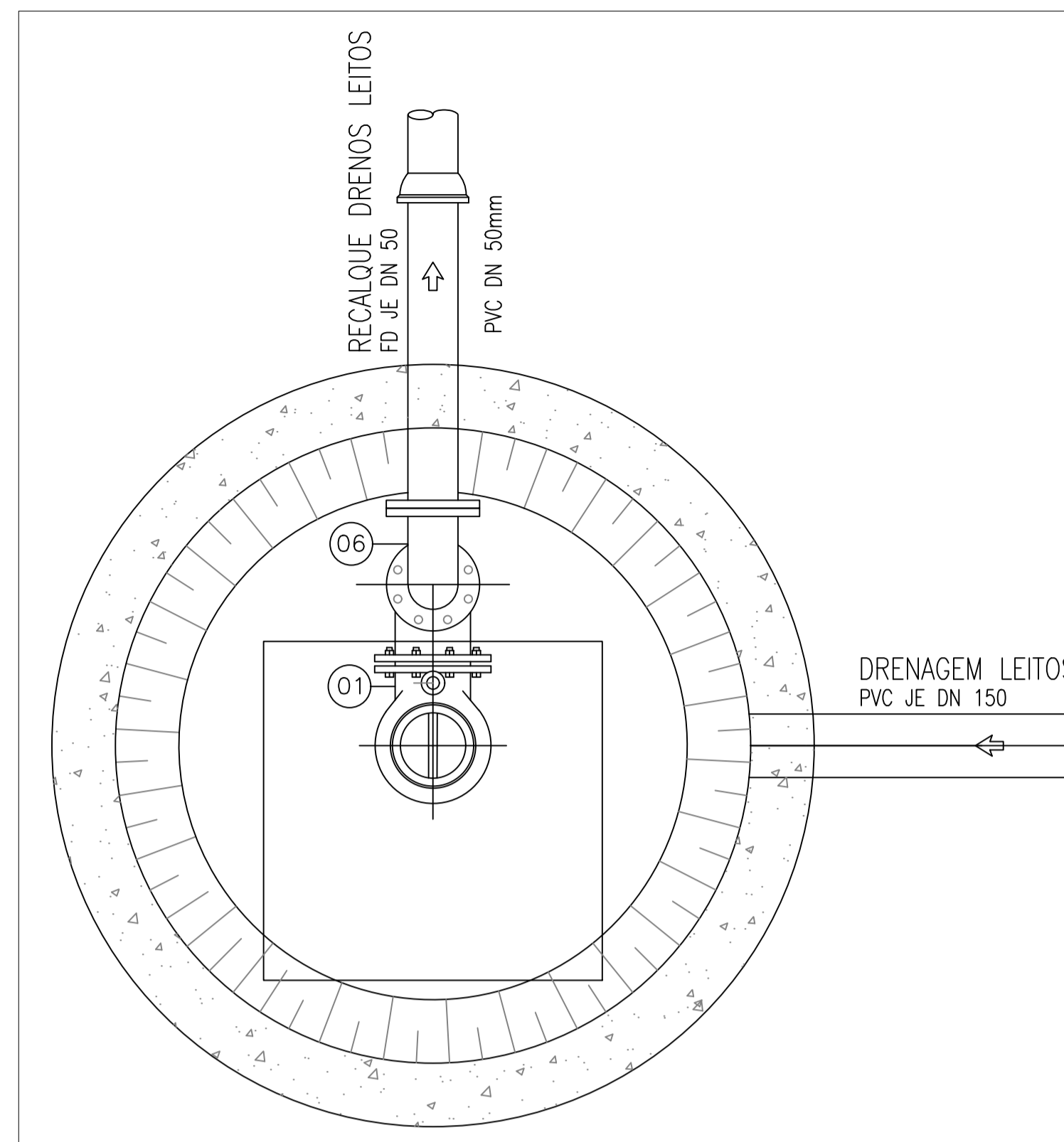


DETALHE 3: PLACAS PRÉ MOLDADAS
ESC.1:25

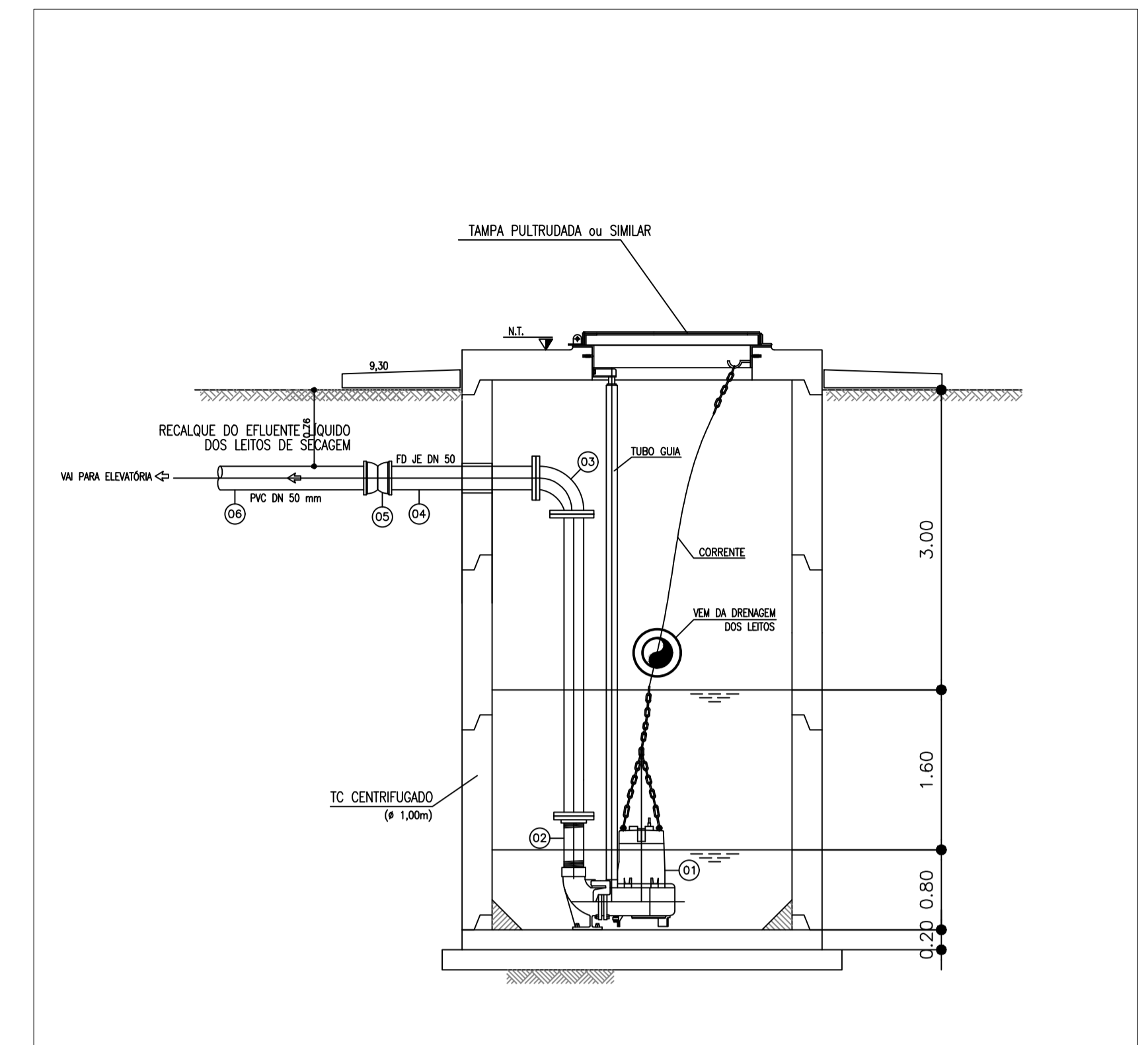
| | | | |
|---|--|---|---------------------|
| UFRN UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE | | CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL CURSO DE ENGENHARIA CIVIL | |
| PROJETO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN | | | |
| TÍTULO: LEITO DE SECAGEM | | | |
| SUBTÍTULO: PLANTA BAIXA E DETALHES | | | |
| DISCENTE: GEORGE MATEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA | | | FRANCHA Nº |
| ESCALA(S): INDICADAS | | | 01 /02 |
| | | | DATA: NOVEMBRO/2020 |



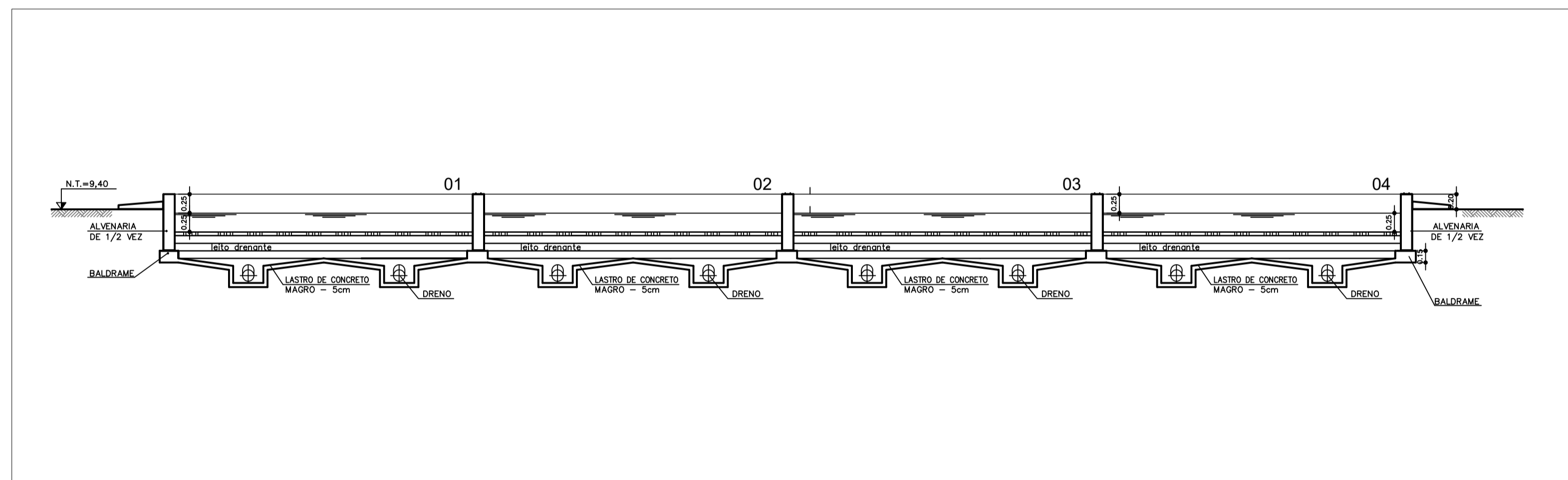
DETALHE 5: DRENO
ESC.1:20



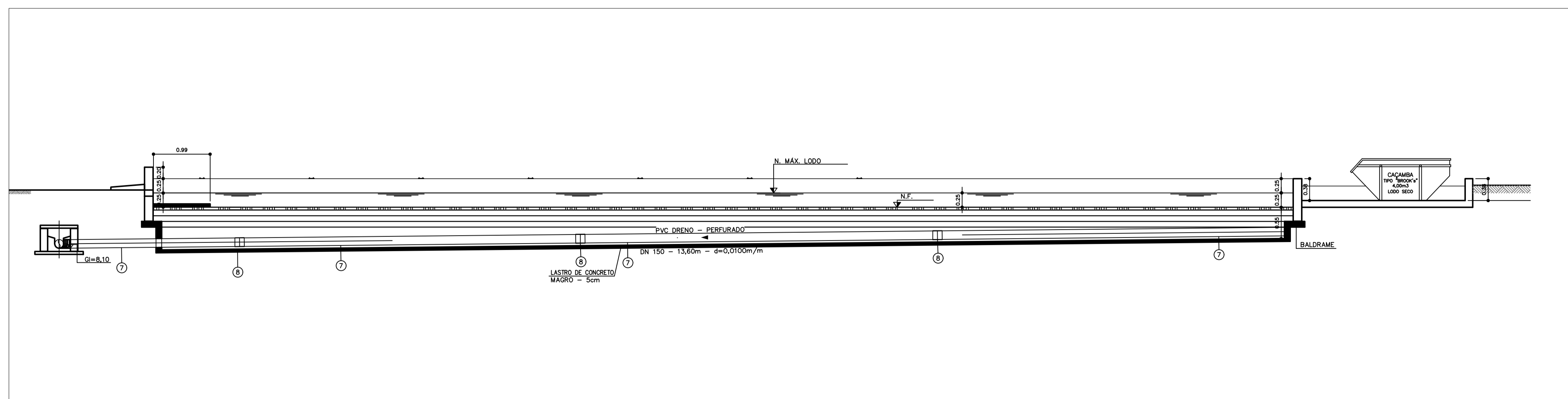
DETALHE 6: E. E.
ESC.1:25




DETALHE 7: E. E. CORTE
ESC.1:50



CORTE A - A
ESC.1:50



CORTE B - B
ESC.1:50

| | | | |
|---|--|---|------------|
|  | | CENTRO DE TECNOLOGIA DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL CURSO DE ENGENHARIA CIVIL | |
| PROJETO: ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DO MUNICÍPIO DE POÇO BRANCO/RN | | | |
| TÍTULO: LEITO DE SECAGEM | | | |
| SUBTÍTULO: CORTES E DETALHES | | | |
| DISCENTE: GEORGE MATHEUS DIONÍSIO DE OLIVEIRA | | | PRANCHA Nº |
| ESCALAS: INDICADAS | | | 02 /02 |
| DATA: NOVEMBRO/2020 | | | |