

S.E.S. SÃO JOAQUIM

PROJETO DE MELHORIA DA ETE

FASE 2

DIPE/GPR

Florianópolis, março de 2021

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO.....	4
2	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – SITUAÇÃO ATUAL	5
2.1	Localização.....	5
2.2	Vazões de Projeto	5
2.3	Unidades de Tratamento	5
3	MEMORIAL DESCRITIVO	7
3.1	Unidades de Tratamento	7
3.2	Tanque de Equalização (antigo).....	8
3.3	Tanque de Alcalinizante	9
3.4	Tratamento Preliminar	9
3.4.1	Gradeamento.....	10
3.4.2	Desarenador.....	10
3.4.3	Caixa de Gordura	11
3.5	Biofiltro.....	12
3.6	Tanque de Equalização	13
3.7	Tanque Anóxico.....	13
3.8	Caixa de Distribuição de Vazão 1.....	13
3.9	Valo de Oxidação	14
3.10	Caixa de Distribuição de Vazão 2.....	15
3.11	Decantador Secundário	15
3.12	Elevatória de Retorno de Lodo (ERL).....	16
3.13	Unidade de Desidratação Mecânica	17
3.14	Leito de Secagem.....	17
3.15	Lançamento Final	18
4	MEMORIAL DE CÁLCULO	19
4.1	Tanque de Alcalinizante	19
4.2	Tanque de Equalização	20
4.3	Tanque anóxico	25
4.4	Valo de Oxidação – Reciclo Interno.....	26
4.5	Decantador secundário.....	27
4.5.1	Dados de entrada	27

4.5.2	Área requerida com base na teoria simplificada de fluxo limite	28
4.5.3	Decantador circular.....	29
5	ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – PERDA DE CARGA	33
5.1	Vazões.....	33
5.2	Níveis de água.....	33
5.3	Perda de carga do Emissário até o Decantador Secundário	34
5.4	Perda de carga do Decantador Secundário até a CDV-2	36
5.5	Perda de Carga na Caixa Distribuidora de Vazão 2	38
5.6	Perda de carga da CDV-2 até o Valo de Oxidação	39
5.7	Perda de carga do Valo de Oxidação até CDV-1	40
5.8	Perda de carga na Caixa Distribuidora de Vazão 1	42
5.9	Perda de carga da CDV-1 até o Tanque Anóxico.....	42
5.10	Perda de carga do Tanque Anóxico até o Tanque de Equalização.....	43
5.11	Perda de carga do Tanque de Equalização até a Caixa de Gordura ..	45
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47

1 APRESENTAÇÃO

O projeto original da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) São Joaquim foi elaborado no ano 2005. O memorial descritivo deste projeto (SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO, CIDADE DE SÃO JOAQUIM – SC, REDE COLETORA, PROJETO HIDRÁULICO SANITÁRIO, MEMORIAL DESCRITIVO E PLANILHAS DE CÁLCULO), datado de janeiro de 2004, e seus respectivos arquivos gráficos estão disponíveis para consulta no Sistema da CASAN.

A ETE São Joaquim começou a operar em fevereiro de 2009 e mais recentemente começou a apresentar alguns problemas dificultando a sua operação.

Recentemente, no ano passado foi realizado um projeto de melhoria nesta Estação referente somente às unidades de tratamento e gerenciamento de lodo (S.E.S. SÃO JOAQUIM, PROJETO DE MELHORIA DA ETE, FASE 1 – SISTEMA DE DESIDRATAÇÃO DE LODO, DIPE/GPR).

O presente documento apresenta o projeto de melhoria da **Estação de Tratamento de Esgoto do Município de São Joaquim – Fase 2**. O objetivo desta melhoria é de solucionar os problemas identificados e também de deixá-la mais modernizada e mais automatizada, com a inclusão de tecnologias de tratamento mais atuais e com novos equipamentos.

Este projeto, elaborado pela Divisão de Projetos de Esgoto da CASAN (DIPE/GPR) compreende o dimensionamento hidráulico e projeto arquitetônico das unidades de tratamento de esgoto.

2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – SITUAÇÃO ATUAL

2.1 Localização

A ETE está implantada próximo à estrada de acesso ao município de São Joaquim (SC-114), a sudoeste da sede municipal, conforme Figura 2.1.

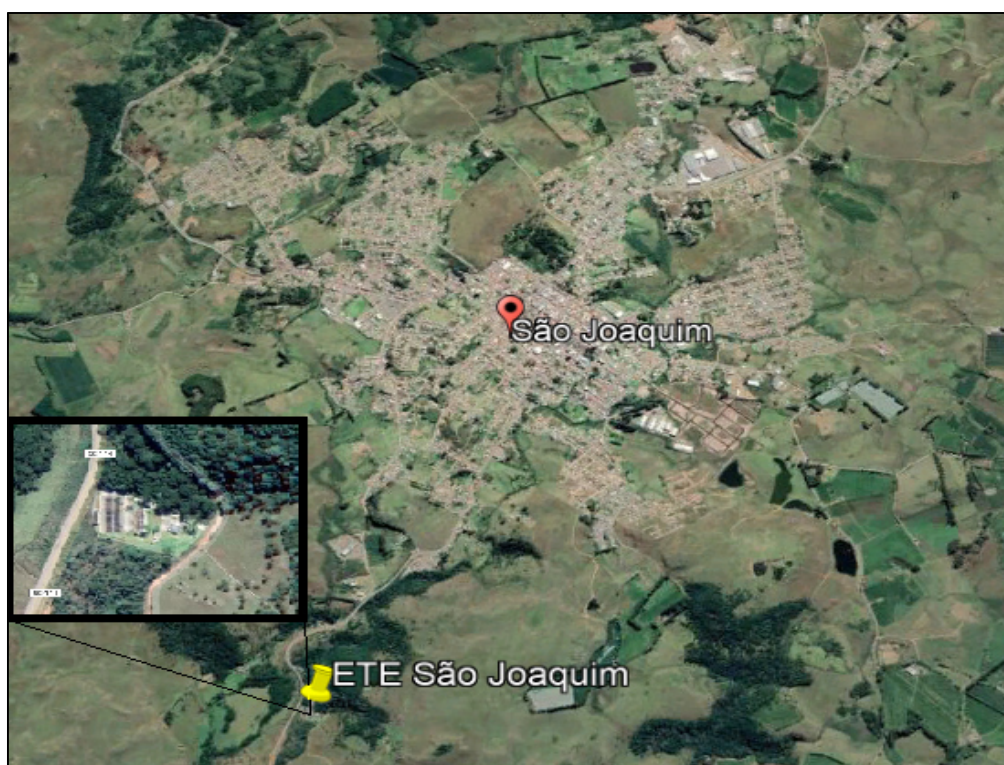


Figura 2.1 – Localização da Estação de Tratamento de Esgoto.

2.2 Vazões de Projeto

A Estação de Tratamento de Esgotos em operação tem capacidade de tratar 16,81 L/s. Existe projeto para ampliação da capacidade da ETE, totalizando 33,61 L/s.

2.3 Unidades de Tratamento

A estação atualmente é composta pelas seguintes unidades de tratamento:

- Tratamento preliminar:
 - Gradeamento manual;
 - Caixa de areia;

- Caixa de gordura;
- CDV;
- Valo Oxidação;
- Decantador secundário;
- ERL – Elevatória de retorno de lodo;
- Leito de secagem;
- EDL – Elevatória de drenagem do leito.

Atualmente encontra-se em fase de licitação o projeto de melhoria referente às unidades de desidratação de lodo (Fase 1).

3 MEMORIAL DESCRITIVO

3.1 Unidades de Tratamento

A Tabela 3.1 identifica todas as unidades da ETE, descrevendo quais são implantadas (existentes), as que passarão por melhorias (reforma), e as que serão implantadas em 1ª e em 2ª etapa e as que serão desativadas. A listagem destas unidades é apresentada na sequência que aparecem na Estação.

Tabela 3.1 – Unidades da ETE.

Unidade de tratamento	Existente	Reforma	1ª etapa	2ª etapa	Desativada
Tanque de equalização (unidade antiga)	---	---	---	---	Sim
Tanque de alcalinizante	---	---	1 unidade	---	---
Tratamento preliminar (grade e caixa de areia)	1 unidade	Sim	---	---	---
Caixa de gordura	1 unidade	Sim	---	---	---
Biofiltro para gases	---	---	1 unidade	---	---
Tanque de equalização (unidade nova)	---	---	1 unidade	1 unidade	---
Tanque Anóxico	---	---	1 unidade	---	---
CDV	---	---	---	---	1 unidade
CDV-1	---	---	1 unidade	---	---
Valo de Oxidação	1 unidade	Sim	---	1 unidade	---
CDV-2	---	---	1 unidade	---	---
Decantador secundário (unidade antiga)	---	---	---	---	Sim
Decantador secundário (unidade nova)	---	---	2 unidades	1 unidade	---
ERL – Elevatória de Retorno de Lodo	1 unidade	---	---	---	---
Unidade de Desidratação Mecânica*	---		1 unidade	---	---
Leito de Secagem*	8 unidades	Sim	---	---	20 unidades
EDL – Elevatória de Drenagem de Lodo	1 unidade	---	---	---	---

*O projeto de melhoria destas unidades de tratamento foi realizado na Fase 1.

Após a obra de melhorias, a ETE São Joaquim será composta das seguintes unidades:

- Caixa de macromedidor inicial;
- Tratamento preliminar:
 - Gradeamento manual;
 - Caixa de areia;
 - Caixa de gordura;
- Biofiltro para gases;
- Tanque de alcalinizante;
- Tanque de equalização – 2 unidades;
- Tanque Anóxico;
- Caixa Distribuidora de Vazão 1;
- Valo Oxidação – 2 unidades;
- Caixa Distribuidora de Vazão 2;
- Decantador secundário – 3 unidades;
- Unidade de Desidratação Mecânica;
- ERL – Elevatória de Retorno de Lodo;
- Leito de secagem;
- EDL – Elevatória de Drenagem de Lodo;
- Caixa de macromedidor final.

A seguir será feita uma breve descrição de cada unidade e da melhoria a ser feita, se for o caso.

3.2 Tanque de Equalização (antigo)

Esta unidade (Figura 3.1), apesar de possuir o nome de tanque de equalização, não funcionava como tal, trabalhando somente como uma caixa de passagem. Assim, optou-se pela construção de um novo Tanque de Equalização com as dimensões adequadas e pela desativação da unidade existente, pois esta, além de não cumprir sua função, é um ponto com grande possibilidade de geração de odor.



Figura 3.1 – Tanque de Equalização antigo.

3.3 Tanque de Alcalinizante

Atualmente o preparo de alcalinizante é realizado diariamente e de forma manual. Assim, está sendo prevista uma nova unidade, composta de um tanque de armazenamento de 20 m³ e de um tanque de contenção de volume imediatamente superior de modo a atender as exigências do órgão ambiental.

Além do tanque de armazenamento, fornecido como um equipamento serão previstas duas bombas de dosagem, sendo uma para operar e outra como reserva.

O alcalinizante a ser utilizado será o hidróxido de cálcio. A dosagem do hidróxido de cálcio será feita no Tanque de Equalização de 1ª etapa. Sua dosagem será atrelada à vazão afluyente da ETE (vazão do macromedidor da entrada).

3.4 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar na ETE São Joaquim é composto de Gradeamento manual, Desarenador (

Figura 3.2) e Caixa de Gordura. Na unidade que contém o Gradeamento e o

Desarenador foi prevista sua cobertura para que ocorra o confinamento dos gases que serão direcionados para o Biofiltro de gases.



Figura 3.2 – Gradeamento.

Para o fechamento desta unidade de forma estanque são previstas tampas em compósito pultrudado. Para o adequado assentamento das tampas foi prevista uma elevação nas paredes desta unidade.

3.4.1 Gradeamento

O gradeamento tem como objetivo remover os sólidos flutuantes e grosseiros. A grades existentes (grade média e grade fina de limpeza manual) serão mantidas.

3.4.2 Desarenador

O desarenador ou caixa de areia é utilizado para remoção de areia e outros materiais sólidos com velocidade de sedimentação maior que a velocidade de sedimentação da matéria orgânica. É uma unidade dimensionada para remover partículas de areia ($\rho = 2,65 \text{ kg/L}$) com diâmetro igual ou superior a $0,20 \text{ m}$, e tem por objetivos:

- Proteger os equipamentos mecânicos móveis de desgaste por abrasão (por exemplo, rotor de bombas), e;

- Reduzir o transporte de material inerte para o interior das unidades de tratamento biológico.

A unidade de desarenação foi construída em concreto armado com fluxo e velocidades tais ($v = 0,40 \text{ m/s}$) que permitem a precipitação da areia presente no esgoto bruto.

Velocidades muito acima ($> 0,40 \text{ m/s}$) da recomendada podem causar o arraste de areia e velocidades muito baixas ($< 0,15 \text{ m/s}$) podem causar o acúmulo de matéria orgânica, resultando na emissão de odores.

3.4.3 Caixa de Gordura

A caixa de gordura tem como função principal a retenção de óleos, graxas, gorduras e materiais que flutam naturalmente, evitando-se assim, a obstrução das tubulações, a aderência nas peças especiais, e o acúmulo de materiais que possam ocasionar odores desagradáveis e problemas nas unidades subsequentes ao tratamento da ETE. O princípio desta remoção se dá pela diferença de densidade da água e das gorduras.

Na ETE São Joaquim esta unidade fica numa estrutura separada das outras unidades do Tratamento Preliminar. Para esta estrutura foi prevista sua cobertura e também a troca dos guarda-corpos que se encontram bem deteriorado, conforme pode ser observado na Figura 3.3.

Os gases desta unidade também serão confinados e direcionados para o Biofiltro.



Figura 3.3 – Caixa de Gordura.

Além disso para o local de apoio da caçamba estacionário foi prevista a instalação de canaletas de contenção em aço galvanizado, similares às utilizadas em piso de postos de combustível, de modo a conter e direcionar possíveis líquidos ou lodo que possam cair no piso. Este material cairá numa pequena caixa de gordura que terá seus efluentes direcionados à Elevatória de Drenagem de Lodo (EDL).

3.5 Biofiltro

O pré-tratamento da ETE de São Joaquim (unidade de com o Gradeamento e Desarenador e a Caixa de Gordura) será coberto para evitar a emissão de odores, sendo os gases gerados encaminhados para um Biofiltro, a fim de realizar o tratamento dos odores.

No Biofiltro, o gás odorante é forçado através de um meio suporte no qual os microrganismos ficam aderidos na forma de um biofilme. Os COVs (compostos orgânicos voláteis) são absorvidos pelo material de enchimento e pelo biofilme, sendo biologicamente oxidados a substâncias menos prejudiciais como: CO_2 , H_2O , NO^3 e SO^4 .

3.6 Tanque de Equalização

A função do tanque de equalização é regular a vazão para uma melhor eficiência do tratamento. Este tanque diminuirá a influência da vazão das bombas e da vazão dos horários de maior pico.

Será prevista uma unidade nesta 1ª fase de melhorias e, posteriormente, na ampliação da ETE, deve ser previsto mais um módulo. A dosagem de alcalinizante será feita no módulo da 1ª fase. A equalização do efluente será feita por meio de uma válvula que irá controlar a vazão de saída dos tanques em função da leitura do macromedidor.

3.7 Tanque Anóxico

A desnitrificação, que ocorre em ambiente anóxico, é a redução biológica de nitrato ou de nitrito em gás nitrogênio, sendo uma parte integral dos processos de nitrificação e desnitrificação para remoção biológica de nitrogênio. Na ETE de São Joaquim será previsto o processo de desnitrificação pré-anóxica. O processo recebe este nome em função de o processo anóxico preceder o tanque de aeração.

Este processo consiste de um tanque anóxico para realizar a desnitrificação, seguido de um tanque de aeração onde ocorre a nitrificação. Para ser possível ocorrer a desnitrificação, o nitrato produzido no tanque de aeração retorna ao tanque anóxico.

Este processo foi previsto a fim de evitar que ocorra a desnitrificação nos decantadores, pois esta provoca o arraste de lodo no efluente através de bolhas formadas e dificulta a sedimentação do lodo, prejudicando o tratamento.

Será construído um módulo de tanque anóxico, que atenderá a ETE neste momento e também quando for feita a sua ampliação.

3.8 Caixa de Distribuição de Vazão 1

A caixa distribuidora de vazão tem como função alimentar de forma igualitária a unidade de tratamento subsequente. Pelo fato de estarem previstos dois

módulos de valo de oxidação, faz-se necessária a instalação de uma caixa de distribuição de vazão anteriormente a estas unidades.

A unidade que se encontra implantada na ETE não estava corretamente projetada (



Figura 3.4), assim, foi prevista a implantação de uma nova unidade, denominada CDV-1.



Figura 3.4 – Caixa Distribuidora de Vazão 1.

3.9 Valo de Oxidação

Os valos de oxidação são unidades em que o esgoto é submetido a um processo de aeração onde ocorre a oxidação biológica. Esta oxidação promove o crescimento de flocos biológicos e consequentemente a redução da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e a nitrificação se as condições de oxigênio estiverem adequadas.

Na ETE São Joaquim há uma unidade implantada e há espaço para implantação de outra unidade quando for feita a ampliação (Figura 3.5).



Figura 3.5 - Valo de Oxidação.

Para a unidade existente foram previstas algumas melhorias, começando pela troca dos aeradores de superfície. Além disso o fluxo do efluente dentro da unidade foi alterado, pois a nova caixa de distribuição de vazão (CDV-1) ficará locado no lado oposto da caixa de distribuição de vazão antiga.

Nesta unidade também está sendo previsto o bombeamento do efluente para que seja feito o reciclo do efluente nitrificado (com nitrato) até o tanque de anóxico para que ocorra a desnitrificação. Estão sendo previstas duas bombas instaladas para cada valo de oxidação, sendo uma para operação e uma reserva.

3.10 Caixa de Distribuição de Vazão 2

Pelo fato de estarem previstos três módulos de decantadores secundários, faz-se necessária a instalação de uma caixa de distribuição de vazão anteriormente a estas unidades.

3.11 Decantador Secundário

Foram projetados decantadores secundários com o objetivo de reduzir a concentração dos sólidos suspensos existente na massa líquida proveniente dos valos de oxidação. Os flocos sedimentam pela ação da gravidade, produzindo

um efluente clarificado.

A unidade existente (Figura 3.6) será desativada e serão construídas três novas unidades, de modo com que na 1ª etapa sejam implantadas duas unidades, proporcionando maior flexibilidade de operação.



Figura 3.6 – Decantador Secundário.

3.12 Elevatória de Retorno de Lodo (ERL)

Unidade existente (Figura 3.7) destinada a bombear o lodo para 4 diferentes destinos:

- Recirculação de lodo (75%) para o tanque anóxico;
- Recirculação de lodo para a saída do Valo de Oxidação (linha antiga que irá operar somente como apoio em caso de manutenção do tanque anóxico);
- Descarte do lodo excedente para o tanque de Mistura de Lodo e posteriormente segue para a prensa. Esta linha será dotada de macromedidor;
- Apoio do descarte de lodo excedente para os leitos de secagem em caso de manutenção da prensa.



Figura 3.7 – Elevatória de Retorno de Lodo.

Será mantida a bomba do projeto original (bomba do tipo helicoidal com altura manométrica de 7,76 m.c.a. e vazão de 12,6 L/s.

Esta elevatória trabalha como vasos comunicantes com os decantadores secundários. Como os novos decantadores secundários precisaram ficar com nível mais baixo (50 cm) que os decantadores existentes, o nível máximo da elevatória também ficará 50 cm menor.

3.13 Unidade de Desidratação Mecânica

Será utilizado uma prensa parafuso para realizar a separação da fase líquida e sólido do lodo excedente gerado na ETE.

Mais informações sobre esta unidade podem ser obtidas no Memorial Descritivo do Projeto de Melhoria da ETE – Fase 1.

3.14 Leito de Secagem

Os leitos de secagem recebem o lodo excedente e tem por objetivo desidratar o lodo através do processo de drenagem e evaporação. Esta unidade (Figura 3.8) funcionará em caráter emergencial caso seja necessária manutenção na

unidade de desidratação mecânica.



Figura 3.8 – Leitos de Secagem.

Mais informações sobre esta unidade podem ser obtidas no Memorial Descritivo do Projeto de Melhoria da ETE – Fase 1.

3.15 Lançamento Final

O efluente tratado da ETE será lançado no Rio São Mateus. O rio apresenta-se com boa declividade e seu leito é cheio de pedras soltas e fundo rochoso, o que proporciona oxigenação natural, dando-lhe possibilidade de se recuperar em poucas centenas de metros a jusante. O Rio São Mateus termina no Rio Lavatudo, distante 30 km em linha reta, com desnível neste trecho de 330 m.

4 MEMORIAL DE CÁLCULO

Neste capítulo será apresentado o dimensionamento somente das novas unidades que foram projetadas.

Na Tabela 4.1 são apresentadas as informações que foram levadas em consideração para o dimensionamento da estação de tratamento de esgoto.

Tabela 4.1 – Parâmetros de dimensionamento.

Informações	1ª etapa	2ª etapa (total)
Vazão média (L/s)	16,81	33,61
Capacidade (população) da ETE (hab)	---	17.900
Contribuição per capita de DBO ₅ (g/hab.d) *		54
Temperatura média do ar no inverno (°C)		9
Temperatura média do esgoto no inverno (°C) **		12

**Conforme NBR 12.209 (2011);

** Considerando que o afluente possui uma temperatura em torno de 3°C maior do que a do ar.

4.1 Tanque de Alcalinizante

Foi considerado o consumo de carbonato de cálcio (Na_2CO_3 - barrilha) informado pela agência de São Joaquim de 2.700 kg/mês. Realizou-se a conversão da barrilha para hidróxido de cálcio da seguinte maneira:

Consumo de hidróxido de cálcio a 20%: $2700 \text{ kg barrilha} * 1,8 * 1,2 = 4,05 \text{ m}^3/\text{mês}$

Considerando 15 dias o prazo de entrega do hidróxido de cálcio, determinou-se o volume mínimo de produto dentro do tanque para que seja solicitado um novo abastecimento: $V_{ent} = \frac{4,05 \text{ m}^3}{2} = 2,03 \text{ m}^3$

A partir do volume mínimo de entrega de 13,00 m³ obtido junto à GSU/DISUP, definiu-se:

Volume mínimo para o tanque de armazenamento: $V_{mín} = 13,00 + 2,03 = 15,02 \text{ m}^3$

Volume adotado para o tanque de armazenamento: $V = 20,0 \text{ m}^3$

4.2 Tanque de Equalização

A Tabela 4.2 apresenta as vazões medidas na ETE de São Joaquim medidas de hora em hora durante 21 dias consecutivos (em julho de 2019).

Em função do mau funcionamento dos Decantadores Secundários ocorre uma restrição da vazão na entrada da ETE em situações de pico (períodos chuvosos), por isso a máxima vazão medida não é a máxima vazão real.

De modo a corrigir este erro de medição em função da restrição da vazão, as medições maiores ou iguais a 16 L/s foram acrescidas de 4 L/s. O valor de 4 L/s foi estimado pela SRS. Os valores corrigidos estão em azul escuro (Tabela 4.3).

Atualmente a vazão média de operação da ETE é de aproximadamente 12 L/s (11,64 L/s nos 21 dias de medição relatados), enquanto que a ETE foi projetada para 33,61 L/s (1ª e 2ª etapa operando). Desta forma a vazão foi corrigida novamente de modo com que a vazão média resultasse na vazão de projeto. Para isso, multiplicou-se a vazão média medida anteriormente por um fator de correção de 2,90 ($33,61/11,64$). Com isso foi possível obter a vazão média de saída do Tanque de Equalização quando a ETE estiver na sua capacidade máxima. Esses resultados estão apresentados na Tabela 4.4.

A partir disso, foi determinada as vazões médias horárias, bem como os volumes acumulados e estocados conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.2 – Vazões medidas na ETE São Joaquim.

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
hora	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão
00:00	12,40	13,00	8,70	11,50	11,75	14,50	13,00	11,50	11,00	10,50	9,00	12,00	12,00	12,00	9,00	10,25	12,00	11,80	11,00	9,50	10,25
01:00	11,00	13,00	8,00	11,50	12,50	11,50	9,50	6,80	8,00	9,00	9,00	6,50	9,00	9,50	6,50	10,00	10,50	9,50	7,00	7,00	7,50
02:00	6,50	12,50	6,75	12,00	11,25	10,50	7,00	9,00	8,00	7,00	7,25	5,50	6,00	6,00	6,25	11,00	12,00	6,50	5,50	6,00	5,75
03:00	7,20		6,50	11,75	12,75	9,00	7,50	5,60	6,75	6,50	6,25	5,25	5,35	5,35	4,50	9,00	7,75	6,75	6,00	4,50	5,50
04:00	6,50	10,75	7,75	11,50	12,00	8,75	7,25	6,25	6,00	4,75	5,15	5,75	5,25	5,50	5,00	9,50	6,75	5,25	5,50	6,00	5,00
05:00	6,90	9,00	8,00	11,50	11,50	7,75	6,50	6,25	5,50	5,25	4,25	5,00	4,50	4,25	4,50	9,00	7,25	6,25	5,00	5,00	4,75
06:00	9,50	9,75	7,50	10,25	11,00	9,00	7,00	6,75	5,25	4,25	6,00	4,50	5,00	5,00	4,75	10,75	7,00	5,50	6,00	4,50	5,25
07:00	9,00	9,50	7,60	12,00		8,50	6,80	6,50	6,50	5,50	5,00	6,00	4,50	4,50	4,50	9,50	8,25	7,50	6,00	5,00	5,50
08:00	7,50	12,00	6,50	11,00	12,80	9,50	9,00	10,00	7,25	6,50	10,50	10,50	8,50	8,50	5,50	9,00	11,50	11,00	9,00	7,00	6,75
09:00	6,25	13,00	6,00		13,00	11,25	10,50	13,50	11,00	15,00	12,50	11,00	11,00	11,00	7,00	10,00	13,00	12,50	12,00	11,75	10,00
10:00	7,75	12,75	7,00	15,00	13,50	15,50	12,00	13,00	12,00	16,00		16,00	14,00	14,50	14,00	10,50	13,00	14,00	16,50	13,00	14,00
11:00	5,50	13,00		12,50	14,00	16,50	11,50	18,00	17,00	16,00	5,00	15,00	12,00	12,00	13,00	14,00	13,50	15,50	16,00	15,00	16,00
12:00	12,50	12,50	19,00	14,00	13,00	16,00	16,00	16,00	16,00	15,80	11,00	16,00	16,00	15,80	10,00	14,00	12,25	17,00	17,00	16,50	19,00
13:00	13,00	11,25	14,00	14,50	15,00	16,00	16,50	16,00	16,00	15,00	15,00	18,00	16,20	15,50	11,50	16,50	13,50	14,00	17,00	16,25	15,00
14:00	13,00	12,25	13,00	14,00	14,50	15,50	18,50	14,50	17,00	14,00	18,50	15,00	16,00	16,00	10,00	16,00	13,00	17,00	14,50	15,00	17,00
15:00	14,00	11,50	13,50	15,00	16,50	16,50	16,00	15,50	18,00	10,50	18,20	8,00	16,00	16,00	8,00	14,00	13,50	16,25	15,50	16,50	18,50
16:00	14,50	11,50	14,00	13,50	16,00	16,00	15,50	13,00	13,00	11,00	13,00	10,00	14,00	14,00	10,50	14,50	12,50	14,50	15,00	13,50	17,00
17:00	11,00	11,50	11,50	14,50	13,50	18,00	16,00	14,50	13,00	12,50	12,50	11,00	18,00	17,00	11,00	11,50	13,25	13,50	12,00	13,00	16,75
18:00	12,50	10,75	11,50	15,50	10,50	15,00	14,50	12,75	11,50	12,50	13,50	13,50	12,00	12,00	10,00	10,25	12,50	13,50	13,25	13,50	15,00
19:00	13,00	13,50	10,50	13,00	11,50	16,00	15,00	13,00	11,50	12,00	14,00	10,50	13,00	13,00	10,50	10,75	13,25	13,00	13,00	12,75	14,75
20:00	12,00	12,00	11,50	13,00	11,75	13,50	14,50	13,00	10,00	12,00	15,50	11,50	12,00	12,00	11,00	10,50	12,75	12,75	13,00	13,75	14,00
21:00	13,50	12,80	11,60	12,00	10,00	14,00	17,00	13,50	11,50	12,80	15,00	12,50	16,00	16,00	9,25	10,75	12,50	14,25	14,00	14,00	12,75
22:00	13,00	9,25	11,25	13,00	10,50	12,50	13,00	13,00	11,50	12,00	13,00	12,00	10,50	10,50	10,75	10,75	13,00	12,75	13,50	12,50	11,50
23:00	13,00	8,75	11,25	14,00	10,20	12,50	13,00	14,50	10,50	12,00	11,50	10,00	9,50	9,50	10,00	10,50	11,50	12,50	12,50	13,00	13,00
Média	10,46	11,08	9,70	12,35	12,04	13,07	12,21	11,77	10,99	10,76	10,44	10,46	11,10	11,06	8,63	11,35	11,50	11,79	11,49	11,02	11,69
Máxima	14,50	13,50	19,00	15,50	16,50	18,00	18,50	18,00	18,00	16,00	18,50	18,00	18,00	17,00	14,00	16,50	13,50	17,00	17,00	16,50	19,00

Tabela 4.3 – Vazões medidas e corrigidas na ETE São Joaquim.

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Média
hora	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão (L/s)
00:00	12,40	13,00	8,70	11,50	11,75	14,50	13,00	11,50	11,00	10,50	9,00	12,00	12,00	12,00	9,00	10,25	12,00	11,80	11,00	9,50	10,25	11,27
01:00	11,00	13,00	8,00	11,50	12,50	11,50	9,50	6,80	8,00	9,00	9,00	6,50	9,00	9,50	6,50	10,00	10,50	9,50	7,00	7,00	7,50	9,18
02:00	6,50	12,50	6,75	12,00	11,25	10,50	7,00	9,00	8,00	7,00	7,25	5,50	6,00	6,00	6,25	11,00	12,00	6,50	5,50	6,00	5,75	8,01
03:00	7,20		6,50	11,75	12,75	9,00	7,50	5,60	6,75	6,50	6,25	5,25	5,35	5,35	4,50	9,00	7,75	6,75	6,00	4,50	5,50	6,99
04:00	6,50	10,75	7,75	11,50	12,00	8,75	7,25	6,25	6,00	4,75	5,15	5,75	5,25	5,50	5,00	9,50	6,75	5,25	5,50	6,00	5,00	6,96
05:00	6,90	9,00	8,00	11,50	11,50	7,75	6,50	6,25	5,50	5,25	4,25	5,00	4,50	4,25	4,50	9,00	7,25	6,25	5,00	5,00	4,75	6,57
06:00	9,50	9,75	7,50	10,25	11,00	9,00	7,00	6,75	5,25	4,25	6,00	4,50	5,00	5,00	4,75	10,75	7,00	5,50	6,00	4,50	5,25	6,88
07:00	9,00	9,50	7,60	12,00		8,50	6,80	6,50	6,50	5,50	5,00	6,00	4,50	4,50	4,50	9,50	8,25	7,50	6,00	5,00	5,50	6,91
08:00	7,50	12,00	6,50	11,00	12,80	9,50	9,00	10,00	7,25	6,50	10,50	10,50	8,50	8,50	5,50	9,00	11,50	11,00	9,00	7,00	6,75	9,04
09:00	6,25	13,00	6,00		13,00	11,25	10,50	13,50	11,00	15,00	12,50	11,00	11,00	11,00	7,00	10,00	13,00	12,50	12,00	11,75	10,00	11,06
10:00	7,75	12,75	7,00	15,00	13,50	15,50	12,00	13,00	12,00	20,00		20,00	14,00	14,50	14,00	10,50	13,00	14,00	20,50	13,00	14,00	13,80
11:00	5,50	13,00		12,50	14,00	20,50	11,50	22,00	21,00	20,00	5,00	15,00	12,00	12,00	13,00	14,00	13,50	15,50	20,00	15,00	20,00	14,75
12:00	12,50	12,50	23,00	14,00	13,00	20,00	20,00	20,00	20,00	15,80	11,00	20,00	20,00	15,80	10,00	14,00	12,25	21,00	21,00	20,50	23,00	17,11
13:00	13,00	11,25	14,00	14,50	15,00	20,00	20,50	20,00	20,00	15,00	15,00	22,00	20,20	15,50	11,50	20,50	13,50	14,00	21,00	20,25	15,00	16,75
14:00	13,00	12,25	13,00	14,00	14,50	15,50	22,50	14,50	21,00	14,00	22,50	15,00	20,00	20,00	10,00	20,00	13,00	21,00	14,50	15,00	21,00	16,49
15:00	14,00	11,50	13,50	15,00	20,50	20,50	20,00	15,50	22,00	10,50	22,20	8,00	20,00	20,00	8,00	14,00	13,50	20,25	15,50	20,50	22,50	16,55
16:00	14,50	11,50	14,00	13,50	20,00	20,00	15,50	13,00	13,00	11,00	13,00	10,00	14,00	14,00	10,50	14,50	12,50	14,50	15,00	13,50	21,00	14,21
17:00	11,00	11,50	11,50	14,50	13,50	22,00	20,00	14,50	13,00	12,50	12,50	11,00	22,00	21,00	11,00	11,50	13,25	13,50	12,00	13,00	20,75	14,55
18:00	12,50	10,75	11,50	15,50	10,50	15,00	14,50	12,75	11,50	12,50	13,50	13,50	12,00	12,00	10,00	10,25	12,50	13,50	13,25	13,50	15,00	12,67
19:00	13,00	13,50	10,50	13,00	11,50	20,00	15,00	13,00	11,50	12,00	14,00	10,50	13,00	13,00	10,50	10,75	13,25	13,00	13,00	12,75	14,75	12,93
20:00	12,00	12,00	11,50	13,00	11,75	13,50	14,50	13,00	10,00	12,00	15,50	11,50	12,00	12,00	11,00	10,50	12,75	12,75	13,00	13,75	14,00	12,48
21:00	13,50	12,80	11,60	12,00	10,00	14,00	21,00	13,50	11,50	12,80	15,00	12,50	16,00	16,00	9,25	10,75	12,50	14,25	14,00	14,00	12,75	13,32
22:00	13,00	9,25	11,25	13,00	10,50	12,50	13,00	13,00	11,50	12,00	13,00	12,00	10,50	10,50	10,75	10,75	13,00	12,75	13,50	12,50	11,50	11,89
23:00	13,00	8,75	11,25	14,00	10,20	12,50	13,00	14,50	10,50	12,00	11,50	10,00	9,50	9,50	10,00	10,50	11,50	12,50	12,50	13,00	13,00	11,58
Média	10,46	11,08	9,87	12,35	12,38	14,24	13,21	12,27	11,82	11,10	10,78	10,96	11,93	11,56	8,63	11,69	11,50	12,29	12,16	11,52	12,69	11,64
Máxima	14,50	13,50	23,00	15,50	20,50	22,00	22,50	22,00	22,00	20,00	22,50	22,00	22,00	21,00	14,00	20,50	13,50	21,00	21,00	20,50	23,00	

Tabela 4.4 – Vazões de medição previstas para a 2ª etapa da ETE São Joaquim.

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	Média
hora	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão	vazão (L/s)
00:00	36,01	37,76	25,27	33,40	34,13	42,11	37,76	33,40	31,95	30,50	26,14	34,85	34,85	34,85	26,14	29,77	34,85	34,27	31,95	27,59	29,77	32,73
01:00	31,95	37,76	23,23	33,40	36,30	33,40	27,59	19,75	23,23	26,14	26,14	18,88	26,14	27,59	18,88	29,04	30,50	27,59	20,33	20,33	21,78	26,66
02:00	18,88	36,30	19,60	34,85	32,67	30,50	20,33	26,14	23,23	20,33	21,06	15,97	17,43	17,43	18,15	31,95	34,85	18,88	15,97	17,43	16,70	23,27
03:00	20,91	0,00	18,88	34,13	37,03	26,14	21,78	16,26	19,60	18,88	18,15	15,25	15,54	15,54	13,07	26,14	22,51	19,60	17,43	13,07	15,97	19,33
04:00	18,88	31,22	22,51	33,40	34,85	25,41	21,06	18,15	17,43	13,80	14,96	16,70	15,25	15,97	14,52	27,59	19,60	15,25	15,97	17,43	14,52	20,21
05:00	20,04	26,14	23,23	33,40	33,40	22,51	18,88	18,15	15,97	15,25	12,34	14,52	13,07	12,34	13,07	26,14	21,06	18,15	14,52	14,52	13,80	19,07
06:00	27,59	28,32	21,78	29,77	31,95	26,14	20,33	19,60	15,25	12,34	17,43	13,07	14,52	14,52	13,80	31,22	20,33	15,97	17,43	13,07	15,25	19,98
07:00	26,14	27,59	22,07	34,85	0,00	24,69	19,75	18,88	18,88	15,97	14,52	17,43	13,07	13,07	13,07	27,59	23,96	21,78	17,43	14,52	15,97	19,11
08:00	21,78	34,85	18,88	31,95	37,18	27,59	26,14	29,04	21,06	18,88	30,50	30,50	24,69	24,69	15,97	26,14	33,40	31,95	26,14	20,33	19,60	26,25
09:00	18,15	37,76	17,43	0,00	37,76	32,67	30,50	39,21	31,95	43,57	36,30	31,95	31,95	31,95	20,33	29,04	37,76	36,30	34,85	34,13	29,04	30,60
10:00	22,51	37,03	20,33	43,57	39,21	45,02	34,85	37,76	34,85	58,09	0,00	58,09	40,66	42,11	40,66	30,50	37,76	40,66	59,54	37,76	40,66	38,17
11:00	15,97	37,76	0,00	36,30	40,66	59,54	33,40	63,90	60,99	58,09	14,52	43,57	34,85	34,85	37,76	40,66	39,21	45,02	58,09	43,57	58,09	40,80
12:00	36,30	36,30	66,80	40,66	37,76	58,09	58,09	58,09	58,09	45,89	31,95	58,09	58,09	45,89	29,04	40,66	35,58	60,99	60,99	59,54	66,80	49,70
13:00	37,76	32,67	40,66	42,11	43,57	58,09	59,54	58,09	58,09	43,57	43,57	63,90	58,67	45,02	33,40	59,54	39,21	40,66	60,99	58,81	43,57	48,64
14:00	37,76	35,58	37,76	40,66	42,11	45,02	65,35	42,11	60,99	40,66	65,35	43,57	58,09	58,09	29,04	58,09	37,76	60,99	42,11	43,57	60,99	47,89
15:00	40,66	33,40	39,21	43,57	59,54	59,54	58,09	45,02	63,90	30,50	64,48	23,23	58,09	58,09	23,23	40,66	39,21	58,81	45,02	59,54	65,35	48,05
16:00	42,11	33,40	40,66	39,21	58,09	58,09	45,02	37,76	37,76	31,95	37,76	29,04	40,66	40,66	30,50	42,11	36,30	42,11	43,57	39,21	60,99	41,28
17:00	31,95	33,40	33,40	42,11	39,21	63,90	58,09	42,11	37,76	36,30	36,30	31,95	63,90	60,99	31,95	33,40	38,48	39,21	34,85	37,76	60,27	42,25
18:00	36,30	31,22	33,40	45,02	30,50	43,57	42,11	37,03	33,40	36,30	39,21	39,21	34,85	34,85	29,04	29,77	36,30	39,21	38,48	39,21	43,57	36,79
19:00	37,76	39,21	30,50	37,76	33,40	58,09	43,57	37,76	33,40	34,85	40,66	30,50	37,76	37,76	30,50	31,22	38,48	37,76	37,76	37,03	42,84	37,55
20:00	34,85	34,85	33,40	37,76	34,13	39,21	42,11	37,76	29,04	34,85	45,02	33,40	34,85	34,85	31,95	30,50	37,03	37,03	37,76	39,94	40,66	36,24
21:00	39,21	37,18	33,69	34,85	29,04	40,66	60,99	39,21	33,40	37,18	43,57	36,30	46,47	46,47	26,87	31,22	36,30	41,39	40,66	40,66	37,03	38,68
22:00	37,76	26,87	32,67	37,76	30,50	36,30	37,76	37,76	33,40	34,85	37,76	34,85	30,50	30,50	31,22	31,22	37,76	37,03	39,21	36,30	33,40	34,54
23:00	37,76	25,41	32,67	40,66	29,62	36,30	37,76	42,11	30,50	34,85	33,40	29,04	27,59	27,59	29,04	30,50	33,40	36,30	36,30	37,76	37,76	33,64
Média	30,37	32,17	28,67	35,88	35,94	41,36	38,37	35,63	34,34	32,23	31,29	31,83	34,65	33,57	25,05	33,94	33,40	35,71	35,31	33,46	36,85	33,81
Máxima	42,11	39,21	66,80	45,02	59,54	63,90	65,35	63,90	63,90	58,09	65,35	63,90	63,90	60,99	40,66	59,54	39,21	60,99	60,99	59,54	66,80	2,90

Tabela 4.5 – Vazões médias e acumuladas da ETE São Joaquim.

Hora	Vazão média		Volume acumulado no final do período (m³)	Vazão média de saída (m³/h)	Volume média acumulado (m³)	Volume estocado (m³)	Diferencial dos volumes acumulados (m³)
	(L/s)	(m³/h)					
00:00	32,73	117,83	117,83	125,00	125,00	117,83	7,17
01:00	26,66	95,99	213,82	125,00	250,00	220,99	36,18
02:00	23,27	83,77	297,59	125,00	375,00	333,77	77,41
03:00	19,33	69,58	367,17	125,00	500,00	444,58	132,83
04:00	20,21	72,77	439,94	125,00	625,00	572,77	185,06
05:00	19,07	68,66	508,60	125,00	750,00	693,66	241,40
06:00	19,98	71,95	580,54	125,00	875,00	821,95	294,46
07:00	19,11	68,78	649,33	125,00	1000,00	943,78	350,67
08:00	26,25	94,50	743,83	125,00	1125,00	1094,50	381,17
09:00	30,60	110,16	853,98	125,00	1250,00	1235,16	396,02
10:00	38,17	137,42	991,40	125,00	1375,00	1387,42	383,60
11:00	40,80	146,88	1138,28	125,00	1500,00	1521,88	361,72
12:00	49,70	178,92	1317,20	125,00	1625,00	1678,92	307,80
13:00	48,64	175,11	1492,31	125,00	1750,00	1800,11	257,69
14:00	47,89	172,40	1664,70	125,00	1875,00	1922,40	210,30
15:00	48,05	172,99	1837,70	125,00	2000,00	2047,99	162,30
16:00	41,28	148,62	1986,32	125,00	2125,00	2148,62	138,68
17:00	42,25	152,11	2138,42	125,00	2250,00	2277,11	111,58
18:00	36,79	132,44	2270,86	125,00	2375,00	2382,44	104,14
19:00	37,55	135,18	2406,04	125,00	2500,00	2510,18	93,96
20:00	36,24	130,45	2536,49	125,00	2625,00	2630,45	88,51
21:00	38,68	139,26	2675,75	125,00	2750,00	2764,26	74,25
22:00	34,54	124,35	2800,10	125,00	2875,00	2874,35	74,90
23:00	33,64	121,09	2921,18	125,00	3000,00	2996,09	78,82
Vazão média	33,81						396,02
Fator de correção	2,90						200,00

Portanto, o volume necessário para o tanque de equalização resultou em 396,02 m³. Assim, optou-se por duas unidades de 200,00 m³, cada. Sendo uma para atender a 1ª etapa e outra para a ampliação (2ª etapa).

4.3 Tanque anóxico

O dimensionamento do tanque anóxico é feito somente em função do TDH recomendado, que segundo a bibliografia (VON SPERLING, 2016) varia de 0,5 a 2,5 horas.

Para a ETE São Joaquim foi adotado um volume de tanque que resultasse num TDH dentro deste intervalo tanto para a 1ª etapa, quanto para a 2ª etapa.

Tempo de detenção mínimo: $TDH_{min} = 0,5 \text{ h}$

Tempo de detenção máximo: $TDH_{max} = 2,5 \text{ h}$

Q média 1ª etapa = 16,81 L/s = 60,50 m³/h

Q média 2ª etapa = 33,61 L/s = 121,00 m³/h

Volume: $V = Q_{med} * TDH$

$V_{min,1aetapa} = 60,50 \text{ m}^3/\text{h} * 0,5 \text{ h} = 30,25 \text{ m}^3$

$V_{min,2aetapa} = 121,00 \text{ m}^3/\text{h} * 0,5 \text{ h} = 60,50 \text{ m}^3$

$V_{max,1aetapa} = 60,50 \text{ m}^3/\text{h} * 2,5 \text{ h} = 151,25 \text{ m}^3$

$V_{max,2aetapa} = 121,00 \text{ m}^3/\text{h} * 2,5 \text{ h} = 302,49 \text{ m}^3$

Comprimento adotado: $C = 7,0 \text{ m}$

Largura adotada: $L = 4,5 \text{ m}$

Altura adotada: $H = 4,0 \text{ m}$

Volume adotado: $V = 126 \text{ m}^3$

Verificação do TDH: $TDH = \frac{V}{Q_{med}}$

$$TDH_{1aetapa} = \frac{126 \text{ m}^3}{60,50 \text{ m}^3/h} = 2,08 \text{ h}$$

$$TDH_{2aetapa} = \frac{126 \text{ m}^3}{121 \text{ m}^3/h} = 1,04 \text{ h}$$

A verificação do TDH para as duas etapas se mostrou satisfatória.

4.4 Valo de Oxidação – Reciclo Interno

A unidade de valo de oxidação já está implantada, por isso não será demonstrado o dimensionamento desta unidade. Será apresentado a seguir o dimensionamento do reciclo interno, que trata do sistema de bombeamento do efluente nitrificado do valo de oxidação até a entrada do tanque anóxico.

a) Dados de entrada

Cota do nível mínimo da EE: $C_{N\acute{m}in} = 1251,40 \text{ m}$

Cota máxima de elevação do recalque: $C_{m\acute{a}x} = 1252,95 \text{ m}$

Comprimento da tubulação de recalque: $L_{rec} = 64,80 \text{ m}$

Vazão: $Q_{RI} = 42,01 \text{ L/s} = 151,25 \text{ m}^3/h$

Material: ferro fundido

Diâmetro: $DN = 200 \text{ mm}$

b) Perdas de carga

Diâmetro interno: $D_i = 209,20 \text{ mm}$

$$\text{Velocidade: } v = \frac{4 \cdot Q_{RI}}{\pi} \cdot D_{iRI}^{-2} = \frac{4 \cdot \frac{42,01}{100}}{\pi} \cdot \left(\frac{209,20}{100} \right)^2 = 1,22 \text{ m/s}$$

Perda de carga localizada: $h_p = N \cdot K \cdot \frac{v^2}{2g}$, de acordo com Tabela 4.6 – Perda de carga localizada.

Tabela 4.6 – Perda de carga localizada.

Peça	Quantidade	K	$\frac{v^2}{2g}$	hp (m)
Curva 90°	7	0,40	0,07614	0,21
Curva 45°	6	0,20	0,07614	0,09
Entrada normal	1	0,50	0,07614	0,04
Reg. Gaveta aberto	1	0,20	0,07614	0,02
Saída de canal.	1	1,00	0,07614	0,08
Tê, passagem direta	1	0,60	0,07614	0,05
Perda Total (mca)				0,48

Perda de carga unitária:

$$J = \frac{10,641 * Q_{RI}^{1,85}}{C^{1,85} * D_i^{4,87}} = \frac{10,641 * \left(\frac{42,01}{100}\right)^{1,85}}{130^{1,85} * \left(\frac{209,20}{100}\right)^{4,87}} = 0,0076 \text{ m/m}$$

Perda de carga ao longo da linha: $h_d = J * L_{rec} = 0,0076 * 64,80 = 0,49 \text{ mca}$

Perda de carga total: $\Delta h = h_p + h_d = 0,48 + 0,49 = 0,97 \text{ mca}$

c) Altura manométrica

Desnível geométrico: $\Delta g = C_{m\acute{a}x} - C_{N\acute{m}in} = 1252,95 - 1251,40 = 1,55 \text{ m}$

Altura manométrica: $H = \Delta h + \Delta g = 0,97 + 1,55 = 2,52 \text{ mca}$

4.5 Decantador secundário

O dimensionamento desta unidade foi feito utilizando-se o livro Lodos Ativados (VON SPERLING, 2016).

4.5.1 Dados de entrada

Vazão média de segunda etapa: $Q_{méd} = 2903,90 \text{ m}^3/d = 121,00 \text{ m}^3/h$

Vazão máxima de segunda etapa: $Q_{m\acute{a}x} = 4622,40 \text{ m}^3/d = 192,60 \text{ m}^3/h$

Vazão de recirculação: $Q_r = Q_{méd} * R = 2903,90 * 0,75 = 2177,93 \frac{\text{m}^3}{d} =$

$$90,75 m^3/h$$

$$SSTA = 4637,68 mg/L = 4,638 kg/m^3 \text{ (calculado no tanque de aeração)}$$

4.5.2 Área requerida com base na teoria simplificada de fluxo limite

a) Coeficientes de interesse:

Sedimentabilidade = média

$$v_o = 8,60 m/h$$

$$K = 0,50 m^3/kg$$

$$m = 8,41$$

$$n = 0,72$$

b) Cálculo de Q/A

$$Q/A \text{ para critério de clarificação} = v_o * e^{K*SSTA} = 8,60 * e^{0,50*4637,68} = 0,85$$

$$Q/A \text{ para critério de adensamento} = \frac{(m*(R*v_o*e^{K*SSTA})^n)}{(R+1)*SSTA} = \frac{(8,41*(0,75*8,60*e^{0,50*4637,68})^{0,72})}{(0,75+1)*4637,68} = 0,75 m/h$$

$$Q/A_{adotado} = 0,75$$

c) Áreas

$$\text{Área mínima total para os decantadores em função de } Q/A = \frac{Q_{méd}}{Q/A} = \frac{2903,90}{0,75} = 162,00 m^2$$

Área mínima total com base na teoria simplificada do fluxo limite =

$$\frac{Q_{méd} * (R + 1) * SSTA}{m * (R * v_o * e^{-K*SSTA})^n} = \frac{2903,90 * (0,75 + 1) * 4637,68}{8,41 * (0,75 * 8,60 * e^{-0,50*4637,68})^{0,72}} = 162,0 m^2$$

Um decantador secundário, de forma a não perder sólidos no efluente, não deve estar sobrecarregado em termos de clarificação e adensamento. Tal significa o atendimento aos seguintes dois critérios:

- 1) Decantador não sobrecarregado em termos de clarificação: a taxa de aplicação hidráulica não deve exceder a velocidade de sedimentação do lodo;
- 2) Decantador não sobrecarregado em termos de adensamento: o fluxo de sólidos aplicado não deve exceder o fluxo de sólidos limite.

Tabela 4.7 – Taxas de escoamento superficial máxima e Taxas de aplicação de sólidos máxima.

	TAH	TAS
	Taxa de escoamento superficial máx. (m ³ /m ² .d)	Taxa de aplicação de sólidos máx. (kgSS/m ² .d)
Idade do lodo < 18 dias; ou relação A/M > 0,15 kgDBO ₅ /kgSSVTA.d	28,00	
Idade do lodo < 18 dias; ou relação A/M > 0,15 kgDBO ₅ /kgSSVTA.d e se tem remoção adicional de fósforo por adição de produto químico	20,00	144,00
Idade do lodo > 18 dias; ou relação A/M < 0,15 kgDBO ₅ /kgSSVTA.d	16,00	120,00

Fonte: NBR 12209 (ABNT, 2011).

Taxa de escoamento superficial máxima: $TAH = 28,0 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ (de acordo com a NBR 12209/11 para lodo com idade menor que 18 dias e relação A/M maior que 0,15 kg DBO_5 /kg SSVTA.d)

Área mínima total em função da taxa hidráulica máxima = $\frac{Q_{méd}}{TAH} = 103,71 \text{ m}^2$

Taxa de aplicação de sólidos máxima: $TAS = 144,00 \text{ kg SS}/\text{m}^2.\text{d}$ de acordo com a NBR 12209/11 para lodo com idade menor que 18 dias e relação A/M maior que 0,15 kg DBO_5 /kg SSVTA.d)

Área mínima total em função da taxa de sólidos máxima = $(Q_{méd} + Q_r) * \frac{SSTA}{TAS} = (2903,90 + 2177,93) * \left(\frac{4637,68}{144}\right) = 163,67 \text{ m}^2$

Área mínima total para os decantadores: $A_{t,min} = 163,67 \text{ m}^2$ (adotou-se a maior área das áreas mínimas calculadas acima)

4.5.3 Decantador circular

a) Dimensões

Número de decantadores a ser adotado: $N = 3$ decantadores

Área requerida para cada decantador: $A_{req} = \frac{A(t, \min)}{N} = \frac{163,67}{3} = 54,56 \text{ m}^2$

Diâmetro mínimo requerido: $D_{req} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{req}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 54,56}{\pi}} = 8,33 \text{ m}$

Diâmetro adotado: $D = 8,50 \text{ m}$

Área de cada decantador: $A_d = \frac{D^2 \pi}{4} = \frac{8,50^2 \pi}{4} = 56,75 \text{ m}^2$

Área total resultante: $A_t = A_d \cdot N = 56,75 \cdot 3 = 170,24 \text{ m}^2$

b) Taxas de aplicação resultantes

Taxa de aplicação superficial para $Q_{méd}$: $TAH_{méd} = \left(\frac{Q_{méd}}{N} \right) \cdot A_d = \left(\frac{2903,90}{3} \right) \cdot 56,75 = 17,06 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot d$

Taxa de aplicação superficial para $Q_{máx}$: $TAH_{máx} = \left(\frac{Q_{máx}}{N} \right) \cdot A_d = \frac{4622,40}{3} \cdot 56,75 = 27,15 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot d$

Taxa de aplicação de sólidos para $Q_{méd}$: $TAS_{méd} = \frac{Q_{méd}}{N} \cdot (1 + R) \cdot \frac{SSTA}{A_d} = \frac{2903,90}{3} \cdot (1 + 0,75) \cdot \frac{4637,68}{56,75} = 185,26 \text{ kgSS}/\text{m}^2 \cdot d$

Taxa de aplicação de sólidos que $Q_{máx}$: $TAS_{máx} = \frac{Q_{máx}}{N} \cdot (1 + R) \cdot \frac{SSTA}{A_d} = \frac{4622,40}{3} \cdot (1 + 0,75) \cdot \frac{4637,68}{56,75} = 138,44 \text{ kgSS}/\text{m}^2 \cdot d$

c) Outras dimensões

Profundidade lateral (parte cilíndrica do tanque) = $H_{lat} = 3,50 \text{ m}$

Declividade do fundo: $I = 8\%$

Volume de cada decantador: $V_d = A_d \cdot \left(H_{lat} + \frac{H_{cone}}{3} \right) = 56,75 \cdot \left(3,50 + \frac{0,31}{3} \right) = 204,42 \text{ m}^3$

$$\text{Volume total: } V = V_d * N = 204,42 * 3 = 613,25 \text{ m}^3$$

d) Tempo de detenção hidráulica

$$\text{Para vazão média + recirculação: } TDH_{\text{méd}} = \frac{V}{\frac{Q_{\text{méd}}}{N} + \left(\frac{Q_{\text{méd}}}{n} * R\right)} = \frac{613,25}{\frac{2903,90}{3} + \left(\frac{2903,90}{3} * 0,75\right)} = 8,69 \text{ h}$$

$$\text{Para vazão máxima + recirculação: } TDH_{\text{máx}} = \frac{V}{\frac{Q_{\text{máx}}}{N} + \left(\frac{Q_{\text{máx}}}{n} * R\right)} = \frac{613,25}{\frac{4637,68}{3} + \left(\frac{4637,68}{3} * 0,75\right)} = 6,69 \text{ h}$$

e) Vertedor de saída

O projeto dos vertedores de saída é também um item importante na concepção dos decantadores secundários, de forma a permitir que o efluente clarificado saia sem carrear sólidos adjacentes. Os vertedores podem ser contínuos ou, preferencialmente, triangulares. Estes últimos são mais recomendados por sofrerem menos influência de eventuais diferenças de nível no assentamento dos vertedores. No projeto da ETE São Joaquim serão utilizados vertedores triangulares (vertedor de placa dentada), dimensionado conforme segue:

$$\text{Perímetro do tanque: } P = \pi * D = \pi * 8,50 = 26,70 \text{ m}$$

$$\text{Distância entre os eixos dos entalhes: } d = 0,13 \text{ m}$$

$$\text{Número de entalhes (vertedores): } N_v = \frac{P}{d} = \frac{26,70}{0,13} = 205,41$$

$$\text{Números de entalhes (vertedores) adotado: } N_v = 205$$

$$\text{Vazão média por decantador: } Q_{\text{méd,d}} = \frac{Q_{\text{méd}}}{N} = \frac{33,61}{3} = 11,20 \text{ L/s}$$

$$\text{Vazão média de cada entalhe: } Q_{\text{méd,v}} = \frac{Q_{\text{méd,d}}}{N_v} = \frac{11,20}{205} = 0,05 \text{ L/s}$$

$$\text{Carga hidráulica no vértice do entalhe: } C_h = \frac{Q_{\text{méd,v}}^{1,25}}{1,4} = \frac{0,05^{1,25}}{1,4} = 0,017 \text{ m}$$

$$\text{Compr. de cada entalhe (para vertedor de 90°): } C = C_h * 2 = 0,017 * 2 = 0,034 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento útil do vertedor dentado: } C_{\text{util}} = C * N_v = 0,034 * 205 = 7,069 \text{ m}$$

Taxa de escoam. linear no decantador: $T_{esc} = \frac{Q_{méd}}{N} = \frac{2903,90}{7,069} = 136,928 \text{ m}^3/\text{d.m}$

Verificação 12.209/2011: $T_{esc} < 290 \Rightarrow 136,928 < 290 \Rightarrow \text{OK}$

Vazão máxima por decantador: $Q_{máx,d} = \frac{Q_{máx}}{N} = \frac{53,50}{3} = 17,83 \text{ L/s}$

Vazão máxima de cada entalhe: $Q_{máx,d} = \frac{Q_{máx}}{N} = \frac{17,83}{205} = 0,05 \text{ L/s}$

Carga hid. máxima no vértice do entalhe: $C_{h,max} = \frac{Q_{max,v}}{1,4}^{1,25} = \frac{0,09^{1,25}}{1,4} = \frac{1000}{1,4} = 0,021 \text{ m}$

Comp. de cada entalhe (para vertedor de 90°): $C_m = C_h * 2 = 0,021 * 2 = 0,042 \text{ m}$

Comprimento útil do vertedor dentado: $C_{util,m} = C_m * N_v = 0,042 * 205 = 8,514 \text{ m}$

Taxa de escoamento linear máxima no decantador: $T_{esc,m} = \frac{Q_{max}}{N} = \frac{4622,40}{8,514} = 180,976 \text{ m}^3/\text{d.m}$

Verificação 12.209/2011: $T_{esc,M} < 290 \Rightarrow 180,976 < 290 \Rightarrow \text{OK}$

5 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO – PERDA DE CARGA

O dimensionamento hidráulico de uma ETE deve ser feito de trás para frente. Dessa forma, os níveis de água são definidos a partir do corpo receptor, a jusante da ETE, terminando na primeira unidade, a montante da ETE.

No caso da ETE São Joaquim, em função de algumas unidades já estarem implantadas, o dimensionamento começará na CDV-2, localizada a montante dos novos Decantadores Secundários (DS).

5.1 Vazões

A Tabela 5.1 apresenta as vazões utilizadas nos cálculos para primeira e segunda etapa.

Tabela 5.1 – Vazões.

	1ª etapa	1ª e 2ª etapa	Sigla
Vazão média ETE (L/s)	16,81	33,61	Q_m
Coeficiente de segurança	1,20	1,20	CS
Vazão dimensionamento tubulação (L/s)	20,17	40,33	Q_{20}
Recirculação - lodo de retorno (%)	75%	75%	R_L
Vazão de recirculação - lodo de retorno (L/s)	12,60	25,21	Q_L
Recirculação interna - nitratos (%)	250%	250%	R_n
Vazão de recirculação interna - nitratos (L/s)	42,01	84,03	Q_r

A vazão de dimensionamento de tubulação de cada etapa foi determinada de acordo com a vazão média e o coeficiente de segurança, conforme: $Q_{20} = Q_m * CS$

A vazão de recirculação do lodo de retorno para cada etapa, foi determinada pela equação: $Q_L = Q_m * R_L$

A vazão de recirculação interna de nitratos para cada etapa, foi determinada pela equação: $Q_r = Q_m * R_n$

5.2 Níveis de água

Na Tabela 5.2 estão descritas as cotas do terreno de cada unidade e os níveis de água na entrada e saída das unidades, bem como o nível máximo.

Tabela 5.2 – Níveis de água das unidades.

Níveis	Cota do terreno (m)	NA tubulação de entrada	NA máximo	NA saída
Caixa de gordura	1256,50	-	1258,82	1258,82
Tanques de equalização	1253,90	1258,32	1258,32	1253,32
Tanque anóxico	1253,67	1252,82	1252,82	1252,82
CDV-1	1249,20	1252,00	1252,54	1251,68
Valo de Oxidação	1249,20	1251,40	1251,40	1251,40
CDV-2	1249,20	1250,50	1250,95	1250,22
Decantadores Secundário	1248,70	-	1250,10	-
Elevatória de Recirculação de Lodo	1248,20	-	1250,10	-

5.3 Perda de carga do Emissário até o Decantador Secundário

Os novos DS tiveram seus níveis definidos em função dos DS existentes e da Estação de Recirculação de Lodo (ERL) existente. Os DS e a ERL funcionam como vasos comunicantes, por isso os novos DS mantiveram os mesmos níveis hidráulicos dos antigos.

Para o trajeto mais distante

a) Dados de entrada

Vazão: $Q = 32,77 \text{ L/s} = 0,0328 \text{ m}^3/\text{s}$;

Comprimento: $L = 28 \text{ m}$;

Diâmetro: $D = 150 \text{ mm}$;

Espessura: $e = 6,30 \text{ mm}$;

Coeficiente de rugosidade (ferro fundido): $C = 130$.

b) Cálculos intermediários

Diâmetro interno: $DI = D - e = 150 - 6,30 = 143,70 \text{ mm}$

Velocidade:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{DI^2 \pi}{4}} = \frac{\left(\frac{32,77}{1000}\right)}{\frac{\left(\frac{143,70}{1000}\right)^2 \pi}{4}} = 2,02 \text{ m/s}$$

c) Cálculos das perdas de carga

Perda de carga distribuída:

$$h_{p,d} = 10,643 * \frac{Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * DI^{4,87}} = 10,643 * \frac{\left(\frac{32,77}{1000}\right)^{1,85} * 28}{130^{1,85} * \left(\frac{143,70}{1000}\right)^{4,87}} = 0,82 \text{ m}$$

Perda de carga localizada: $h_{p,l} = \frac{v * K^2}{2 * g}$

K = coeficiente de perda de carga localizada de acordo com a peça.

Tabela 5.3 – Somatório dos coeficientes de perda de carga localizada.

Quantidade	Peça	K	ΣK
1	Saída de conduto afogado	0,9	0,9
2	Tê, passagem direta	0,6	1,2
1	Curva de 90°	0,4	0,4
1	Tê, saída de lado	1,3	1,3
Total	-	-	4,18

*foi considerado 10% de folga de segurança.

$$h_{p,l} = \frac{2,02 * 4,18^2}{2 * 9,81} = 0,87 \text{ m}$$

Perda de carga total: $h_p = h_{p,d} + h_{p,l} = 0,82 + 0,87 = 1,69 \text{ m}$

Para trajeto com mais conexões

a) Dados de entrada

Vazão: $Q = 32,77 \text{ L/s}$;

Comprimento: $L = 19 \text{ m}$;

Diâmetro: $D = 150 \text{ mm}$;

Espessura: $e = 6,30 \text{ mm}$;

Coeficiente de rugosidade (ferro fundido): $C = 130$.

b) Cálculos intermediários

Diâmetro interno: $DI = D - e = 150 - 6,30 = 143,70 \text{ mm}$

Velocidade:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{DI^2\pi}{4}} = \frac{\left(\frac{32,77}{1000}\right)}{\frac{\left(\frac{143,70}{1000}\right)^2 \pi}{4}} = 2,02 \text{ m/s}$$

c) Cálculos das perdas de carga

Perda de carga distribuída (equação de Hazen-Williams):

$$h_{p,d} = 10,643 * \frac{Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * DI^{4,87}} = 10,643 * \frac{\left(\frac{32,77}{1000}\right)^{1,85} * 19}{130^{1,85} * \left(\frac{143,70}{1000}\right)^{4,87}} = 0,56 \text{ m}$$

Perda de carga localizada: $h_{p,l} = \frac{v * K^2}{2 * g}$

K = coeficiente de perda de carga localizada de acordo com a peça.

Tabela 5.4 – Somatório dos coeficientes de perda de carga localizada.

Quantidade	Peça	K	ΣK
1	Saída de conduto afogado	0,9	0,9
1	Curva de 45°	0,2	0,2
1	Curva de 90°	0,4	0,4
2	Tê, saída de lado	1,3	2,6
Total	-	-	4,51

*foi considerado 10% de folga de segurança.

$$h_{p,l} = \frac{2,02 * 4,51^2}{2 * 9,81} = 0,94 \text{ m}$$

Perda de carga total: $h_p = h_{p,d} + h_{p,l} = 0,56 + 0,94 = 1,49 \text{ m}$

Portanto, o trajeto do emissário até o decantador secundário que apresenta a maior perda de carga é o mais distante.

5.4 Perda de carga do Decantador Secundário até a CDV-2

Entrada do Decantador Secundário

a) Dados de entrada

Nível de água do DS: $NA = 1250,10 \text{ m}$;

Vazão: $Q = 32,77 \text{ L/s}$;

Número de orifícios: $N_o = 4$;

Dimensões do orifício: 0,10 m x 0,35 m.

b) Cálculos intermediários

$$\text{Vazão por orifício: } Q_o = \frac{Q}{N_o} = \frac{32,77}{4} = 8,19 \text{ L/s} = 0,01 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Área do orifício: } S = 0,1 * 0,35 = 0,04 \text{ m}^2$$

c) Cálculo da perda de carga

Perda de carga (com acréscimo de 10%):

$$h_p = \frac{\left(\frac{Q_o}{0,6 * S}\right)^2}{2 * g} * 1,1 = \frac{\left(\frac{0,01}{0,6 * S}\right)^2}{2 * 9,81} * 1,1 = 0,0085 \text{ m}$$

Perda de carga com coeficiente de segurança:

$$h'_p = h_p * 1,2 = 0,01 * 1,2 = 0,0102 \text{ m}$$

d) Determinação do nível de água

Nível de água a montante do orifício:

$$NA_{\text{orificio}} = NA + h'_p = 1250,32 + 0,0102 = 1250,11 \text{ m}$$

Tubulação afluyente do Decantador Secundário

e) Dados de entrada

$$\text{Vazão: } Q = 32,77 \text{ L/s};$$

$$\text{Comprimento: } L = 22,0 \text{ m};$$

$$\text{Diâmetro: } D = 250 \text{ mm};$$

$$\text{Espessura: } e = 6,80 \text{ mm};$$

$$\text{Coeficiente de rugosidade (ferro fundido): } C = 130.$$

f) Cálculos intermediários

$$\text{Diâmetro interno: } DI = D - e = 250 - 6,80 = 243,2 \text{ mm}$$

Velocidade:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{DI^2\pi}{4}} = \frac{\left(\frac{32,77}{1000}\right)}{\frac{\left(\frac{243,2}{1000}\right)^2 \pi}{4}} = 0,71 \text{ m/s}$$

g) Cálculo das perdas de carga

Perda de carga distribuída (equação de Hazen-Williams):

$$h_{p,d} = 10,643 * \frac{Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * DI^{4,87}} = 10,643 * \frac{\left(\frac{32,77}{1000}\right)^{1,85} * 20,0}{130^{1,85} * \left(\frac{243,2}{1000}\right)^{4,87}} = 0,05 \text{ m}$$

Perda de carga localizada: $h_{p,l} = \frac{v * K^2}{2 * g}$

K = coeficiente de perda de carga localizada de acordo com a peça.

Tabela 5.5 – Somatório dos coeficientes de perda de carga localizada.

Quantidade	Peça	K	ΣK
2	Curva de 90°	0,4	0,8
3	Curva de 45°	0,2	0,6
1	Entrada normal	0,5	0,5
Total	-	-	2,09*

*foi considerado 10% de folga de segurança.

$$h_{p,l} = \frac{0,71 * 2,09^2}{2 * 9,81} = 0,05 \text{ m}$$

Perda de carga total: $h_p = h_{p,d} + h_{p,l} = 0,05 + 0,05 = 0,10 \text{ m}$

Perda de carga com coeficiente de segurança: $h'_p = h_p * 1,1 = 0,11 \text{ m}$

h) Determinação do nível de água

Nível de água mínimo saída CDV-2: $NA_{min,CDV2} = NA_{orificio} - h'_p = 1250,10 + 0,11 = 12450,22 \text{ m}$

Nível de água adotado na saída do CDV-2: $NA_{CDV2,saida} = 1250,50 \text{ m}$

Folga: $NA_{CDV2,saida} - NA_{min,CDV2} = 1250,50 - 1250,44 = 0,06 \text{ m}$

5.5 Perda de Carga na Caixa Distribuidora de Vazão 2

a) Dados de entrada

Vazão: $Q = 32,77 \text{ L/s}$;

Largura do vertedor: $L = 0,60 \text{ m}$;

Altura da mureta: $H = 0,35 \text{ m}$.

b) Cálculo da perda de carga

$$\text{Perda de carga: } h_p = \left(\frac{Q}{L^{1,84}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{\frac{32,77}{1000}}{0,6^{1,84}} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,10 \text{ m}$$

c) Determinação do nível de água

$$\begin{aligned} \text{Nível de água entrada do CDV-2: } NA_{CDV2, \text{entrada}} &= NA_{CDV2, \text{saida}} + h_p + H = \\ 1250,50 + 0,1 + 0,35 &= 1250,95 \text{ m} \end{aligned}$$

5.6 Perda de carga da CDV-2 até o Valo de Oxidação

a) Dados de entrada

Vazão: $Q = 65,54 \text{ L/s}$;

Comprimento: $L = 31,0 \text{ m}$;

Diâmetro: $D = 300 \text{ mm}$;

Espessura: $e = 7,20 \text{ mm}$;

Coeficiente de rugosidade (ferro fundido): $C = 130$.

b) Cálculos intermediários

$$\text{Diâmetro interno: } DI = D - e = 300 - 7,20 = 292,80 \text{ mm}$$

Velocidade:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{DI^2 \pi}{4}} = \frac{\left(\frac{65,54}{1000} \right)}{\frac{\left(\frac{292,80}{1000} \right)^2 \pi}{4}} = 0,97 \text{ m/s}$$

c) Cálculos das perdas de carga

Perda de carga distribuída (equação de Hazen-Williams):

$$h_{p,d} = 10,643 * \frac{Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * DI^{4,87}} = 10,643 * \frac{\left(\frac{65,54}{1000}\right)^{1,85} * 31,0}{130^{1,85} * \left(\frac{292,80}{1000}\right)^{4,87}} = 0,10 \text{ m}$$

Perda de carga localizada: $h_{p,l} = \frac{v * K^2}{2 * g}$

K = coeficiente de perda de carga localizada de acordo com a peça.

Tabela 5.6 – Somatório dos coeficientes de perda de carga localizada.

Quantidade	Peça	K	ΣK
3	Curva de 90°	0,4	1,2
1	Curva de 22,5°	0,1	0,1
1	Entrada normal em canalização	0,5	0,5
1	Registro de gaveta aberto	0,2	0,2
1	Saída de conduto livre	1	1
1	Tê, passagem direta	0,6	0,6
Total	-	-	3,96*

*foi considerado 10% de folga de segurança.

$$h_{p,l} = \frac{0,97 * 3,96^2}{2 * 9,81} = 0,19 \text{ m}$$

d) Determinação do nível de água

Nível de água mínimo na saída do valo de oxidação: $NA_{min,valo} = NA_{CDV2,entrada} + h_{p,d} + h_{p,l} = 1250,95 + 0,10 + 0,19 = 1251,24 \text{ m}$

Nível de água real do valo existente: $NA_{valo} = 1251,40 \text{ m}$

Verificação: $NA_{valo} > NA_{min,valo} \Rightarrow \text{OK}$

Folga: $NA_{valo} - NA_{min,valo} = 1251,40 - 1251,24 = 0,16 \text{ m}$

5.7 Perda de carga do Valo de Oxidação até CDV-1

a) Dados de entrada

Vazão: $Q = 67,70 \text{ L/s}$;

Comprimento: $L = 5,80 \text{ m}$;

Diâmetro: $D = 250 \text{ mm}$;

Espessura: $e = 6,80 \text{ mm}$;

Coeficiente de rugosidade (ferro fundido): $C = 130$.

b) Cálculos intermediários

Diâmetro interno: $DI = D - e = 250 - 6,80 = 243,20 \text{ mm}$

Velocidade:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{DI^2 \pi}{4}} = \frac{\left(\frac{67,70}{1000}\right)}{\frac{\left(\frac{243,20}{1000}\right)^2 \pi}{4}} = 1,46 \text{ m/s}$$

c) Cálculos das perdas de carga

Perda de carga distribuída (equação de Hazen-Williams):

$$h_{p,d} = 10,643 * \frac{Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * DI^{4,87}} = 10,643 * \frac{\left(\frac{67,70}{1000}\right)^{1,85} * 5,80}{130^{1,85} * \left(\frac{243,20}{1000}\right)^{4,87}} = 0,05 \text{ m}$$

Perda de carga localizada: $h_{p,l} = \frac{v * K^2}{2 * g}$

K = coeficiente de perda de carga localizada de acordo com a peça.

Tabela 5.7 - Somatório dos coeficientes de perda de carga localizada.

Quantidade	Peça	K	ΣK
1	Saída de conduto livre	1	1
1	Curva de 90°	0,4	0,4
1	Entrada normal	0,5	0,5
Total	-	-	2,09*

*foi considerado 10% de folga de segurança.

$$h_{p,l} = \frac{1,46 * 2,09^2}{2 * 9,81} = 0,23 \text{ m}$$

d) Determinação do nível de água

Nível de água mínimo na saída da CDV-1: $NA_{min,CDV1} = NA_{valo} + h_{p,d} + h_{p,l} = 1251,40 + 0,05 + 0,23 = 1251,68$

Nível de água adotado na CDV-1: $NA_{CDV1,saida} = 1252,00 \text{ m}$

Folga: $NA_{CDV1,saida} - NA_{min,CDV1} = 1252,00 - 1251,68 = 0,32 \text{ m}$

5.8 Perda de carga na Caixa Distribuidora de Vazão 1

a) Dados de entrada

Vazão: $Q = 107,56 \text{ L/s}$;

Largura do vertedor: $L = 0,70 \text{ m}$;

Altura da mureta: $H = 0,35 \text{ m}$.

b) Cálculo da perda de carga

$$\text{Perda de carga: } h_p = \left(\frac{Q}{L^{1,84}} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{\frac{107,56}{1000}}{0,7^{1,84}} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,19 \text{ m}$$

c) Determinação do nível de água

$$\begin{aligned} \text{Nível de água entrada do CDV-1: } NA_{CDV1,entrada} &= NA_{CDV1,saida} + h_p + H = \\ 1252,00 + 0,19 + 0,35 &= 1252,54 \text{ m} \end{aligned}$$

5.9 Perda de carga da CDV-1 até o Tanque Anóxico

a) Dados de entrada

Vazão: $Q = 107,56 \text{ L/s}$;

Comprimento: $L = 31,60 \text{ m}$;

Diâmetro: $D = 400 \text{ mm}$;

Espessura: $e = 8,10 \text{ mm}$;

Coeficiente de rugosidade (ferro fundido): $C = 130$.

d) Cálculos intermediários

Diâmetro interno: $DI = D - e = 400 - 8,10 = 391,90 \text{ mm}$

Velocidade:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{DI^2 \pi}{4}} = \frac{\left(\frac{107,56}{1000} \right)}{\frac{\left(\frac{391,90}{1000} \right)^2 \pi}{4}} = 0,89 \text{ m/s}$$

e) Cálculos das perdas de carga

Perda de carga distribuída (equação de Hazen-Williams):

$$h_{p,d} = 10,643 * \frac{Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * DI^{4,87}} = 10,643 * \frac{\left(\frac{107,56}{1000}\right)^{1,85} * 31,60}{130^{1,85} * \left(\frac{391,90}{1000}\right)^{4,87}} = 0,06 \text{ m}$$

Perda de carga localizada: $h_{p,l} = \frac{v * K^2}{2 * g}$

K = coeficiente de perda de carga localizada de acordo com a peça.

Tabela 5.8 – Somatório dos coeficientes de perda de carga localizada.

Quantidade	Peça	K	ΣK
1	Saída de conduto livre	1	1
3	Curva de 90°	0,4	1,2
0	Curva de 45°	0,2	0
2	Curva de 22,5°	0,1	0,2
1	Entrada normal	0,5	0,5
Total	-	-	3,19*

*foi considerado 10% de folga de segurança.

$$h_{p,l} = \frac{0,89 * 3,91^2}{2 * 9,81} = 0,13 \text{ m}$$

f) Determinação do nível de água

Nível de água mínimo no tanque anóxico: $NA_{min,TA} = NA_{CDV1,entrada} + h_{p,d} +$

$$h_{p,l} = 1252,54 + 0,06 + 0,13 = 1252,73$$

Nível de água adotado na saída do tanque anóxico: $NA_{TA,saida} = 1252,82 \text{ m}$

$$\text{Folga: } NA_{TA} - NA_{min,TA} = 1252,82 - 1252,73 = 0,09 \text{ m}$$

5.10 Perda de carga do Tanque Anóxico até o Tanque de Equalização

a) Dados de entrada

Vazão: $Q = 40,33 \text{ L/s}$;

Comprimento: $L = 14,70 \text{ m}$;

Diâmetro: $D = 300 \text{ mm}$;

Espessura: $e = 7,20 \text{ mm}$;

Coeficiente de rugosidade (ferro fundido): $C = 130$;

Altura útil do tanque de equalização: $H_{util} = 5,0 \text{ m}$.

b) Cálculos intermediários

Diâmetro interno: $DI = D - e = 300 - 7,20 = 292,80 \text{ mm}$

$$\text{Área: } A = \frac{\pi * DI^2}{4} = \frac{\pi * \left(\frac{292,80}{1000}\right)^2}{4} = 0,07 \text{ m}^2$$

Velocidade:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{DI^2 \pi}{4}} = \frac{\left(\frac{40,33}{1000}\right)}{\frac{\left(\frac{292,80}{1000}\right)^2 \pi}{4}} = 0,60 \text{ m/s}$$

Altura na saída afogado:

$$H = \frac{\left(\frac{Q}{0,61 * A}\right)^2}{2 * g} = \frac{\left(\frac{\frac{40,33}{1000}}{0,61 * 0,07}\right)^2}{2 * 9,81} = 0,05 \text{ m}$$

c) Cálculos das perdas de carga

Perda de carga distribuída (equação de Hazen-Williams):

$$h_{p,d} = 10,643 * \frac{Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * DI^{4,87}} = 10,643 * \frac{\left(\frac{40,33}{1000}\right)^{1,85} * 14,70}{130^{1,85} * \left(\frac{292,80}{1000}\right)^{4,87}} = 0,02 \text{ m}$$

Perda de carga localizada: $h_{p,l} = \frac{v * K^2}{2 * g}$

K = coeficiente de perda de carga localizada de acordo com a peça.

Tabela 5.9 – Somatório dos coeficientes de perda de carga localizada.

Quantidade	Peça	K	ΣK
1	Saída de conduto afogado	0,9	0,9
1	Controlador de Vazão	2,5	2,5
1	Registro de globo aberto	10	10
1	Registro de gaveta aberto	0,2	0,2
4	Curva de 90°	0,4	1,6

Quantidade	Peça	K	ΣK
2	Tê, passagem direta	0,6	1,2
1	Luva	0,1	0,1
1	Entrada normal	0,5	0,5
1	Curva de 22,5°	0,1	0,1
1	Registro de gaveta aberto	0,2	0,2
1	Entrada de borda	1	1
1	Tê, passagem direta	0,6	0,6
1	Saída de conduto afogado	0,9	0,9
Total	-	-	21,78*

*foi considerado 10% de folga de segurança.

$$h_{p,l} = \frac{0,60 * 21,78^2}{2 * 9,81} = 0,40 \text{ m}$$

d) Determinação do nível de água

Nível de água mínimo no tanque de equalização: $NA_{min,TE} = NA_{TA} + h_{p,d} + h_{p,l} + H_{util} = 1252,82 + 0,02 + 0,40 + 5,0 = 1258,24$

Nível de água adotado na saída do tanque de equalização: $NA_{TE} = 1258,32 \text{ m}$

Folga: $NA_{TE} - NA_{min,TE} = 1258,32 - 1258,24 = 0,08 \text{ m}$

5.11 Perda de carga do Tanque de Equalização até a Caixa de Gordura

a) Dados de entrada

Vazão: $Q = 53,50 \text{ L/s}$;

Comprimento: $L = 24,30 \text{ m}$;

Diâmetro: $D = 250 \text{ mm}$;

Espessura: $e = 6,80 \text{ mm}$;

Coeficiente de rugosidade (ferro fundido): $C = 130$;

b) Cálculos intermediários

Diâmetro interno: $DI = D - e = 250 - 6,80 = 243,20 \text{ mm}$

Velocidade:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{DI^2\pi}{4}} = \frac{\left(\frac{53,50}{1000}\right)}{\frac{\left(\frac{243,20}{1000}\right)^2 \pi}{4}} = 1,15 \text{ m/s}$$

c) Cálculos das perdas de carga

Perda de carga distribuída (equação de Hazen-Williams):

$$h_{p,d} = 10,643 * \frac{Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * DI^{4,87}} = 10,643 * \frac{\left(\frac{50,53}{1000}\right)^{1,85} * 14,70}{130^{1,85} * \left(\frac{243,20}{1000}\right)^{4,87}} = 0,14 \text{ m}$$

Perda de carga localizada: $h_{p,l} = \frac{v * K^2}{2 * g}$

K = coeficiente de perda de carga localizada de acordo com a peça.

Tabela 5.10 – Somatório dos coeficientes de perda de carga localizada.

Quantidade	Peça	K	ΣK
1	Saída de conduto livre	1	1
3	Curva de 90°	0,4	1,2
1	Luva	0,1	0,1
1	Tê, passagem direta	0,6	0,6
1	Curva de 22,5°	0,1	0,1
1	Registro de gaveta aberto	0,2	0,2
1	Entrada normal	0,5	0,5
Total	-	-	4,07*

*foi considerado 10% de folga de segurança.

$$h_{p,l} = \frac{1,15 * 4,07^2}{2 * 9,81} = 0,28 \text{ m}$$

d) Determinação do nível de água

Nível de água mínimo na caixa de gordura: $NA_{min,CG} = NA_{TE} + h_{p,d} + h_{p,l} = 1258,32 + 0,14 + 0,28 = 1258,73$

Nível de água na saída da caixa de gordura: $NA_{CG} = 1258,82 \text{ m}$

Folga: $NA_{CG} - NA_{min,CG} = 1258,82 - 1258,73 = 0,09 \text{ m}$

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12209**: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.

VON SPERLING, Marcos. **Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**: Lodos Ativados. 4. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2016.