# ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A EXPANSÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE DEODORO

**Ricardo de Araujo Cid da Silva**

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Eduardo Pacheco Jordão

Rio de Janeiro

Janeiro de 2010

**ESTUDO DE VIABILIDADE PARA A EXPANSÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE DEODORO**

Ricardo de Araujo Cid da Silva

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinado por:

_____

Dr. Eduardo Pacheco Jordão

_____

Dr. Isaac Volschan Junior

_____

Dr. Iene Christie Figueiredo

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JANEIRO DE 2010

Silva, Ricardo de Araujo Cid

Estudo de Viabilidade para a Expansão da Estação de Tratamento de Esgotos de Deodoro/ Ricardo de Araujo Cid da Silva. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2010.

X, 174 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Eduardo Pacheco Jordão

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Ambiental, 2010.

Referências Bibliográficas: p. 174

1. Tratamento de Esgotos Domésticos. I – Jordão, Eduardo Pacheco. II – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III – Título.

**Agradecimentos**

Aos meus pais, Haroldo e Eliete, por terem me proporcionado a base necessária e o apoio durante toda a faculdade. Ao meu irmão, Junior, pela amizade sincera, conselhos sensatos e longas conversas. Ao meu padrinho, Gilberto, pelos momentos de descontração e generosidade. Aos meus avós maternos, Jorge e Luiza, pelo carinho e afeto durante os anos de convivência. À minha avó paterna, Deolinda, por ser uma pessoa tão alegre e positiva. À minha querida companheira, Renata, por me ouvir pacientemente e sempre me confortar com palavras de incentivo, espero retribuir todo o amor recebido. Aos grandes amigos de faculdade, Adriano, Bernardo, Daniel, Felipe, José, Lucas, Renan, Rodrigo, Thiago, Ana Beatriz, Lívia, Lana e Licia por terem tornado nossa graduação tão agradável e inesquecível, para conviver novamente tanto tempo com estes nobres amigos voltaria sem hesito ao primeiro período. Ao professor Eduardo Pacheco Jordão pelo inestimável auxílio neste projeto e por estar sempre disposto a contribuir para minha formação. É uma honra ter a orientação de uma pessoa tão carismática e importante para o saneamento do Brasil.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Estudo de Viabilidade para a Expansão da Estação de Tratamento de Esgotos de Deodoro

Ricardo de Araujo Cid da Silva

Janeiro/2010

Orientador: Eduardo Pacheco Jordão

Curso: Engenharia Ambiental

Em 2007, através de convênio assinado com o Governo do Estado, a Prefeitura do Rio assumiu a gestão do saneamento da Área de Planejamento 5 do Município (Zona Oeste). A Secretaria Municipal de Obras, através da Rio-Águas, tornou-se, então, responsável pela operação, expansão e aperfeiçoamento dos serviços de esgotamento sanitário nestas localidades e solicitou um anteprojeto para que a ETE Deodoro seja capaz de atender uma vazão média de esgoto de cerca de 500 a 1.000 L/s.

O presente estudo tem por finalidade apresentar variadas possibilidades para que a expansão da Estação de Tratamento de Esgotos de Deodoro seja atendida levando-se em consideração a disponibilidade de área e diferentes tecnologias comprovadamente eficientes para o tratamento de esgotos domésticos. Esta expansão da capacidade da ETE trará impactos positivos para a comunidade do entorno como a melhoria da qualidade do corpo receptor e a melhoria das condições sanitárias da região.

*Palavras-chave:* Tratamento de esgotos domésticos, Saneamento Ambiental, ETE, Deodoro.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Viability Study for Expansion of sewage treatment resort of Deodoro

Ricardo de Araujo Cid da Silva

Janeiro/2010

Advisor: Eduardo Pacheco Jordão

Course: Environmental Engineering

In 2007, through an agreement signed with the State Government, the City of Rio took over the management of sanitation in the Planning Area 5 of the city (West Zone). The Municipal Works, through the Rio-Águas, became then responsible for the operation, expansion and improvement of sanitation services in these locations, and requested a draft for the sewage treatment resort be able to fulfill an average flow of sewage of about 500 to 1,000 L / s.

This study aims to offer various possibilities for the expansion of the sewage treatment resort of Deodoro is met by taking into account the availability of different technologies and field proven effective for the treatment of domestic sewage. This expansion will bring positive impacts to the surrounding community and to improve the quality of the receiving body and the improvement of sanitary conditions in the region.

*Keywords*: Domestic sewage, Sanitation, Deodoro.

# ÍNDICE

1. Introdução ..... 1

2. Objetivos ..... 4

3. Atual sistema de tratamento de esgotos da ETE Deodoro ..... 7

4. Hipóteses consideradas para expansão da ETE ..... 16

5. Hipótese 1 – Tratamento primário convencional seguido de lodos ativados ..... 19

5.1. Q = 1.000 L/s ..... 28

5.2. Q = 750 L/s ..... 45

5.3. Q = 500 L/s ..... 59

5.4. Tabela comparativa das diferentes vazões ..... 73

5.5. Layout das diferentes vazões ..... 74

6. Hipótese 2 – Tratamento primário quimicamente assistido (CEPT) seguido de lodos ativados ..... 77

6.1. Q = 1.000 L/s ..... 80

6.2. Q = 750 L/s ..... 91

6.3. Q = 500 L/s ..... 102

6.4. Tabela comparativa das diferentes vazões ..... 113

6.5. Layout das diferentes vazões ..... 114

7. Hipótese 3 – Processo de lodos ativados utilizado como pós-tratamento de reatores anaeróbios (UASB) ..... 117

7.1. Q = 1.000 L/s ..... 121

7.2. Q = 750 L/s ..... 136

7.3. Q = 500 L/s ..... 149

7.4. Tabela comparativa das diferentes vazões ..... 163

7.5. Layout das diferentes vazões ..... 164

8. Tabelas comparativas ..... 167

9. Considerações Finais ..... 171

10. Referências Bibliográficas ..... 174

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Divisão do município Rio de Janeiro por Áreas de Planejamento ..... 4
Figura 2: Mapa das bacias do município do Rio de Janeiro ..... 5
Figura 3: Foto aérea da ETE Deodoro ..... 5
Figura 4: ETE Deodoro (Fonte: Google Earth) ..... 6
Figura 5: Sistema de gradeamento ..... 9
Figura 6: Sistema de gradeamento ..... 9
Figura 7: Painel de controle fora de operação ..... 10
Figura 8: Prédio administrativo da ETE ..... 10
Figura 9: Casa dos compressores de ar e tubulações afluentes aos tanques ..... 11
Figura 10: Digestor e tanque de aeração ..... 11
Figura 11: Compartimentos dos tanques ..... 12
Figura 12: Esquema mostrando os compartimentos dos tanques através de vista superior (A – Tanque de aeração; B – Decantador; C – Digestão do lodo) ..... 12
Figura 13: Esgoto afluente ao tanque ..... 13
Figura 14: Esgoto retornado ao tanque de aeração ..... 13
Figura 15: Raspador de lodo (decantador) ..... 14
Figura 16: Difusores de ar ..... 14
Figura 17: Área disponível para expansão ..... 15
Figura 18: Fluxograma do sistema de tratamento convencional (Fonte - Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, 2001 - PROSAB) ..... 16
Figura 19: Fluxograma Típico do CEPT (Fonte - 4ª edição do livro Tratamento de Esgotos Domésticos de autoria de Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessoa) ..... 17
Figura 20: Fluxograma de um sistema composto por reator UASB seguido por lodos ativados (Fonte - Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, 2001 - PROSAB) ..... 18
Figura 21: Fluxograma da hipótese 1 ..... 19
Figura 22: Esquema de um decantador circular (Fonte - Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, 2001 - PROSAB) ..... 21
Figura 23: Esquema de um decantador retangular (Fonte - Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, 2001 - PROSAB) ..... 22
Figura 24: Layout original da ETE Deodoro ..... 74
Figura 25: Hipótese 1 (convencional) - Vazão de 1.000 L/s ..... 75
Figura 26: Hipótese 1 (convencional) – Vazão de 750 L/s ..... 75
Figura 27: Hipótese 1 (convencional) - Vazão de 500 L/s ..... 76

Figura 28: Fluxograma da hipótese 2 ..... 77
Figura 29: Layout original da ETE Deodoro ..... 114
Figura 30: Hipótese 2 (CEPT) - Vazão de 1.000 L/s ..... 115
Figura 31: Hipótese 2 (CEPT) - Vazão de 750 L/s ..... 115
Figura 32: Hipótese 2 (CEPT) - Vazão de 500 L/s ..... 116
Figura 33: Fluxograma da hipótese 3 ..... 117
Figura 34: Layout original da ETE Deodoro ..... 164
Figura 35: Hipótese 3 (UASB) - Vazão de 1.000 L/s. Insuficiência de espaço físico para alocação de 02 reatores UASB e 03 decantadores secundários ..... 165
Figura 36: Hipótese 3 (UASB) - Vazão de 750 L/s ..... 165
Figura 37: Hipótese 3 (UASB) - Vazão de 500 L/s ..... 166

# ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento de caixa de areia .. 29
Tabela 2: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento de decantadores primários convencionais ..... 30
Tabela 3: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento do processo convencional de lodos ativados ..... 33
Tabela 4: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento de decantadores secundários após processo convencional de lodos ativados ..... 35
Tabela 5: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento de adensadores por gravidade ..... 39
Tabela 6: Hipótese 1 - Tratamento convencional ..... 73
Tabela 7: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento do tratamento primário quimicamente assistido (CEPT) ..... 81
Tabela 8: Hipótese 2 – CEPT ..... 113
Tabela 9: Parâmetros de projeto do sistema de lodos ativados e decantadores secundários como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios (esgotos domésticos) ..... 121
Tabela 10: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento de reatores UASB ..... 123
Tabela 11: Hipótese 3 - UASB ..... 163
Tabela 12: Diferentes hipóteses para vazão de 1.000 L/s ..... 167
Tabela 13: Diferentes hipóteses para vazão de 750 L/s ..... 168
Tabela 14: Diferentes hipóteses para vazão de 500 L/s ..... 169
Tabela 15: Resumo para vazão de 1.000 L/s ..... 170
Tabela 16: Resumo para vazão de 750 L/s ..... 170
Tabela 17: Resumo para vazão de 500 L/s ..... 170

## 1. Introdução

A palavra esgoto costumava ser usada para definir tanto a tubulação condutora das águas servidas de uma comunidade, como também o próprio líquido que flui por estas canalizações. Hoje, este termo é usado quase que apenas para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de utilidade públicas, de áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais e outros efluentes sanitários (JORDÂO & PESSÔA, 2005).

Os esgotos costumam ser classificados em dois grupos principais: os esgotos sanitários e os industriais. Os primeiros são constituídos essencialmente de despejos domésticos, uma parcela de águas pluviais, águas de infiltração e eventualmente uma parcela não significativa de despejos industriais, tendo características bem definidas (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Os esgotos domésticos ou domiciliares provêm principalmente de residências, edifícios comerciais, instituições ou quaisquer edificações que contenham instalações de banheiros, lavanderias, cozinhas, ou qualquer dispositivo de utilização da água para fins domésticos. Compõem-se essencialmente da água de banho, urina, fezes, papel, restos de comida, sabão, detergentes, águas de lavagem (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

É importante conhecer os esgotos, tanto no que diz respeito à sua composição quantitativa quanto à sua composição qualitativa. A quantidade de esgoto sanitário produzido diariamente pode variar bastante não só de uma comunidade para outra, como também dentro de uma mesma comunidade em função de (BRAGA, 2005):

- hábitos e condições socioeconômicas da população;
- existência ou não de ligações clandestinas de águas pluviais na rede de esgoto;
- construção, estado de conservação e manutenção das redes de esgoto, que implicam uma maior ou menor infiltração;
- clima;
- custo e medição da água distribuída;
- pressão e qualidade da água distribuída na rede de água;
- estado de conservação dos aparelhos sanitários e vazamentos de torneiras.

Além das variações quantitativas, as características dos esgotos sanitários variam qualitativamente em função da composição da água de abastecimento e dos

diversos usos dessa água. De um modo geral, podemos dizer que, não ocorrendo grande contribuição de despejos industriais, os esgotos sanitários constituem-se, aproximadamente, de 99,9 % de líquido e 0,1% de sólido, em peso (BRAGA, 2005).

O líquido em si nada mais é do que um meio de transporte de inúmeras substâncias orgânicas, inorgânicas e microorganismos eliminados pelo homem diariamente. Os sólidos são responsáveis pela deterioração da qualidade do corpo de água que recebe os esgotos e, portanto, seu conhecimento revela-se muito importante para a determinação de qualquer sistema de tratamento (BRAGA, 2005).

É muito grande o número de substâncias que compõem os esgotos sanitários. Assim, para caracterização do esgoto, utilizam-se determinações físicas, químicas e biológicas, cujas grandezas (valores) permitem conhecer o seu grau de poluição e, consequentemente, dimensionar e medir a eficiência das estações de tratamento de esgotos (BRAGA, 2005).

Os esgotos sanitários contêm, ainda, inúmeros organismos vivos, tais como bactérias, vírus, vermes e protozoários que, em sua maioria, são liberados junto com os dejetos humanos. Alguns são de suma importância no tratamento de águas residuárias, pois decompõem a matéria orgânica complexa, transformando-a em compostos orgânicos mais simples e estáveis; outros, denominados organismos patogênicos, são causadores de doenças (BRAGA, 2005).

A disposição adequada dos esgotos é essencial para a proteção da saúde pública. Muitas infecções podem ser transmitidas de uma pessoa doente para outra sadia por diferentes caminhos, envolvendo as excreções humanas. Os esgotos podem contaminar a água, os alimentos, os utensílios domésticos, as mãos e o solo. Epidemias de febre tifóide, cólera, disenterias, hepatite infecciosa e inúmeros casos de verminoses – algumas das doenças que podem ser transmitidas pela disposição inadequada dos esgotos – são responsáveis por elevados índices de mortalidade em países em desenvolvimento. As crianças são suas vítimas mais freqüentes, uma vez que a associação dessas doenças à subnutrição é, geralmente, fatal (BRAGA, 2005).

Outra importante razão para tratar os esgotos é a prevenção do meio ambiente. As substâncias presentes nos esgotos exercem ação deletéria nos corpos de água: a decomposição da matéria orgânica pode ocasionar a exaustão do oxigênio dissolvido, causando morte de peixes e outros organismos aquáticos, escurecimento da água e aparecimento de maus odores; é possível que os detergentes presentes nos esgotos provoquem a formação de espumas em pontos de agitação da massa líquida; defensivos agrícolas determinam a morte de peixes e outros animais. Os nutrientes podem ocasionar a eutrofização dos corpos receptores, através do crescimento

acelerado de algas e outros vegetais aquáticos que conferem odor e gosto desagradáveis (BRAGA, 2005).

De acordo com Jordão & Pessôa (2005), a nova estação de tratamento incorpora as preocupações da sociedade com os problemas de natureza ambiental ou ecológica, com os problemas de saúde pública, com os problemas de natureza estética e com as interferências do lançamento de esgotos nos usos preponderantes, ou benéficos, dos corpos d'água. Não obstante, a escolha da ETE não se restringe apenas às exigências ambientais, de saúde pública, estéticas ou legais. Considera igualmente exigências tecnológicas, exigências da economia, e mesmo os anseios da comunidade.

## 2. Objetivos

Em fevereiro de 2007, através de convênio assinado com o Governo do Estado, a Prefeitura do Rio assumiu a gestão do saneamento da Área de Planejamento 5 do Município. A Secretaria Municipal de Obras, através da Rio-Águas, tornou-se, então, responsável pela operação, expansão e aperfeiçoamento dos serviços de esgotamento sanitário nestas localidades (decreto "P", nº 313, de 27 de fevereiro de 2007).

O Rio de Janeiro é dividido em 5 áreas de planejamento e a 5ª área a que se refere o convênio refere-se à Zona Oeste, sendo formada por 20 bairros e 5 regiões administrativas, correspondendo a 48,4% do território do Município e abrigando cerca de 26,6% da população carioca, 1.556.505 habitantes de acordo com o Censo realizado no ano 2.000.

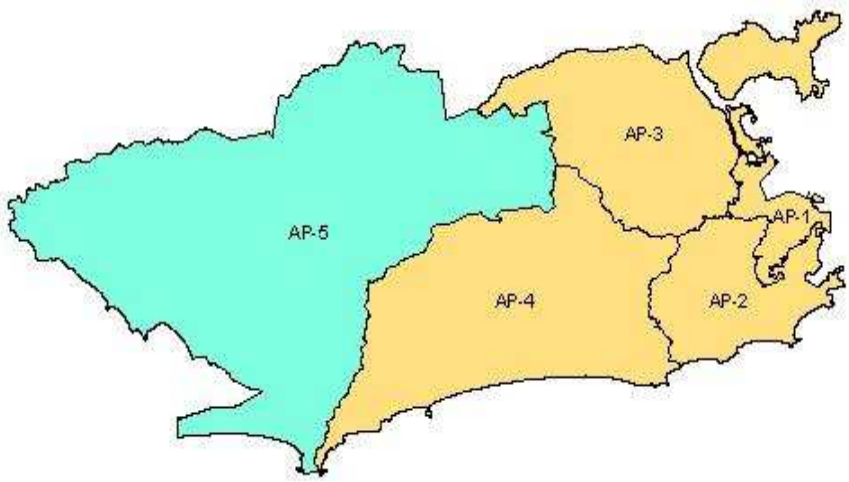


Figura 1: Divisão do município Rio de Janeiro por Áreas de Planejamento

Os bairros integrantes da AP-5 sob responsabilidade da Rio-Águas são:

- AP-5.1: Deodoro, Campos dos Afonsos, Vila Militar, Magalhães Bastos, Jardim Sulacap, Padre Miguel, Bangu e Senador Camará.

- AP-5.2 e AP-5.3: Santíssimo, Senador Vasconcelos, Campo Grande, Inhoaíba, Cosmos, Paciência, Santa Cruz, Sepetiba, Pedra de Guaratiba, Guaratiba, Barra de Guaratiba.

A Área de Planejamento 5 tem a maior parte de seu território na bacia hidrográfica da Baía de Sepetiba e o restante na Bacia Hidrográfica da Baía de Guanabara.

Figura 2: Mapa das bacias do município do Rio de Janeiro

A região não é dotada de sistema separador absoluto compatível com a ocupação urbana e os rios recebem esgotos não tratados e, por conseqüência, poluem as Baías de Sepetiba e Guanabara, além de seus próprios cursos d'água. As estações de tratamento existentes são de pequena capacidade, ou muito antigas, destacando-se a ETE Deodoro (aeração prolongada) e a ETE Realengo (antigo Tanque Imhoff).

Dentro deste contexto, a Rio-Águas solicitou um anteprojeto para que a ETE Deodoro (situada na Avenida Nazaré, nº 1 – Deodoro) seja capaz de atender uma vazão média de esgoto de cerca de 500 a 1.000 L/s.

Figura 3: Foto aérea da ETE Deodoro

Em 15 de maio de 2009, foi realizada uma visita com a presença de técnicos da Rio-Águas com o intuito de conhecer melhor a estação de tratamento e esclarecer os limites do terreno destinado a abrigar as novas unidades que serão implementadas na expansão da ETE. A visita foi de grande serventia, pois foi possível constatar, por exemplo, que para otimizar o terreno disponível os decantadores primários deveriam ser retangulares em vez de circulares, como planejado inicialmente.

Figura 4: ETE Deodoro (Fonte: Google Earth)

Desta forma o presente estudo tem por finalidade apresentar variadas possibilidades para que a expansão da ETE seja atendida levando-se em consideração a disponibilidade de área e diferentes tecnologias comprovadamente eficientes para o tratamento de esgotos domésticos. Esta expansão da capacidade da ETE trará impactos positivos para a comunidade do entorno como a melhoria da qualidade do corpo receptor e a melhoria das condições sanitárias da região.

## 3. Atual sistema de tratamento de esgotos da ETE Deodoro

A enorme vantagem de se poder projetar uma estação de tratamento de esgotos sem prévia decantação e sem digestão anaeróbia fez com que os fabricantes se voltassem para o projeto e fabricação de pequenas unidades de tratamento, que reunissem na mesma câmara ou no mesmo conjunto, o tanque de aeração e o de decantação final, seguido ou não de outro tanque de aeração para digestão aeróbia, de acordo com as necessidades. Por reunirem de modo tão íntimo estas diferentes unidades, foram chamadas de "estações compactas de tratamento".

Entretanto existe uma limitação natural ao uso destas estações e geralmente seu emprego está limitado a uma faixa de população equivalente geralmente menor do que 50.000 pessoas.

O atual sistema de tratamento da ETE Deodoro é um exemplo prático de estação compacta, tendo o tratamento preliminar composto por gradeamento (três grades médias instaladas em condições muito ruins), mas sem a presença de caixa de areia, seguido de 6 tanques fabricados em aço, operando em paralelo, com diâmetro de 30 metros e altura útil de 4,5 metros, com uma repartição típica de ETEs compactas onde coexistem tanque de aeração, decantador secundário e digestor aeróbio do lodo.

A aeração se faz por meio de ar difuso, sendo os compressores instalados em uma "casa de compressores". Todo o equipamento, inclusive as estruturas em aço, são de fabricação da empresa Smith and Lovel, tendo as 6 unidades sido importadas da Inglaterra e montadas ainda no fim da década de 60 e início da de 70.

Cada tanque é capaz de receber atualmente uma vazão de 35 L/s e, teoricamente, a ETE possuiria uma capacidade de 210 L/s. Esta capacidade não é atingida na prática porque existem tanques com problemas estruturais e incapacitados de receberem e tratarem adequadamente o esgoto.

O esgoto afluente à estação é encaminhado para o tratamento preliminar composto pelo gradeamento, ao passar desta etapa o esgoto é direcionado diretamente aos tanques operando em paralelo e mencionados anteriormente. Ao chegar aos tanques o esgoto passa primeiramente pelo tanque de aeração (aeração prolongada), em seguida é direcionado para a decantação e o lodo sedimentado é retornado para o tanque de aeração inicial e o excesso enviado ao digestor aeróbio.

O tanque de aeração funciona na modalidade de aeração prolongada que é uma variação do processo de lodos ativados. Esta modalidade é comum em estações compactas de tratamento e algumas vezes em estações de tratamento de porte médio em que sua utilização se mostre econômica. A aeração prolongada caracteriza-se por

obrigar um contato por tempo suficientemente longo dos microorganismos (lodos ativados) com quantidades relativamente baixas de substrato, de maneira a se obter uma alta eficiência do processo e uma oxidação na fase endógena, até que o lodo residual apresente características de boa sedimentação, boa filtrabilidade e nenhum odor.

Na aeração prolongada o tempo de aeração é bastante prolongado (variando de 12 até 24 horas) e a idade do lodo é igualmente elevada (situada na faixa de 18 até 40 dias). Com referência à concentração de SSTA, mantém-se normalmente uma concentração acima de 4.000 mg/L e menor do que 8.000 mg/L, com uma recirculação de lodo de 100%. Em relação à carga de DBO e quantidade de SSTA a variação é de 0,05 a 0,10 kg DBO/kg SSTA.dia.

O lodo é estabilizado por digestão aeróbia em um dos compartimentos dos tanques e, em seguida, enviado a um pequeno leito de secagem que se encontra praticamente inoperante. A digestão aeróbia é praticada prioritariamente no tratamento do excesso de lodo das estações de lodos ativados ou de aeração prolongada, como neste caso. O fator econômico favorece a digestão aeróbia em relação aos custos de implantação da digestão anaeróbia, mas em relação aos custos de operação (energia) ocorre o inverso. Da digestão aeróbia obtém-se um lodo digerido estável, praticamente sem cheiro e com maior poder fertilizante, mas com piores características de secagem. O processo é muito semelhante ao de lodos ativados, caracterizando-se por uma degradação da matéria orgânica em meio aeróbio com alimentação de ar. Na digestão aeróbia o alimento disponível já está esgotado e os microorganismos começam a consumir seu próprio protoplasma como fonte de energia, gerando uma autodestruição das células dos organismos.

Na digestão aeróbia o tempo de detenção hidráulica influencia na redução de sólidos voláteis e a experiência mostra que além de 15 dias pouca melhoria é obtida. A redução de SSV também é influenciada pela temperatura que é recomendada como estando na ordem de 20º C. Segundo a NBR 12.209 a taxa de aplicação de SSV deve ser igual ou inferior a 3,5 kg/$m^3$.d, admite-se obter uma destruição máxima de 40% de SSV, a concentração de lodo no digestor deve ser limitada a 25000 mg/L e o equipamento de aeração deve manter uma concentração de oxigênio dissolvido igual ou superior a 2 mg$O_2$/L no interior do digestor.

Sabe-se que o esgoto afluente possui uma DBO e SST de aproximadamente 200 mg/L, segundo informado na visita. Os parâmetros de projeto e operação da estação de tratamento, bem como a eficiência do sistema de tratamento, não foram informados pelo corpo técnico da Rio-Águas.

Para melhor ilustrar a estação e suas unidades seguem as fotos tiradas durante a visita técnica:

Figura 5: Sistema de gradeamento

Figura 6: Sistema de gradeamento

Figura 7: Painel de controle fora de operação

Figura 8: Prédio administrativo da ETE

Figura 9: Casa dos compressores de ar e tubulações afluentes aos tanques

Figura 10: Digestor e tanque de aeração

Figura 11: Compartimentos dos tanques

Para melhor compreensão do funcionamento dos tanques existentes segue um desenho esquemático de seus compartimentos:

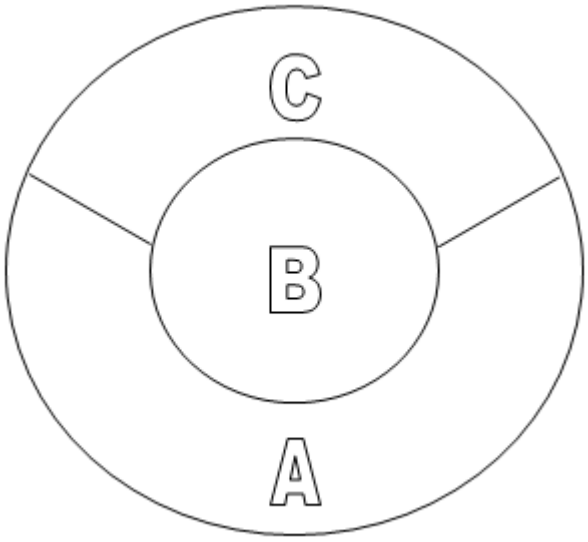


Figura 12: Esquema mostrando os compartimentos dos tanques através de vista superior (A – Tanque de aeração; B – Decantador; C – Digestão do lodo)

Figura 13: Esgoto afluente ao tanque

Figura 14: Esgoto retornado ao tanque de aeração

Figura 15: Raspador de lodo (decantador)

Figura 16: Difusores de ar

Figura 17: Área disponível para expansão

## 4. Hipóteses consideradas para expansão da ETE

Para atender ao projeto de expansão da ETE serão formuladas três diferentes hipóteses considerando-se variadas vazões (1.000 L/s, 750 L/s e 500 L/s).

Estas hipóteses consideram em primeiro lugar a facilidade de aproveitamento das atuais unidades em aço, seja como novos tanques de aeração ou como novos decantadores secundários, no processo de lodos ativados. Neste caso o processo de lodos ativados seria usado como processo convencional (hipótese 1), ou como pós-tratamento de um processo CEPT (hipótese 2), ou pós-tratamento de um processo anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (hipótese 3). Estas são possibilidades muito práticas para as condições de aproveitamento da ETE existente, estando a tecnologia bem desenvolvida e aplicada no país. Outras opções possíveis tecnologicamente não foram consideradas por envolver modificações muito maiores nos atuais tanques, para a vazão de projeto, como seria o caso de processos biológicos com meio suporte.

Na primeira hipótese a ETE será transformada em uma unidade de tratamento de esgotos convencional e existirá a necessidade de construir caixas de areia, decantadores primários e secundários e sistema de tratamento de lodo (adensadores, centrífugas de adensamento e desidratação e digestores anaeróbios). Além disso, os tanques existentes serão utilizados no processo convencional de lodos ativados e na decantação secundária. Esta hipótese apresenta como principal vantagem comparativa a simplicidade e menores custos no processo de decantação primária em relação ao tratamento quimicamente assistido (CEPT, considerado na segunda hipótese).

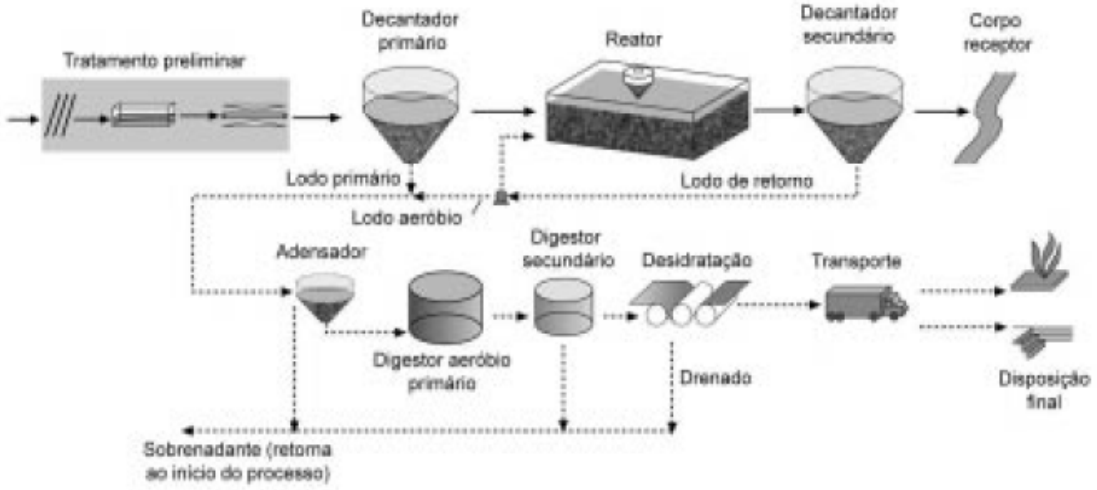


Figura 18: Fluxograma do sistema de tratamento convencional (Fonte - Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, 2001 - PROSAB)

Na segunda hipótese se fará opção pelo tratamento primário sendo quimicamente assistido (CEPT) seguido do processo de lodos ativados convencional, e o lodo gerado na ETE será estabilizado quimicamente, após etapa de adensamento e desidratação, através da adição de cal. Os tanques existentes se transformarão em tanques de aeração para o processo convencional de lodos ativados e, também, serão utilizados na decantação secundária como feito na primeira hipótese. Em relação aos decantadores primários se terá uma menor área ocupada com uma eficiência maior do que aquela apresentada na primeira hipótese. A estabilização química não necessita da construção de digestores de lodo, o que implica em uma redução na área necessária para implantação da fase sólida, devendo-se, no entanto, ter um gasto contínuo com a compra da cal.

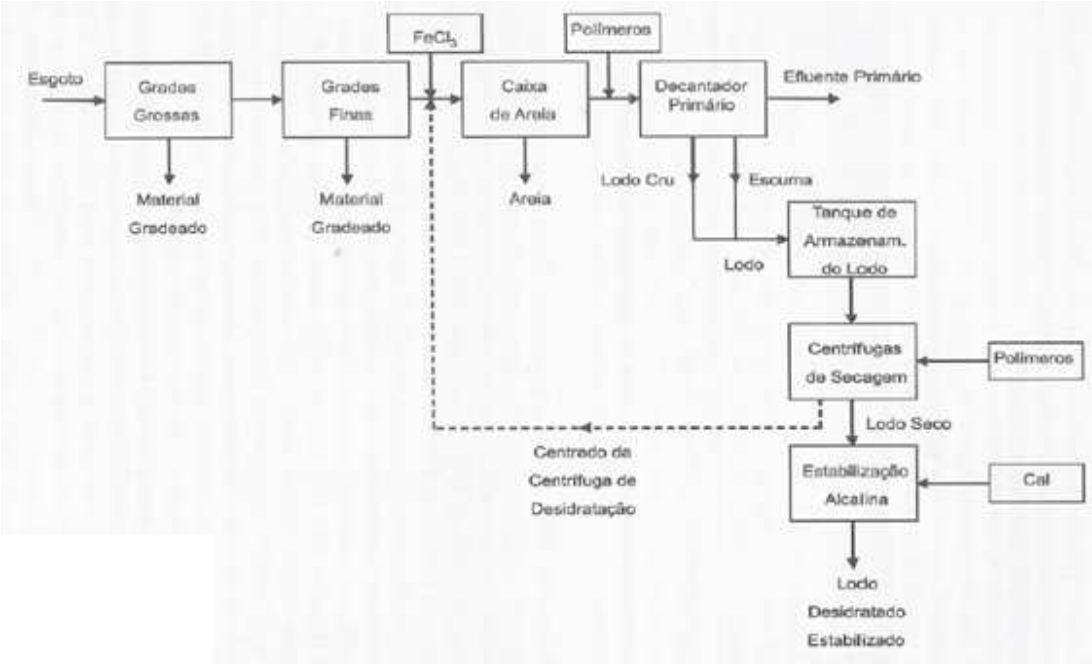


Figura 19: Fluxograma Típico do CEPT (Fonte - 4ª edição do livro Tratamento de Esgotos Domésticos de autoria de Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessoa)

Na terceira hipótese se utilizará reatores UASB como tratamento primário e não serão necessárias unidades de adensamento, de digestores anaeróbios e adição de cal ao lodo gerado porque este lodo será estabilizado nestes reatores. Os tanques existentes se transformarão em tanques de aeração para o processo de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios e, também, serão utilizados na decantação secundária como feito nas hipóteses anteriores. O lodo aeróbio excedente gerado no processo de lodos ativados, ainda não estabilizado, será retornado aos reatores UASB, onde sofrerá digestão juntamente com o lodo anaeróbio (gerado nos próprios reatores). O lodo misto retirado do reator anaeróbio, digerido e

com concentração da ordem de 3 a 5% possui ainda ótimas características para desidratação.

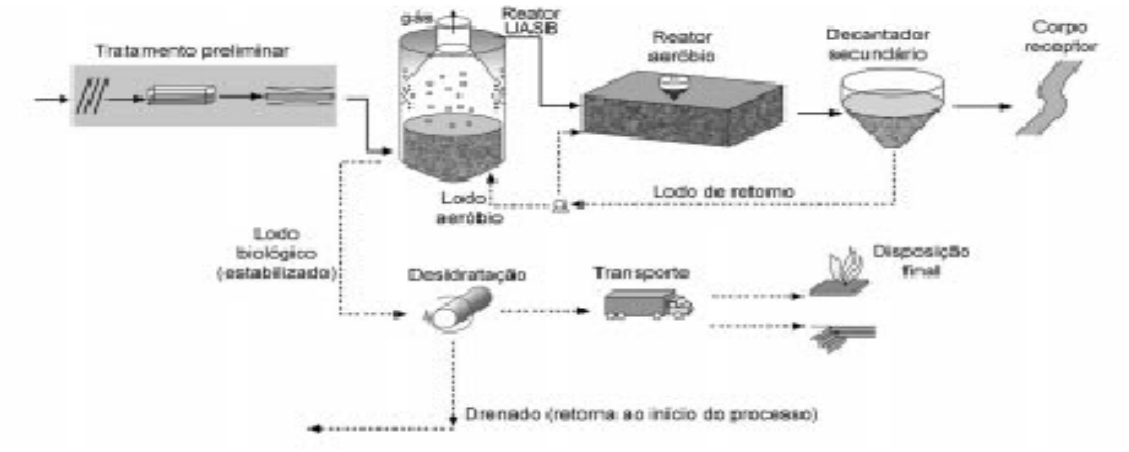


Figura 20: Fluxograma de um sistema composto por reator UASB seguido por lodos ativados (Fonte - Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, 2001 - PROSAB)

## 5. Hipótese 1 – Tratamento primário convencional seguido de lodos ativados

Figura 21: Fluxograma da hipótese 1

### Gradeamento

As grades atualmente existentes são do tipo de cabo, com espaçamento médio, pouco eficientes, acham-se corroídas, e deverão ser substituídas. As novas grades devem ter espaçamento fino, de 6 a 10 mm, do tipo escalar, ou do tipo cremalheira. Sendo a mesma solução para qualquer hipótese, seu dimensionamento deverá ser feito por ocasião do desenvolvimento do projeto.

### Caixa de areia

As remoções do material grosseiro e da areia fazem parte do denominado Tratamento Preliminar, o qual exerce a função de pré-condicionar o esgoto bruto favoravelmente aos processos de tratamento subseqüentes (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Basicamente, a remoção de areia, ou desarenação, tem por finalidade eliminar ou abrandar os efeitos adversos ao funcionamento das partes componentes das instalações a jusante (abrasão e/ou obstrução), facilitar o manuseio e transporte da fase líquida e sólida ao longo das unidades da ETE, bem como abrandar impactos nos corpos receptores, principalmente devido a assoreamento (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

A unidade de remoção de areia é comumente chamada de Caixa de Areia ou Desarenador e deve ser projetada para realizar as seguintes operações:

- Retenção de areia com características, qualitativa e quantitativa, indesejáveis ao efluente ou ao corpo receptor;
- Armazenamento do material retido durante o período entre limpezas;
- Remoção e transferência do material retido e armazenado para dispositivos de transporte para o destino final, dotando de condições adequadas o efluente líquido para as unidades subseqüentes.

De acordo com a Revisão da NBR 12.209 os seguintes parâmetros devem ser considerados no dimensionamento das caixas de areia:

- O desarenador deve ser projetado para remoção mínima de 95% em massa das partículas com diâmetro equivalente igual ou superior a 0,2 mm e densidade de 2,65;
- A vazão de dimensionamento do desarenador deve ser a vazão máxima afluente à unidade;
- O desarenador poderá ser de limpeza manual ou mecanizada; deve ter limpeza mecanizada quando a vazão de dimensionamento for igual ou superior a 100 L/s;
- No caso de desarenador de limpeza mecanizada, devem ser previstas pelo menos duas unidades instaladas; se uma delas for reserva, poderá ser unidade não mecanizada;
- Para todos os tipos de desarenador, exceto desarenador aerado, a taxa de escoamento superficial deve estar compreendida entre 600 a 1300 $m^3/m^2.d$; na ausência de decantadores primários, recomenda-se o limite superior de 1000 $m^3/m^2.d$.

Esta solução será idêntica para todas as hipóteses.

**<u>Tratamento primário convencional</u>**

Os decantadores primários são unidades de tratamento primário que recebem os esgotos provenientes das unidades de tratamento preliminar (gradeamento e desarenador) e propiciam condições de tranqüilidade necessárias à sedimentação dos sólidos orgânicos e inorgânicos através da ação da gravidade. Operando em boas condições espera-se uma remoção de sólidos em suspensão na faixa de 40 a 60% e DBO de 25 a 35% (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Os decantadores (tanto primários como secundários) podem ser de formato circular ou retangular e listamos as principais vantagens e desvantagens de cada um destes formatos.

Vantagens dos decantadores circulares:

- Lodo sedimentado é removido em menos tempo;
- Sistema de raspagem de lodo é mais simples;
- Manutenção facilitada.

Desvantagens dos decantadores circulares:

- Maior propensão a curtos-circuitos;
- Distribuição não uniforme das cargas de lodo no mecanismo coletor;
- Maior facilidade de arraste do lodo com o efluente.

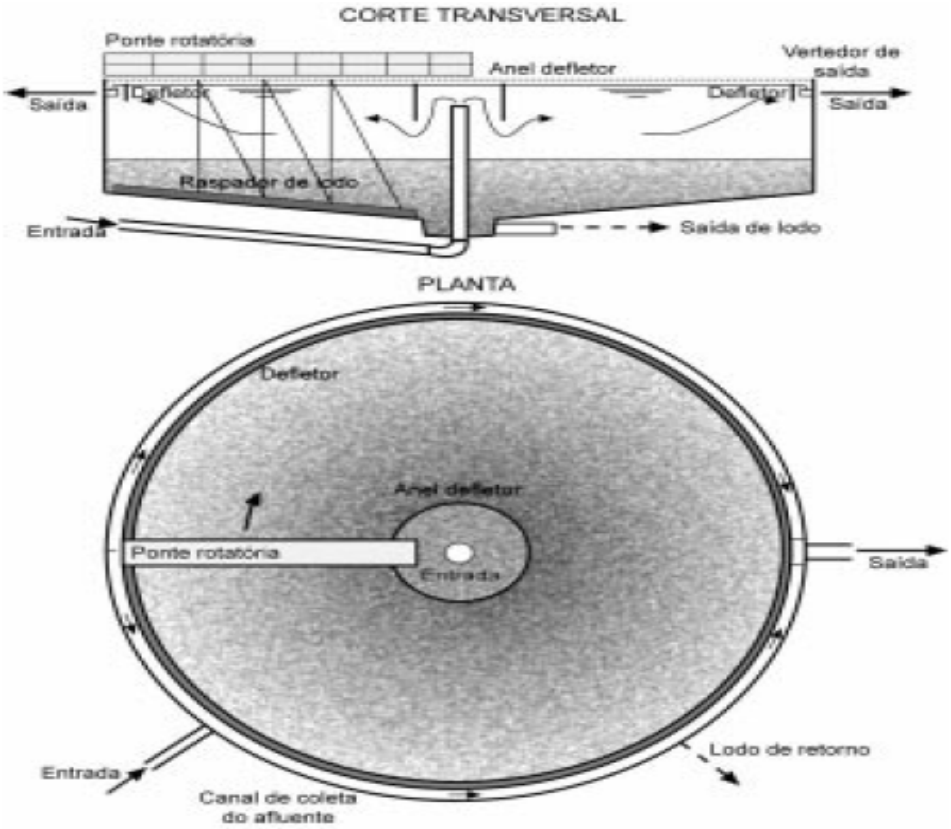


Figura 22: Esquema de um decantador circular (Fonte - Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, 2001 - PROSAB)

Vantagens dos decantadores retangulares:

- Menor área ocupada;
- Menor possibilidade de curtos-circuitos;

- Menor facilidade de arraste do lodo já sedimentado;
- Melhor distribuição da carga de lodo sobre as lâminas raspadoras;
- Melhor adensamento do lodo no próprio decantador.

Desvantagens dos decantadores retangulares:

- Maior tempo de detenção para o lodo sedimentado;
- Menor eficiência nos casos de carga de sólidos muito elevada.

A Figura a seguir mostra um desenho de decantador primário típico, retangular, de limpeza mecanizada, com raspador por meio de ponte, que poderia ser usado; a opção de raspador por meio de correntes poderá ainda ser avaliada na ocasião da elaboração do projeto.

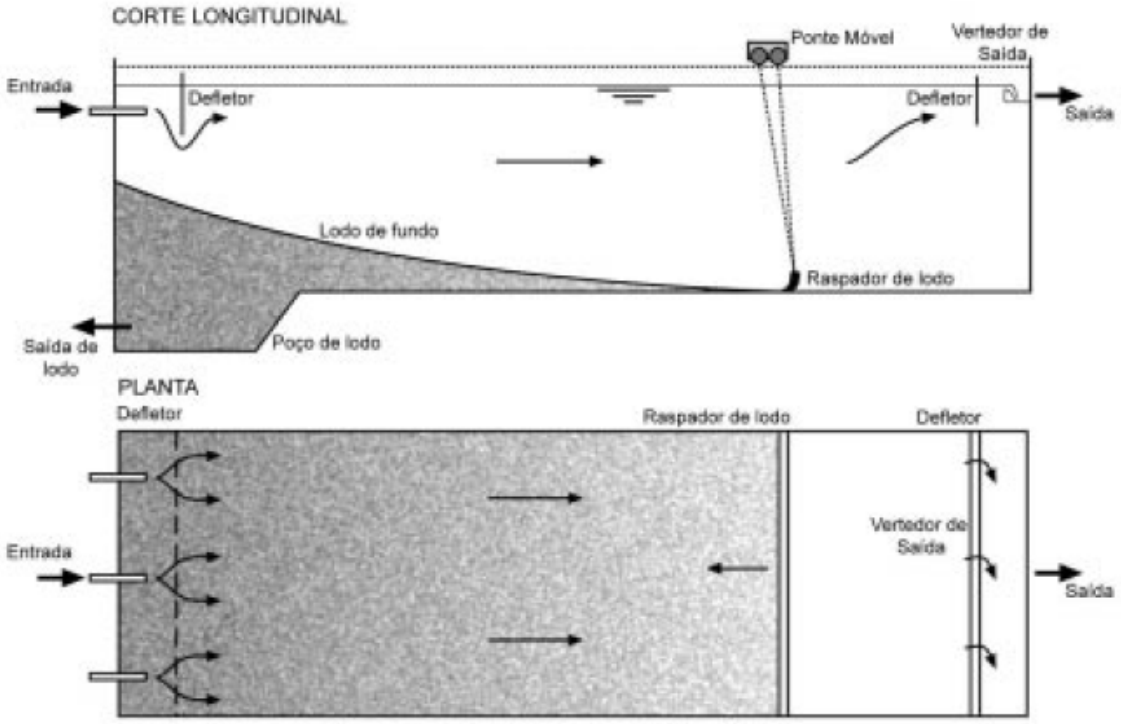


Figura 23: Esquema de um decantador retangular (Fonte - Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, 2001 - PROSAB)

Embora as vantagens e desvantagens apresentadas possam ser citadas, outras considerações locais deverão ser avaliadas, em particular em relação à disponibilidade de área. No caso particular do terreno da ETE Deodoro, a opção de decantador retangular induz a economia de área, uma vez que nos decantadores retangulares as diversas unidades podem tem paredes comuns, o que não ocorre no caso dos circulares.

De acordo com a Revisão da NBR 12.209 os seguintes parâmetros devem ser considerados no dimensionamento dos decantadores primários (processo convencional seguido de processo de lodos ativados):

- A vazão de dimensionamento do decantador primário deve ser a vazão máxima horária afluente à unidade;
- A taxa de escoamento superficial deve ser compatível com a eficiência de remoção desejada, e ainda igual ou inferior a 90 $m^3/m^2.d$ quando precede processo de lodos ativados;
- ETE com vazão de dimensionamento superior a 250 L/s deve ter mais de um decantador primário;
- O tempo de detenção hidráulica para a vazão média deve ser inferior a 3 h e, para a vazão máxima, superior a 1 h;
- Para decantador retangular a relação comprimento/profundidade mínima de água deve ser igual ou superior a 4:1; a relação largura/ profundidade mínima de água deve ser igual ou superior a 2:1; a relação comprimento/ largura deve ser igual ou superior a 2:1, e preferencialmente a 4:1;
- Para decantador retangular, a velocidade de escoamento horizontal deve ser igual ou inferior a 50 mm/s; quando recebe excesso de lodo ativado, a velocidade deve ser igual ou inferior a 20 mm/s.

**Processo convencional de lodos ativados**

Lodo ativado é o floco produzido num esgoto bruto ou decantado pelo crescimento de bactérias ou outros organismos na presença de oxigênio dissolvido e acumulado em concentração suficiente graças ao retorno de outros flocos anteriormente formados. O processo de lodos ativados é biológico e nesta etapa do tratamento o esgoto afluente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados (em tanques de aeração), para logo após se separar os lodos ativados do esgoto através da sedimentação em decantadores secundários. Com isto, a maior parte do lodo ativado separado retorna para o processo, enquanto uma parcela menor é retirada para tratamento específico ou destino final, o chamado lodo em excesso (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

As necessidades de oxigênio dos flocos são elevadas, sendo necessário suprir oxigênio ao processo por absorção forçada da atmosfera ou injeção de ar no meio líquido. A quantidade de flocos naturalmente presente é relativamente pequena, sendo

necessários um tempo muito longo e um volume de tanque muito grande para tornar efetivo o processo em condições naturais. Por esta razão se mantém nos tanques de aeração uma concentração elevada de flocos através do contínuo retorno do lodo do decantador secundário (JORDÃO, 2005).

De acordo com a Revisão da NBR 12.209 os seguintes parâmetros devem ser considerados no dimensionamento do processo de lodos ativados:

- O tratamento por processos de lodos ativados deve ser precedido pela remoção de sólidos grosseiros e areia, podendo ou não ser precedido pela remoção de sólidos sedimentáveis ou de tratamento biológico anaeróbio;
- A vazão de dimensionamento para o processo de lodos ativados deve ser a vazão média afluente à ETE;
- Preferivelmente, em ETEs com vazão superior a 100 L/s se recomenda mais de uma linha de reatores biológicos operando em paralelo;
- O tempo de detenção hidráulica não deve ser utilizado como parâmetro de dimensionamento dos reatores biológicos;
- O dimensionamento dos reatores biológicos deve considerar os parâmetros seguintes: idade do lodo e relação alimento/microorganismo;
- Idade do lodo – 2 a 4 dias para sistemas de alta taxa; 4 a 15 dias para sistemas convencionais e acima de 18 dias para sistemas de aeração prolongada;
- Relação alimento/microrganismos – 0,70 a 1,10 kg $DBO_5$aplicado/kg SSVTA.d para sistemas de alta taxa; 0,20 a 0,70 kg $DBO_5$aplicado/kg SSVTA.d; para sistemas convencionais e menor ou igual a 0,15 kg $DBO_5$aplicado/kg SSVTA.d para sistemas de aeração prolongada;
- A concentração de sólidos em suspensão no interior dos reatores biológicos deve estar compreendida no intervalo de 1.500 a 4.500 mg/L.

**Decantação secundária**

Os decantadores secundários ocupam um papel de relevância no tratamento biológico, uma vez que neles se processa a sedimentação, a retirada do lodo recirculado para o tanque de aeração e do excesso de lodo para a digestão. Existe o interesse em que o lodo retorne rapidamente após ter sedimentado para evitar condições de septicidade (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Um bom projeto e uma boa operação da fase biológica, juntamente com boas condições de decantação secundária se fazem fundamentais para obtenção não apenas de um efluente com baixa DBO, mas também com boas condições de transparência e limpidez.

De acordo com a Revisão da NBR 12.209 os seguintes parâmetros devem ser considerados no dimensionamento dos decantadores secundários (taxa convencional) após o processo de lodos ativados:

- O decantador secundário deve ser dimensionado para taxa de escoamento superficial igual ou inferior a $28m^3/m^2.d$ quando a idade do lodo é inferior a 18 dias, ou relação A/M é superior a 0,15 kg $DBO_5$/kg SSVTA.d;
- No decantador secundário, a taxa de aplicação de sólidos, deve ser igual ou inferior a 144 $kg/m^2.d$, quando a idade do lodo é inferior a 18 dias, ou a relação A/M é superior a 0,15 kg $DBO_5$/kg SSVTA.d;
- No decantador secundário final, o tempo de detenção hidráulica, relativo à vazão média, deve ser igual ou superior a 1,5h.

**Adensamento do lodo**

O adensamento do lodo proveniente das unidades de tratamento da fase líquida consiste no aumento da concentração de sólidos nele contidos, através da remoção parcial da quantidade de água que caracteriza o seu grau de umidade. Portanto, o adensamento visa a redução do volume do lodo para o manuseio e conseqüente processamento e destino final. Normalmente, o líquido removido é retornado para o tratamento primário da ETE e em alguns casos pode ser lançado a montante do tratamento biológico, mas torna-se importante avaliar a sua influência nas unidades subseqüentes ao seu lançamento (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

A finalidade principal do adensamento do lodo é a redução do volume a processar e, consequentemente, dos custos de implantação e operação das unidades de digestão e secagem. Normalmente, os adensadores são usados para concentração de sólidos de lodos primários, secundários e digeridos, com os seguintes benefícios adicionais: misturação de diferentes tipos de lodo, equalização da vazão e clarificação do líquido. Para o adensamento sem auxílio direto de esforços mecânicos (como centrífugas e prensas) podem ser usados os adensadores por gravidade ou por flotação (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Os adensadores por gravidade, muitas vezes chamados somente de adensadores, são comprovadamente eficientes, mas esta boa performance não ocorre

com os lodos secundários dos processos biológicos, e com o lodo misto (primário mais secundário). Para estes casos os adensadores por flotação, também denominados “flotadores”, apresentam maior eficiência. O fenômeno da flotação pode ser realizado através da adição de produtos químicos, ar comprimido ou oxigênio puro (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

O emprego de adensamento de lodo através de modelos mais modernos e específicos de centrífugas e filtros de esteira (mesas e prensas desaguadoras) já vem sendo realizado, com resultados amplamente favoráveis, principalmente para o excesso de lodo ativado, cujo adensamento por gravidade é particularmente difícil. O adensamento por centrifugação costuma ser indicado quando a desidratação do lodo já é realizada também por centrifugação. Desta forma facilita-se o aspecto de manutenção de equipamentos, sendo igualmente possível usar uma mesma centrífuga como unidade reserva para o adensamento e para a desidratação, mas sua utilização está limitada ao lodo secundário (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

De acordo com a Revisão da NBR 12.209 os seguintes parâmetros devem ser considerados no dimensionamento das unidades de adensamento:

- Preferencialmente os adensadores por gravidade destinam-se a lodo primário; não obstante podem ser usados para outros tipos de lodo, sob determinadas condições;
- A taxa de aplicação de sólidos, a taxa de aplicação hidráulica, e o teor de sólidos em suspensão no lodo adensado, utilizados no dimensionamento do adensador, dependem do tipo do lodo, podendo ser adotados para lodo primário bruto os seguintes valores: 150 kg SS/$m^2$.d para máxima taxa de aplicação de sólidos, 30 $m^3/m^2$.d para máxima taxa de aplicação hidráulica e 8% para máximo teor de sólidos em suspensão no lodo adensado;
- A profundidade mínima da unidade de adensamento mecanizada deve ser de 3,0 m, e o tempo de detenção hidráulica máximo deve ser de 24h. O lodo afluente deve ser diluído, no caso de incompatibilidade desses valores com a taxa de aplicação de sólidos adotada;
- Centrífugas de adensamento destinam-se, preferencialmente, ao adensamento do lodo secundário;
- A taxa de aplicação de sólidos, medida em massa de sólidos por hora (kg ST/h), e a quantidade de lodo a adensar, medida em vazão de lodo por hora ($m^3$/h) e o tipo de lodo, são dados típicos para a escolha do equipamento a ser usado, devendo ser compatíveis com a centrífuga escolhida, cujas características devem ser disponibilizadas, e garantidas pelo fabricante;

- Admite-se obter um Teor de Sólidos no lodo adensado por centrifugação de 3 a 6%.

**Digestão do lodo**

O processo de estabilização do lodo tem como objetivo principal a conversão parcial da matéria putrescível em líquidos, sólidos dissolvidos, subprodutos gasosos e alguma destruição de microrganismos patogênicos, bem como a redução dos sólidos voláteis do lodo. Este processo de tratamento bioquímico do lodo pode ser classificado, de acordo com a presença de oxigênio livre, em digestão anaeróbia ou digestão aeróbia (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Tipicamente se adota o processo de digestão anaeróbica em ETEs de lodos ativados de porte médio, como é o caso presente.

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico complexo onde diversos grupos de organismos anaeróbios e facultativos assimilam e destroem simultaneamente a matéria orgânica, em ausência de oxigênio dissolvido. A evolução do processo necessita apenas de seu confinamento em um espaço (volume útil) em condições favoráveis às reações bioquímicas inerentes da fermentação natural. Normalmente os sólidos em suspensão, fixos e voláteis, são removidos da massa líquida afluente à ETE e processados em unidades apropriadas denominadas digestores ou biodigestores (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Este tipo de estabilização apresenta as seguintes vantagens quando comparado ao processo aeróbio:

- Menor custo operacional (não há gasto com energia para suprimento de oxigênio);
- Possibilidade de aproveitamento do gás gerado (processo aeróbio não gera gás);
- O lodo seca com maior facilidade em comparação ao processo aeróbio.

A digestão aeróbia é um processo de oxidação bioquímica dos sólidos biodegradáveis contidos no esgoto, com abundância de oxigênio dissolvido em toda a massa líquida, favorecendo a atividade de bactérias aeróbias e a formação de subprodutos tais como matéria orgânica estabilizada (lodo digerido), gás carbônico e água. Costuma ser utilizada em ETEs de menor porte, tal como ocorria nos tanques da estação compacta existente.

As principais vantagens deste processo são:

- Operação relativamente mais simples;
- Menores custos de implantação;
- Não apresenta gases tóxicos e maus cheirosos típicos da fase ácida da digestão anaeróbia;
- Maior redução de óleos e graxas e reduz a baixos níveis a presença de microrganismos patogênicos;
- O sobrenadante, quando decantado, tem DBO reduzida e menores teores de SS, nitrogênio amoniacal e fósforo total;
- Menor volume e tempo de detenção.

**Secagem do Lodo**

O lodo já digerido deverá ser desidratado antes de seu encaminhamento para destino final. Na ETE existente o processo adotado era o de leitos de secagem, o que era admissível face à pequena quantidade de lodo gerado.

Já no caso em estudo da expansão, o volume gerado de lodo deverá requerer o uso de sistemas mecanizados de secagem, tanto pela facilidade operacional, como pela inexistência de área para secagem natural. Entre os sistemas mecanizados de secagem a opção por centrífugas se mostra mais interessante, pelas características de facilidade operacional, área ocupada, e elevada eficiência. Vale mencionar que no Estado do Rio de Janeiro a CEDAE optou por padronizar o sistema de desidratação de lodo em todas suas estações de tratamento, com uso de centrífugas.

A seguir seguem os cálculos e as considerações feitas para dimensionar esta hipótese para a ETE levando-se em consideração vazões de 1.000 L/s, 750 L/s e 500 L/s.

**5.1. Q = 1.000 L/s**

**a) Dimensionamento da caixa de areia.**

A caixa de areia terá um formato quadrado e será utilizada a tabela a seguir com os parâmetros e faixa de valores usuais necessários para o dimensionamento desta etapa. As informações foram retiradas da Revisão da NBR 12.209 e da 4ª

edição do livro Tratamento de Esgotos Domésticos de autoria de Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessôa.

Tabela 1: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento de caixa de areia

| Parâmetros | Faixa de Valores |
|---|---|
| Vazão de projeto | Vazão máxima |
| Taxa de escoamento superficial (v) | Entre 600 e 1.300 $m^3/m^2.d$ |
| Profundidade | Tipicamente entre 1,10 e 1,60 m |

Para se calcular as dimensões da caixa de areia fixou-se, inicialmente, a taxa de escoamento superficial:

$v = 1.300\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

$Q_{máx} = 1,6 \times Q_{méd} = 1,6\ m^3/s = 138.240\ m^3/d$

$v = Q_{máx}/A$

$A \approx 106\ m^2$

Com este valor para a área e utilizando um catálogo da empresa Door-Oliver pode-se escolher os seguintes valores (várias empresas fabricam no país os equipamentos de raspagem de areia semelhantes ao do catálogo usado):

Lado = 20' ≈ 6 m

Profundidade = 4' ≈ 1,2 m

Para atender à área de 106 $m^2$ serão utilizadas 3 caixas de areia:

Área unitária = 6 x 6 = 36 $m^2$

Área total = 3 x 36 = 108 $m^2$

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

<u>Nova taxa (v)</u>

$v = Q_{máx}/A$

$A = 108\ m^2$

v = 1.280 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume unitário = 36 x 1,2 = 43,2 $m^3$
Volume total = 3 x 43,2 = 129,6 $m^3$

Tempo de detenção (t)
$t = V/Q_{máx}$
t = 0,00094 d = 0,02 h = 1,2 min

**b) Dimensionamento do decantador primário.**

A tabela a seguir contém os parâmetros e faixa de valores usuais necessários para o dimensionamento desta etapa. As informações foram retiradas da Revisão da NBR 12.209 e da 4ª edição do livro Tratamento de Esgotos Domésticos de autoria de Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessôa.

Tabela 2: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento de decantadores primários convencionais

| Parâmetros | Faixa de Valores |
|---|---|
| Vazão de projeto | Vazão máxima |
| Taxa de escoamento superficial (v) | ≤ 90 $m^3/m^2.d$ |
| Tempo de detenção hidráulica | ≥ 1 h, para vazão máxima |
| Diâmetro (formato circular) | De 3 a 60 m, mas faixa ideal é de 10 a 40 m |
| Profundidade lateral (formato circular) | De 2,5 a 4,0 m, mas faixa ideal é de 3,0 a 3,5 m |
| Inclinação do fundo (formato circular) | De 8 a 16% |
| Largura (formato retangular) | De 3 a 25 m, mas tipicamente entre 5 e 10 m |
| Comprimento (formato retangular) | De 10 a 90 m, mas tipicamente entre 25 e 40 m |
| Profundidade lateral (formato retangular) | De 3,0 a 3,5 m |
| Relação comprimento/profundidade (formato retangular) | ≥ 4:1 |
| Relação largura/profundidade (formato retangular) | ≥ 2:1 |
| Relação comprimento/largura (formato retangular) | ≥ 2:1 e preferencialmente 4:1 |
| Inclinação do fundo (formato retangular) | 1 a 2% |
| Remoção de DBO | 30% |
| Remoção de SST | 50% |

O decantador primário será retangular (pois este formato é o que melhor se encaixa no terreno disponível para a expansão da ETE) e se adota, inicialmente, o valor de 80 $m^3/m^2.d$ para a taxa de vazão superficial (v).

Vazão máxima

$Q_{máx}$ = 1,6 x $Q_{méd}$

$Q_{méd}$ = 1 $m^3/s$ = 86.400 $m^3/d$

$Q_{máx}$ = 1,6 $m^3/s$ = 138.240 $m^3/d$

Área superficial

A = $Q_{máx}/v$

A = 1.728 $m^2$

Adota-se o comprimento de 45 metros, pois este é o valor que otimiza o espaço disponível no terreno para expansão da ETE.

Comprimento = 45 m (adotado de acordo com as dimensões do terreno e dentro da faixa aceitável contida na Tabela 2)

Para satisfazer à relação entre comprimento/largura ≥ 2:1, teremos:

Largura = 20 m

Valor da área superficial com os valores adotados

Área de 1 decantador = 45 x 20 = 900 $m^2$

Área de 2 decantadores = 2 x 900 = 1.800 $m^2$

Sendo assim, precisa-se construir dois decantadores retangulares.

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

v = $Q_{máx}/A$

A = 1.800 $m^2$

v = 77 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado de acordo com a Tabela 2)

Este valor adotado para a profundidade lateral satisfaz às relações entre comprimento:profundidade (≥4:1) e largura:profundidade (≥2:1).

Volume útil

$V_{útil}$ unitário= 900 x 3,5 = 3.150 $m^3$

$V_{útil}$ dos 2 decantadores = 3.150 x 2 = 6.300 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque

$t = V/Q_{máx}$

t = 0,046 d = 1,1 h (dentro da faixa aceitável)

Ao término desta fase, pode-se esperar que a remoção de DBO seja de aproximadamente 30% e de SST de 50%.

Esgoto afluente aos decantadores primários

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L

$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

Esgoto efluente que seguirá para o processo de lodos ativados

Eficiência = $(DBO_{entra} – DBO_{sai}) / DBO_{entra}$

Eficiência = 30%

$DBO_{efl.}$ = 140 mg/L

Eficiência = $(SST_{entra} – SST_{sai}) / SST_{entra}$

Eficiência = 50%

$SST_{efl.}$ = 100 mg/L

**c) Aproveitamento dos tanques existentes como tanques de aeração para o processo convencional de lodos ativados.**

A tabela a seguir contém os parâmetros e faixa de valores usuais necessários para o dimensionamento desta etapa. As informações foram retiradas da Revisão da NBR 12.209 e da 4ª edição do livro Tratamento de Esgotos Domésticos de autoria de Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessôa.

Tabela 3: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento do processo convencional de lodos ativados

| Parâmetros | Faixa de Valores |
|---|---|
| Vazão de projeto | Vazão média |
| Idade do lodo | 4 a 15 d |
| Relação alimento/microorganismo | De 0,2 a 0,7 $d^{-1}$, tipicamente entre 0,2 e 0,4 $d^{-1}$ |
| Concentração de sólidos em suspensão no interior dos reatores | 1.500 a 4.500 mg/L |
| Tempo de detenção | Entre 4 e 8 h |

Sabe-se que os 6 tanques são circulares e tem-se os seguintes dados:

Altura útil (H) = 4,5 m

Diâmetro (∅) = 30 m

Com isto, pode-se calcular o volume dos tanques de aeração:

$V = \pi \times r^2 \times H$

V unitário = 3.180 $m^3$ = 3.180.000 L

$V_6$ = 19.080 $m^3$ = 19.080.000 L

<u>Cálculo da relação A/M</u>

$A/M = (Q \times DBO) / (X_{av} \times V)$

$Q = Q_{méd}$ = 1 $m^3/s$ = 86.400 $m^3/d$

DBO = 140 mg/L

$X_{av}$ = concentração de SSV no tanque de aeração (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)

$V_6$ = 19.080 $m^3$

A/M = 0,32 $d^{-1}$ (encontra-se dentro da faixa recomendada)

<u>Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração</u>

t = V/Q

t = 0,22 d = 5,3 h (encontra-se dentro da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Além da hipótese de aproveitar-se todos os tanques existentes no processo de lodos ativados tem-se a alternativa de aumentar a relação A/M, sem exceder ao limite máximo, para que sejam necessários menos de seis tanques e seria possível aproveitar estas unidades como decantadores secundários, reduzindo o custo e o número de unidades dentro da ETE.

A princípio esta alternativa traria problemas, pois existiriam diferentes dimensões para os decantadores secundários e o ideal é ter todas estas unidades com dimensões iguais para que a vazão afluente seja repartida igualmente para cada unidade, tornando mais simples a operacionalidade.

Sendo assim, será fixado o diâmetro dos decantadores secundários em 30 metros para que a vazão seja repartida igualmente e se tenha um melhor arranjo dentro do terreno disponível para expansão.

<u>Cálculo da relação A/M (5 tanques)</u>

$A/M = (Q \times DBO) / (X_{av} \times V)$

$Q = Q_{méd} = 1\ m^3/s = 86.400\ m^3/d$

DBO = 140 mg/L

$X_{av}$ = concentração de SSV no tanque de aeração (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)

$V_5 = 15.900\ m^3$

$A/M = 0{,}38\ d^{-1}$ (valor dentro da faixa recomendada)

<u>Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (5 tanques)</u>

$t = V/Q$

$t \approx 0{,}184\ d \approx 4{,}4\ h$ (valor dentro da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Sendo assim, tem-se a alternativa de apenas 5 tanques na etapa de lodos ativados e se terá 1 tanque disponível para ser utilizado na decantação secundária.

**d) Dimensionamento do decantador secundário para seguir ao processo convencional de lodos ativados.**

A tabela a seguir contém os parâmetros e faixa de valores usuais necessários para o dimensionamento desta etapa. As informações foram retiradas da Revisão da NBR 12.209 e da 4ª edição do livro Tratamento de Esgotos Domésticos de autoria de Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessôa.

Tabela 4: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento de decantadores secundários após processo convencional de lodos ativados

| Parâmetros | Faixa de Valores |
|---|---|
| Vazão de projeto | Vazão média |
| Taxa de escoamento superficial (v) | ≤ 28 $m^3/m^2.d$ |
| Tempo de detenção hidráulica | ≥ 1,5 h |
| Diâmetro | De 3 a 60 m, mas faixa ideal é de 10 a 40 m |
| Profundidade lateral (formato circular) | De 2,5 a 4,0 m |
| Taxa de aplicação de sólidos | ≤ 144 $kg/m^2.d$ |
| SSV/SST | Entre 0,7 e 0,8 |
| Remoção de DBO ao final do processo | 90% |
| Remoção de SST ao final do processo | 90% |

Cálculo da área necessária aos decantadores

$A = Q/v$

$Q = 1\ m^3/s = 86.400\ m^3/d$

$v = 28\ m^3/m^2.d$ (valor adotado dentro da faixa recomendada)

$A \approx 3.086\ m^2$

Será fixado o diâmetro dos decantadores em 30 m para aproveitar-se o tanque disponível.

Número de decantadores necessários ($\varnothing$ = 30 m)

$A = n \times \pi \times \varnothing^2/4 = 3.086$

$n = 4,4$

Sendo assim, serão adotados 5 decantadores e serão necessários 4 tanques extras.

Nova área superficial

Área de 1 decantador = $\pi \times \varnothing^2/4 \approx 706\ m^2$

Área total dos 5 decantadores = 5 x 706 = 3.530 $m^2$ (valor superior ao mínimo necessário)

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q/A$

$A = 3.530\ m^2$

$v = 24,5\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume útil

Apesar dos tanques disponíveis possuírem uma altura útil de 4,5 metros será reduzida esta altura para 4,0 metros de forma a atender aos valores recomendados. Desta forma, todos os decantadores secundários terão profundidade lateral de 4,0 metros.

Profundidade lateral = 4,0 m

$V_{útil}$ unitário = 706 x 4 = 2.824 $m^3$

$V_{útil}$ total = 2.824 x 5 = 14.120 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque

$t = V/Q$

$t \approx 0,164\ d \approx 3,9\ h$ (valor superior ao mínimo recomendado de 1,5 h)

Deve-se verificar se a taxa de aplicação de sólidos é menor do que 144 kg $SS/m^2.d$.

Concentração de SSTA

$SSV \approx 0,7\ SST$

SSV (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado no item anterior)

SST (SSTA) = 2.857 mg/L

Taxa de aplicação de sólidos

Taxa de aplicação de sólidos = M/A

$M = (Q + Q_{rec}) \times SSTA$

$Q = 86.400\ m^3/d$

$SSTA = 2.857\ mg/L = 2,857\ kg/m^3$

$Q_{rec} = Q \times r$

r (razão de recirculação) = $X_a / (X_u - X_a)$

$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 8.000 mg/L (valor adotado)

$X_a$ = SST (SSTA) = 2.857 mg/L

r = 0,56

$Q_{rec}$ = 48.384 $m^3/d$

M = (86.400 + 48.384) x 2,857

M = 385.078 kg/d

A = 3.768 $m^2$ (calculado anteriormente)

Taxa de aplicação de sólidos ≈ 102 kg SS/$m^2$.d (valor dentro da faixa recomendada)

Ao término desta fase espera-se que a remoção de DBO e SST afluente ao sistema de tratamento de esgoto seja de aproximadamente 90%.

<u>Esgoto afluente ao sistema de tratamento de esgoto</u>

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L

$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

<u>Esgoto efluente do sistema de tratamento de esgoto</u>

Eficiência = $(DBO_{entra} - DBO_{sai}) / DBO_{entra}$

Eficiência = 90%

$DBO_{efl.}$ = 20 mg/L

Eficiência = $(SST_{entra} - SST_{sai}) / SST_{entra}$

Eficiência = 90%

$SST_{efl.}$ = 20 mg/L

**e) Dimensionamento do sistema de tratamento de lodo.**

Quantificação do lodo removido no decantador primário

Sabe-se que o decantador primário possui uma eficiência de 50% e um valor de SST afluente de 200 mg/L. Com estes valores pode-se calcular a massa e a vazão de lodo coletado.

Massa de lodo coletado = Q x SST x 0,5

Será usada a vazão média considerando que o dimensionamento da fase sólida se baseia na massa diária de sólidos.

Q = 1 $m^3/s$ = 86.400 $m^3/d$
SST = 200 mg/L = 0,2 $kg/m^3$

Massa de lodo coletado = 8.640 kg/d

Vazão de lodo coletado = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 8.640 kg/d
$\rho$ = 1,02
$\gamma$ = 1.000 $kg/m^3$
TS = 3% (valor adotado)

Vazão de lodo coletado = 283 $m^3/d$

Quantificação do lodo removido no decantador secundário

Para calcular a geração de lodo no decantador secundário será preciso fixar um valor para idade do lodo (valores recomendados na Tabela 3). A idade do lodo representa o tempo médio que uma partícula em suspensão permanece sob aeração.

$\theta_c$ x (Q" x $X_u$) = $X_a$ x V

Q" = vazão de excesso

$\theta_c$ = 7 d (valor adotado dentro da faixa recomendada pela Tabela 3)

$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 8.000 mg/L (valor adotado anteriormente)

$X_a$ = SST (SSTA) = 2.857 mg/L (valor calculado anteriormente)

$V_5$ = 15.900 $m^3$ (volume utilizado no processo de lodos ativados)

Q" = ($X_a$ x V) / ($\theta_c$ x $X_u$)

Q" ≈ 811 $m^3$/d

Massa = Q" x $X_u$

Massa = 6.492 kg/d

<u>Dimensionamento do adensador por gravidade (lodo primário)</u>

Formato do adensador: circular

Características do lodo primário:

Massa = 8.640 kg/d

Teor de sólidos = 3% (valor adotado anteriormente)

Vazão de lodo = 283 $m^3$/d

A tabela a seguir contém os parâmetros e faixa de valores usuais necessários para o dimensionamento desta etapa. As informações foram retiradas da Revisão da NBR 12.209 e da 4ª edição do livro Tratamento de Esgotos Domésticos de autoria de Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessôa.

Tabela 5: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento de adensadores por gravidade

| Parâmetros | Faixa de Valores |
|---|---|
| Taxa de aplicação de sólidos | ≤ 150 kg SS/$m^2$.d |
| Taxa de aplicação hidráulica | De 15 a 30 $m^3$/$m^2$.d |
| Diâmetro do adensador | ≤ 24 m |
| Profundidade lateral | De 3 a 4 m |
| Tempo de detenção hidráulica | ≤ 24 h |
| Teor de sólidos em suspensão no lodo adensado | ≤ 8% |

Área necessária para adensamento = Massa / Taxa de aplicação

Taxa de aplicação de sólidos = 120 kg SS/$m^2$.d (valor adotado)

Área necessária = 8.640 / 120

Área necessária = 72 $m^2$

Diâmetro:

$A = \pi \times (\varnothing^2/4)$

$\varnothing \approx 9{,}6$ m

Diâmetro adotado = 10 m (dentro da faixa recomendada)

Cálculo da nova área ($\varnothing$ = 10 m):

A = 79 $m^2$

Deve-se verificar se a taxa de aplicação hidráulica encontra-se dentro da faixa recomendada de 15 a 30 $m^3/m^2.d$ quando temos lodo primário apenas.

Taxa de aplicação hidráulica = Vazão de lodo / Área

Taxa de aplicação hidráulica = 283 / 79

Taxa de aplicação hidráulica $\approx$ 3,6 $m^3/m^2.d$

Como esta taxa está abaixo da faixa recomendada adota-se a adição de "água de diluição" para satisfazer a taxa mínima de 15 $m^3/m^2.d$.

$Q_{diluição} = (15\ m^3/m^2.d \times 79\ m^2) - (283\ m^3/d)$

$Q_{diluição} = 902\ m^3/d$

Volume do adensador:

Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado dentro da faixa recomendada)

Volume = 79 x 3,5

Volume = 276,5 $m^3$

Tempo de detenção global:

t = V / Q

Q = Vazão de lodo + Vazão de diluição = 1.185 $m^3/d$

t $\approx$ 0,23 d $\approx$ 5,5 h (dentro da faixa recomendada)

Ao término desta etapa de adensamento espera-se que o teor de sólidos no lodo primário passe de 3% para 6% e, com isso, se terá uma diminuição do volume que seguirá ao digestor anaeróbio.

Cálculo do novo volume:

$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$

$V_1$ = Vazão de lodo primário sem adensamento = 283 $m^3/d$

$TS_1$ = 3%

$TS_2$ = 6%

$V_2$ = Vazão de lodo primário após adensamento = 141,5 $m^3/d$

<u>Centrífuga de adensamento (lodo secundário)</u>

Precisa-se saber a capacidade necessária da centrífuga de adensamento ($m^3/h$). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo secundário = 811 $m^3/d$

Vazão de lodo a ser adensado por hora = 811 / 12 ≈ 68 $m^3/h$

Adotando o uso de 3 centrífugas a vazão distribuída para cada centrífuga será de aproximadamente 23 $m^3/h$ e tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-556L

Comprimento = 4,33 m

Largura = 2,7 m

Altura = 1,08 m

Além destas 3 centrífugas, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 0,8% ($X_u$ = 8.000 mg/L adotado anteriormente) para 5% (dentro da faixa de 3 a 6% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume a ser enviado aos digestores anaeróbios:

$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$

$V_1$ = Vazão de lodo secundário sem adensamento = 811 $m^3/d$

$TS_1$ = 0,8%

$TS_2$ = 5%

$V_2$ = Vazão de lodo secundário após adensamento = 130 $m^3/d$

<u>Dimensionamento dos digestores após fase de adensamento</u>

Os seguintes parâmetros são fixados:

Tempo de digestão = 20 dias

Altura (H) = 20 m

Diâmetro (∅) = 10 m

Formato: Cilíndrico

Para o dimensionamento desta unidade precisa-se saber a vazão total de lodo que será a soma da vazão advinda do adensador por gravidade com a vazão da centrífuga de adensamento.

$Q_{total} = Q_{adensador} + Q_{centrífuga}$

$Q_{adensador}$ = 141,5 $m^3/d$

$Q_{centrífuga}$ = 130 $m^3/d$

$Q_{total}$ = 271,5 $m^3/d$

Tempo de digestão = Volume dos digestores / Q total

Volume dos digestores = 5.430 $m^3$

Tendo fixado a altura e diâmetro e sabendo o volume associado a estas dimensões pode-se encontrar o número de digestores necessários.

n = Volume dos digestores / Volume unitário

Volume unitário = 1.570 $m^3$

n = 3,5

Sendo assim, serão adotados 4 digestores com altura de 20 m, diâmetro de 10 m e volume total de 6.280 $m^3$.

Nova massa e volume do lodo efluente do digestor (lodo digerido)

Massa de lodo sem digestão = Massa $_{\text{decantador primário}}$ + Massa $_{\text{decantador secundário}}$
Massa de lodo coletado no decantador primário = 8.640 kg/d
Massa de lodo coletado no decantador secundário = 6.492 kg/d
Massa de lodo sem digestão = SST = 15.132 kg/d

Espera-se uma redução em cerca de 50% de SV no lodo digerido. O valor de SF permanece inalterado após a digestão.

SV ≈ 0,7 ST (a razão entre SSV e SST encontra-se na faixa de 0,7 a 0,8)
SV ≈ 10.592 kg/d
SF ≈ 15.132 – 10.592 ≈ 4.540 kg/d

Após a digestão teremos:

SV = 0,5 x 10.592 = 5.296 kg/d
SF = 4.540 kg/d

Massa total de lodo digerido = 5.296 + 4.540 = 9.836 kg/d

Para quantificar a nova vazão de lodo digerido admite-se a concentração de sólidos neste lodo de 4%.

Vazão de lodo digerido = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 9.836 kg/d
$\rho$ = 1,02
$\gamma$ = 1.000 kg/m$^3$
TS = 4% (valor adotado)

Vazão de lodo digerido = 241 m$^3$/d

Desidratação

O lodo digerido será enviado para desidratação em centrífugas de forma a reduzir ainda mais o seu volume e facilitar a sua disposição final.

O procedimento para encontrar a capacidade e dimensões das centrífugas será similar ao utilizado para as centrífugas de adensamento.

Vazão de lodo digerido = 241 $m^3/d$

Será preciso saber a capacidade necessária da centrífuga de desidratação ($m^3/h$). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo a ser desidratado por hora = 241 / 12 ≈ 20 $m^3/h$

Adotando o uso de 1 centrífuga tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-556L
Comprimento = 4,33 m
Largura = 2,7 m
Altura = 1,08 m

Além desta centrífuga, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 4% (valor encontrado no lodo digerido) para 25% (dentro da faixa de 18 a 30% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão de lodo digerido = 241 $m^3/d$
$TS_1 = 4\%$
$TS_2 = 25\%$
$V_2$ = Vazão de lodo digerido após desidratação ≈ 39 $m^3/d$

Edifício de tratamento de lodo

Para saber as dimensões deste edifício será tomada como base a necessidade de um edifício com 2 pavimentos e área disponível para abrigar as centrífugas de adensamento e desidratação e as unidades de preparo dos polímeros.

Seguem as dimensões adotadas com base nos objetivos acima considerados:

Edifício com 2 andares
Comprimento = 25 m
Largura = 14 m

**5.2. Q = 750 L/s**

**a) Dimensionamento da caixa de areia.**

A caixa de areia terá um formato quadrado e serão utilizados os dados da Tabela 1 para o dimensionamento desta etapa.

$v = 1.300\ m^3/m^2 \cdot d$ (valor adotado dentro do recomendado pela Norma)
$Q_{máx} = 1,6 \times Q_{méd} = 1,2\ m^3/s = 103.680\ m^3/d$

$v = Q_{máx}/A$
$A \approx 80\ m^2$

Com este valor para a área e utilizando um catálogo da empresa Door-Oliver pode-se adotar os seguintes valores:

Lado = 22' ≈ 6,7 m
Profundidade = 4' ≈ 1,2 m

Para atender à área de 80 $m^2$ serão utilizadas 2 caixas de areia:

Área unitária = 6,7 x 6,7 ≈ 45 $m^2$
Área total = 2 x 45 = 90 $m^2$

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q_{máx}/A$

$A = 90\ m^2$

$v = 1.152\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume unitário = 45 x 1,2 = 54 $m^3$

Volume total = 2 x 54 = 108 $m^3$

Tempo de detenção (t)

$t = V/Q_{máx}$

t = 0,00104 d = 0,025 h = 1,5 min

**b) Dimensionamento do decantador primário.**

Serão utilizados os dados da Tabela 2 para dimensionar esta etapa.

Formato: retangular

Taxa de vazão superficial (v) = 80 $m^3/m^2.d$ (valor adotado)

Borda livre adotada como margem de segurança: 0,5 m

Vazão máxima

$Q_{máx} = 1,6 \times Q_{méd}$

$Q_{méd} = 0,75\ m^3/s = 64.800\ m^3/d$

$Q_{máx} = 1,2\ m^3/s = 103.680\ m^3/d$

Área superficial

$A = Q_{máx}/v$

$A = 1.296\ m^2$

Comprimento = 45 m (adotado dentro da faixa aceitável contida na Tabela 2)

Largura = 15 m (adotado dentro da faixa aceitável contida na Tabela 2)

Estes valores atendem à relação entre comprimento/largura ≥ 2:1.

Valor da área superficial com os valores adotados

Área de 1 decantador = 45 x 15 = 675m$^2$

Área de 2 decantadores = 2 x 675 = 1.350 m$^2$

Sendo assim, precisa-se de dois decantadores retangulares.

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q_{máx}/A$

A = 1.350 m$^2$

v = 77 m$^3$/m$^2$.d (valor dentro do recomendado pela Norma)

Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado de acordo com a Tabela 2)

Este valor adotado para a profundidade lateral satisfaz às relações entre comprimento:profundidade (≥4:1) e largura:profundidade (≥2:1).

Volume útil

$V_{útil}$ unitário= 675 x 3,5 = 2.362,5 m$^3$

$V_{útil}$ dos 2 decantadores = 2.362,5 x 2 = 4.725 m$^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque

$t = V/Q_{máx}$

t = 0,046 d = 1,1 h (dentro da faixa aceitável)

Esgoto afluente aos decantadores primários

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L

$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

Remoção de DBO = 30%

Remoção de SST = 50%

Esgoto efluente que seguirá para o processo de lodos ativados

$DBO_{efl.}$ = 140 mg/L

$SST_{efl.}$ = 100 mg/L

**c) Aproveitamento dos tanques existentes como tanques de aeração para o processo convencional de lodos ativados.**

Serão utilizados os dados da Tabela 3 para o dimensionamento desta etapa.

Sabe-se que os 6 tanques são circulares e tem-se os seguintes dados:

Altura útil (H) = 4,5 m

Diâmetro (∅) = 30 m

V unitário = 3.180 $m^3$

$V_6$ = 19.080 $m^3$

Cálculo da relação A/M

A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 0,75 $m^3/s$ = 64.800 $m^3/d$

DBO = 140 mg/L

$X_{av}$ = concentração de SSV no tanque de aeração (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)

$V_6$ = 19.080 $m^3$

A/M = 0,24 $d^{-1}$ (encontra-se dentro da faixa recomendada)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração

t = V/Q

t = 0,29 d ≈ 7 h (encontra-se dentro da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Será utilizada a alternativa de aumentar a relação A/M, sem exceder ao limite máximo, para que sejam necessários menos de seis tanques e seja possível aproveitar os tanques disponíveis como decantadores secundários, reduzindo o custo e o número de unidades dentro da ETE. Citou-se na vazão de 1.000 L/s que os decantadores secundários devem possuir as mesmas dimensões para que a vazão

seja repartida igualmente (facilidade operacional) e, desta forma, fixou-se o diâmetro dos decantadores secundários em 30 m.

Cálculo da relação A/M (4 tanques)

A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = 64.800 $m^3/d$

DBO = 140 mg/L

$X_{av}$ (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)

$V_4$ = 4 x 3.180 $m^3$ = 12.720 $m^3$

A/M = 0,36 $d^{-1}$ (valor dentro da faixa recomendada)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (4 tanques)

t = V/Q

t ≈ 0,196 d ≈ 4,7 h (valor dentro da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Sendo assim, se tem a alternativa de apenas 4 tanques na etapa de lodos ativados e fica-se com 2 tanques disponíveis para serem utilizados na decantação secundária.

**d) Dimensionamento do decantador secundário para seguir ao processo convencional de lodos ativados.**

Serão utilizados os dados da Tabela 4 para o dimensionamento desta etapa.

Cálculo da área necessária aos decantadores

A = Q/v

Q = 0,75 $m^3/s$ = 64.800 $m^3/d$

v = 28 $m^3/m^2.d$ (valor adotado dentro da faixa recomendada)

A ≈ 2.315 $m^2$

Será fixado o diâmetro dos decantadores em 30 m para aproveitar-se os 2 tanques disponíveis.

Número de decantadores necessários (∅ = 30 m)

$A = n \times \pi \times \varnothing^2/4 = 2.315$

$n = 3,3$

Sendo assim, adota-se 4 decantadores e serão necessários 2 tanques extras.

Nova área superficial

Área de 1 decantador = $\pi \times \varnothing^2/4 \approx 706\ m^2$

Área total dos 4 decantadores = 4 x 706 = 2.824 $m^2$ (valor superior ao mínimo necessário)

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q/A$

$A = 2.824\ m^2$

$v = 23\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume útil

Apesar dos tanques disponíveis possuírem uma altura útil de 4,5 metros será reduzida esta altura para 4,0 metros de forma a atender aos valores recomendados. Desta forma, todos os decantadores secundários terão profundidade lateral de 4,0 metros.

Profundidade lateral = 4,0 m

$V_{útil}$ unitário = 706 x 4 = 2.824 $m^3$

$V_{útil}$ total = 2.824 x 4 = 11.296 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque

$t = V/Q$

$t \approx 0,174\ d \approx 4,2\ h$ (valor superior ao mínimo recomendado de 1,5 h)

Deve-se verificar se a taxa de aplicação de sólidos é menor do que 144 kg $SS/m^2.d$.

Concentração de SSTA

SSV ≈ 0,7 SST

SSV (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado no item anterior)

SST (SSTA) = 2.857 mg/L

Taxa de aplicação de sólidos

Taxa de aplicação de sólidos = M/A

$M = (Q + Q_{rec}) \times SSTA$

$Q = 64.800\ m^3/d$

$SSTA = 2.857\ mg/L = 2,857\ kg/m^3$

$Q_{rec} = Q \times r$

r (razão de recirculação) = $X_a / (X_u - X_a)$

$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 8.000 mg/L (valor adotado)

$X_a$ = SST (SSTA) = 2.857 mg/L

r = 0,56

$Q_{rec} = 36.288\ m^3/d$

M = (64.800 + 36.288) x 2,857

M = 288.808 kg/d

A = 2.824 $m^2$ (calculado anteriormente)

Taxa de aplicação de sólidos ≈ 102 kg SS/$m^2$.d (valor dentro da faixa recomendada)

Ao término desta fase espera-se que a remoção de DBO e SST afluente ao sistema de tratamento de esgoto seja de aproximadamente 90%.

Esgoto afluente ao sistema de tratamento de esgoto

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L

$SST_{afl.}$ = 200 mg/

Esgoto efluente do sistema de tratamento de esgoto

Eficiência = ($DBO_{entra}$ – $DBO_{sai}$) / $DBO_{entra}$
Eficiência = 90%
$DBO_{efl.}$ = 20 mg/L

Eficiência = ($SST_{entra}$ – $SST_{sai}$) / $SST_{entra}$
Eficiência = 90%
$SST_{efl.}$ = 20 mg/L

**e) Dimensionamento do sistema de tratamento de lodo.**

<u>Quantidade de lodo removido no decantador primário</u>

SST = 200 mg/L = 0,2 kg/ $m^3$
Remoção de SST = 50%

Massa de lodo coletado = Q x SST x 0,5

Será usada a vazão média considerando que o dimensionamento da fase sólida se baseia na massa diária de sólidos.

Q = 64.800 $m^3$/d

Massa de lodo coletado = 6.480 kg/d

Vazão de lodo coletado = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 6.480 kg/d
$\rho$ = 1,02
$\gamma$ = 1.000 kg/$m^3$
TS = 3% (valor adotado)

Vazão de lodo coletado ≈ 212 $m^3$/d

<u>Quantidade de lodo removido no decantador secundário</u>

$\theta_c$ x (Q" x $X_u$) = $X_a$ x V

Q” = vazão de excesso

$\theta_c$ = 7 d (valor adotado dentro da faixa recomendada de 7 a 10 dias)

$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 8.000 mg/L (valor adotado anteriormente)

$X_a$ = SST (SSTA) = 2.857 mg/L

V = $V_4$ = 12.720 $m^3$ (volume utilizado no processo de lodos ativados)

Q” = ($X_a$ x V) / ($\theta_c$ x $X_u$)

Q” ≈ 649 $m^3$/d

Massa = Q” x $X_u$

Massa = 5.192 kg/d

<u>Dimensionamento do adensador por gravidade (lodo primário)</u>

Formato do adensador: circular

Características do lodo primário:

Massa = 6.480 kg/d

Teor de sólidos = 3% (valor adotado anteriormente)

Vazão de lodo = 212 $m^3$/d

Serão utilizados os dados da Tabela 5 para o dimensionamento desta etapa.

Área necessária para adensamento = Massa / Taxa de aplicação

Taxa de aplicação de sólidos = 120 kg SS/$m^2$.d (valor adotado)

Área necessária = 54 $m^2$

Diâmetro:

A = π x ($\varnothing^2$/4)

$\varnothing$ ≈ 8,3 m

Diâmetro adotado = 9 m (dentro da faixa recomendada)

Nova área ($\varnothing$ = 9 m): A = 63 $m^2$

Deve-se verificar se a taxa de aplicação hidráulica encontra-se dentro da faixa recomendada de 15 a 30 $m^3/m^2.d$ quando tem-se apenas lodo primário.

Taxa de aplicação hidráulica = Vazão de lodo / Área
Taxa de aplicação hidráulica = 212 / 63
Taxa de aplicação hidráulica ≈ 3,4 $m^3/m^2.d$

Como esta taxa está abaixo da faixa recomendada adota-se a adição de "água de diluição" para satisfazer a taxa mínima de 15 $m^3/m^2.d$.

$Q_{diluição}$ = (15 $m^3/m^2.d$ x 63 $m^2$) – (212 $m^3/d$)
$Q_{diluição}$ = 733 $m^3/d$

Volume do adensador:
Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado dentro da faixa recomendada de 3 a 4 m)
Volume = 63 x 3,5
Volume = 220,5 $m^3$

Tempo de detenção global:
t = V / Q
Q = Vazão de lodo + Vazão de diluição = 945 $m^3/d$
t ≈ 0,23 d
t = 5,5 h

Ao término desta etapa de adensamento espera-se que o teor de sólidos no lodo primário passe de 3% para 6% e, com isso, tem-se uma diminuição do volume que seguirá ao digestor anaeróbio.

Cálculo do novo volume:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão de lodo primário sem adensamento = 212 $m^3/d$
$TS_1$ = 3%
$TS_2$ = 6%
$V_2$ = Vazão de lodo primário após adensamento = 106 $m^3/d$

Centrífuga de adensamento (lodo secundário)

Precisa-se saber a capacidade necessária da centrífuga de adensamento ($m^3/h$). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo secundário = 649 $m^3/d$
Vazão de lodo a ser adensado por hora = 649 / 12 ≈ 54 $m^3/h$

Adotando o uso de 2 centrífugas a vazão distribuída para cada centrífuga será de aproximadamente 27 $m^3/h$ e tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-556L
Comprimento = 4,33 m
Largura = 2,70 m
Altura = 1,08 m

Além destas 2 centrífugas, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 0,8% ($X_u$ = 8.000 mg/L adotado anteriormente) para 5% (dentro da faixa de 3 a 6% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão de lodo secundário sem adensamento = 649 $m^3/d$
$TS_1$ = 0,8%
$TS_2$ = 5%
$V_2$ = Vazão de lodo secundário após adensamento ≈ 104 $m^3/d$

Dimensionamento dos digestores após fase de adensamento

Os seguintes parâmetros serão fixados:

Tempo de digestão = 20 dias
Altura (H) = 20 m
Diâmetro (∅) = 10 m
Formato: Cilíndrico

Para o dimensionamento desta unidade será preciso saber a vazão total de lodo que será a soma da vazão advinda do adensador por gravidade com a vazão da centrífuga de adensamento.

$Q_{total} = Q_{adensador} + Q_{centrífuga}$
$Q_{adensador} = 106\ m^3/d$
$Q_{centrífuga} = 104\ m^3/d$
$Q_{total} = 210\ m^3/d$

Tempo de digestão = Volume do digestor / Q total
Volume do digestor = 4.200 $m^3$

Tendo fixado a altura e diâmetro e sabendo o volume associado a estas dimensões pode-se encontrar o número de digestores necessários.

n = Volume do digestor / Volume unitário
Volume unitário ≈ 1.570 $m^3$
n = 2,7

Sendo assim, adotam-se 3 digestores com altura de 20 m, diâmetro de 10 m e volume total de 4.710 $m^3$.

Nova massa e volume do lodo efluente do digestor (lodo digerido)

Massa de lodo sem digestão = $\text{Massa}_{\text{decantador primário}} + \text{Massa}_{\text{decantador secundário}}$
Massa de lodo coletado no decantador primário = 6.480 kg/d
Massa de lodo coletado no decantador secundário= 5.192 kg/d
Massa de lodo sem digestão = SST = 11.672 kg/d

Espera-se uma redução em cerca de 50% de SV no lodo digerido. O valor de SF permanece inalterado após a digestão.

SV ≈ 0,7 ST (a razão entre SSV e SST encontra-se na faixa de 0,7 a 0,8)
SV ≈ 8.170 kg/d
SF ≈ 11.672 – 8.170 ≈ 3.502 kg/d

Após a digestão tem-se:

SV = 0,5 x 8.170 = 4.085 kg/d
SF = 3.502 kg/d

Massa total de lodo digerido = 4.085 + 3.502 = 7.587 kg/d

Para quantificar a nova vazão de lodo digerido admite-se a concentração de sólidos neste lodo de 4%.

Vazão de lodo digerido = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 7.587 kg/d
$\rho$ = 1,02
$\gamma$ = 1.000 kg/m$^3$
TS = 4% (valor adotado)

Vazão de lodo digerido = 186 m$^3$/d

<u>Desidratação</u>

O lodo digerido será enviado para desidratação em centrífugas de forma a reduzir ainda mais o seu volume e facilitar a sua disposição final.

O procedimento para encontrar a capacidade e dimensões das centrífugas será similar ao utilizado para as centrífugas de adensamento.

Vazão de lodo digerido = 186 m$^3$/d

É preciso saber a capacidade necessária da centrífuga de desidratação ($m^3/h$). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo a ser desidratado por hora = 186 / 12 ≈ 16 $m^3/h$

Adotando o uso de 1 centrífuga tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-555L
Comprimento = 3,86 m
Largura = 2,70 m
Altura = 1,08 m

Além desta centrífuga, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 4% (valor encontrado no lodo digerido) para 25% (dentro da faixa de 18 a 30% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão de lodo digerido = 186 $m^3/d$
$TS_1$ = 4%
$TS_2$ = 25%
$V_2$ = Vazão de lodo digerido após desidratação ≈ 30 $m^3/d$

<u>Edifício de tratamento de lodo</u>

Para esta hipótese de tratamento convencional as unidades presentes no edifício serão as centrífugas de adensamento e desidratação e as unidades de preparo dos polímeros. Seguem as dimensões adotadas com base nas premissas anteriormente citadas:

Edifício com 2 andares
Comprimento = 22 m

Largura = 14 m

**5.3. <u>Q = 500 L/s</u>**

**a) Dimensionamento da caixa de areia.**

A caixa de areia terá um formato quadrado e novamente serão utilizados os dados da Tabela 1 para o dimensionamento desta etapa.

v = 1.300 $m^3/m^2.d$ (valor adotado dentro do recomendado pela Norma)
$Q_{máx}$ = 1,6 x $Q_{méd}$ = 0,8 $m^3/s$ = 69.120 $m^3/d$

v = $Q_{máx}/A$
A ≈ 53 $m^2$

Com este valor para a área e utilizando um catálogo da empresa Door-Oliver pode-se adotar os seguintes valores:

Lado = 18' ≈ 5,5 m
Profundidade = 3' ≈ 0,9 m

Para atender à área de 53 $m^2$ utilizam-se 2 caixas de areia:

Área unitária = 5,5 x 5,5 ≈ 30 $m^2$
Área total = 2 x 30 = 60 $m^2$

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

<u>Nova taxa (v)</u>
v = $Q_{máx}/A$
A = 60 $m^2$
v = 1.152 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume unitário = 30 x 0,9 = 27 $m^3$

Volume total = 2 x 27 = 54 $m^3$

Tempo de detenção (t)

$t = V/Q_{máx}$

t = 0,00078 d = 0,019 h = 1,1 min

**b) Dimensionamento do decantador primário.**

Serão utilizados os dados da Tabela 2 para dimensionar esta etapa.

Formato: retangular

Taxa de vazão superficial (v) = 80 $m^3/m^2.d$ (valor adotado)

Borda livre adotada como margem de segurança: 0,5 m

Vazão máxima

$Q_{máx} = 1,6 \times Q_{méd}$

$Q_{méd} = 0,5\ m^3/s = 43.200\ m^3/d$

$Q_{máx} = 0,8\ m^3/s = 69.120\ m^3/d$

Área superficial

$A = Q_{máx}/v$

$A = 864\ m^2$

Comprimento = 45 m (adotado dentro da faixa aceitável contida na Tabela 2)

Largura = 10 m (adotado dentro da faixa aceitável contida na Tabela 2)

Estes valores atendem à relação entre comprimento/largura ≥ 2:1.

Valor da área superficial com os valores adotados

Área de 1 decantador = 45 x 10 = 450 $m^2$

Área de 2 decantadores = 2 x 450 = 900 $m^2$

Sendo assim, serão necessários dois decantadores retangulares.

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q_{máx}/A$

$A = 900\ m^2$

$v = 77\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado de acordo com a Tabela 2)

Este valor adotado para a profundidade lateral satisfaz às relações entre comprimento:profundidade (≥4:1) e largura:profundidade (≥2:1).

Volume útil

$V_{útil}$ unitário= 450 x 3,5 = 1.575 $m^3$

$V_{útil}$ dos 2 decantadores = 1.575 x 2 = 3.150 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque

$t = V/Q_{máx}$

t = 0,046 d = 1,1 h (dentro da faixa aceitável)

Esgoto afluente aos decantadores primários

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/l

$SST_{afl.}$ = 200 mg/l

Remoção de DBO = 30%

Remoção de SST = 50%

Esgoto efluente que seguirá para o processo de lodos ativados

$DBO_{efl.}$ = 140 mg/l

$SST_{efl.}$ = 100 mg/l

**c) Aproveitamento dos tanques existentes como tanques de aeração para o processo convencional de lodos ativados.**

Serão utilizados os dados da Tabela 3 para o dimensionamento desta etapa.

Sabe-se que os 6 tanques são circulares e tem-se os seguintes dados:

Altura útil (H) = 4,5 m

Diâmetro (∅) = 30 m

V unitário = 3.180 $m^3$

$V_6$ = 19.080 $m^3$

Cálculo da relação A/M

A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 0,5 $m^3/s$ = 43.200 $m^3/d$

DBO = 140 mg/L

$X_{av}$ = concentração de SSV no tanque de aeração (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)

$V_6$ = 19.080 $m^3$

A/M = 0,16 $d^{-1}$ (encontra-se fora da faixa recomendada)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração

t = V/Q

t = 0,29 d ≈ 10,6 h (encontra-se fora da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Como os valores encontram-se fora das faixas recomendadas será utilizada uma alternativa com menos de seis tanques e os tanques disponíveis serão aproveitados como decantadores secundários, reduzindo o custo e o número de unidades dentro da ETE. Citou-se, anteriormente, que os decantadores secundários devem possuir as mesmas dimensões para que a vazão seja repartida igualmente (facilidade operacional) e, desta forma, fixou-se o diâmetro dos decantadores secundários em 30 m.

Cálculo da relação A/M (3 tanques)

A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = 43.200 $m^3/d$

DBO = 140 mg/L

$X_{av}$ (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)

$V_3$ = 3 x 3.180 $m^3$ = 9.540 $m^3$

A/M = 0,32 $d^{-1}$ (valor dentro da faixa recomendada)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (3 tanques)

$t = V/Q$

$t \approx 0{,}221$ d $\approx 5{,}3$ h (valor dentro da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Sendo assim, tem-se a alternativa de apenas 3 tanques na etapa de lodos ativados e fica-se com 3 tanques disponíveis para serem utilizados na decantação secundária.

**d) Dimensionamento dos decantadores secundários para seguir ao processo convencional de lodos ativados.**

Serão utilizados os dados da Tabela 4 para o dimensionamento desta etapa.

Cálculo da área necessária aos decantadores

$A = Q/v$

$Q = 0{,}5\ m^3/s = 43.200\ m^3/d$

$v = 28\ m^3/m^2.d$ (valor adotado dentro da faixa recomendada)

$A \approx 1.543\ m^2$

Fixa-se o diâmetro dos decantadores em 30 m para aproveitar-se os 3 tanques disponíveis.

Número de decantadores necessários ($\varnothing = 30$ m)

$A = n \times \pi \times \varnothing^2/4 = 1.543$

$n = 2{,}2$

Sendo assim, apenas os 3 decantadores disponíveis serão suficientes para atender à esta etapa.

Nova área superficial

Área de 1 decantador $= \pi \times \varnothing^2/4 \approx 706\ m^2$

Área total dos 3 decantadores $= 3 \times 706 = 2.118\ m^2$ (valor superior ao mínimo necessário)

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q/A$

$A = 2.118\ m^2$

$v = 20,4\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume útil

Apesar dos tanques disponíveis possuírem uma altura útil de 4,5 metros será reduzida esta altura para 4,0 metros de forma a atender aos valores recomendados.

Profundidade lateral = 4,0 m

$V_{útil}$ unitário = 706 x 4 = 2.824 $m^3$

$V_{útil}$ total = 2.824 x 3 = 8.472 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque

$t = V/Q$

$t \approx 0,196\ d \approx 4,7\ h$ (valor superior ao mínimo recomendado de 1,5 h)

Deve-se verificar se a taxa de aplicação de sólidos é menor do que 144 kg $SS/m^2.d$.

Concentração de SSTA

$SSV \approx 0,7\ SST$

SSV (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado no item anterior)

SST (SSTA) = 2.857 mg/L

Taxa de aplicação de sólidos

Taxa de aplicação de sólidos = M/A

$M = (Q + Q_{rec})\ .\ SSTA$

$Q = 43.200\ m^3/d$

SSTA = 2.857 mg/l = 2,857 kg/$m^3$

$Q_{rec}$ = Q x r

r (razão de recirculação) = $X_a$ / ($X_u$ – $X_a$)

$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 8.000 mg/l (valor adotado)

$X_a$ = SST (SSTA) = 2.857 mg/l

r = 0,56

$Q_{rec}$ = 24.192 $m^3$/d

M = (43.200 + 24.192) x 2,857

M = 192.539 kg/d

A = 2.118 $m^2$ (calculado anteriormente)

Taxa de aplicação de sólidos ≈ 91 kg SS/$m^2$.d (valor dentro da faixa recomendada)

Ao término desta fase espera-se que a remoção de DBO e SST afluente ao sistema de tratamento de esgoto seja de aproximadamente 90%.

<u>Esgoto afluente ao sistema de tratamento de esgoto</u>

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L

$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

<u>Esgoto efluente do sistema de tratamento de esgoto</u>

Eficiência = ($DBO_{entra}$ – $DBO_{sai}$) / $DBO_{entra}$

Eficiência = 90%

$DBO_{efl.}$ = 20 mg/L

Eficiência = ($SST_{entra}$ – $SST_{sai}$) / $SST_{entra}$

Eficiência = 90%

$SST_{efl.}$ = 20 mg/L

**e) Dimensionamento do sistema tratamento de lodo.**

Quantidade de lodo removido no decantador primário

SST = 200 mg/L = 0,2 kg/ $m^3$
Remoção de SST = 50%

Massa de lodo coletado = Q x SST x 0,5

Será usada a vazão média considerando que o dimensionamento da fase sólida se baseia na massa diária de sólidos.

Q = 43.200 $m^3$/d

Massa de lodo coletado = 4.320 kg/d

Vazão de lodo coletado = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 4.320 kg/d
$\rho$ = 1,02
$\gamma$ = 1.000 kg/$m^3$
TS = 3% (valor adotado)

Vazão de lodo coletado ≈ 142 $m^3$/d

Quantidade de lodo removido no decantador secundário

$\theta_c$ x (Q" x $X_u$) = $X_a$ x V

Q" = vazão de excesso
$\theta_c$ = 7 d (valor adotado dentro da faixa recomendada de 7 a 10 dias)
$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 8.000 mg/l (valor adotado anteriormente)
$X_a$ = SST (SSTA) = 2.857 mg/l
$V_3$ = 9.540 $m^3$ (volume utilizado no processo de lodos ativados)

$Q'' = (X_a \times V) / (\theta_c \times X_u)$

$Q'' \approx 487\ m^3/d$

Massa = $Q'' \times X_u$

Massa = 3.896 kg/d

<u>Dimensionamento do adensador por gravidade (lodo primário)</u>

Formato do adensador: circular

Características do lodo primário:

Massa = 4.320 kg/d

Teor de sólidos = 3% (valor adotado anteriormente)

Vazão de lodo = 142 $m^3/d$

Serão utilizados os dados da Tabela 5 para o dimensionamento desta etapa.

Área necessária para adensamento = Massa / Taxa de aplicação

Taxa de aplicação de sólidos = 120 kg SS/$m^2$.d (valor adotado)

Área necessária = 36 $m^2$

Diâmetro:

$A = \pi \times (\varnothing^2/4)$

$\varnothing \approx 6{,}7$ m

Diâmetro adotado = 7 m (dentro da faixa recomendada)

Nova área ($\varnothing$ = 7 m): A = 38 $m^2$

Deve-se verificar se a taxa de aplicação hidráulica encontra-se dentro da faixa recomendada de 15 a 30 $m^3/m^2$.d quando temos lodo primário apenas.

Taxa de aplicação hidráulica = Vazão de lodo / Área

Taxa de aplicação hidráulica = 142 / 38

Taxa de aplicação hidráulica $\approx$ 3,7 $m^3/m^2$.d

Como esta taxa está abaixo da faixa recomendada adota-se a adição de “água de diluição” para satisfazer a taxa mínima de 15 $m^3/m^2$.d.

$Q_{diluição}$ = (15 $m^3/m^2.d$ x 38 $m^2$) – (142 $m^3/d$)

$Q_{diluição}$ = 428 $m^3/d$

Volume do adensador:

Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado dentro da faixa recomendada de 3 a 4 m)

Volume = 38 x 3,5

Volume = 133 $m^3$

Tempo de detenção global:

t = V / Q

Q = Vazão de lodo + Vazão de diluição = 570 $m^3/d$

t ≈ 0,233 d ≈ 5,6 h

Ao término desta etapa de adensamento espera-se que o teor de sólidos no lodo primário passe de 3% para 6% e, com isso, tem-se uma diminuição do volume que seguirá ao digestor anaeróbio.

Cálculo do novo volume:

$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$

$V_1$ = Vazão de lodo primário sem adensamento = 142 $m^3/d$

$TS_1$ = 3%

$TS_2$ = 6%

$V_2$ = Vazão de lodo primário após adensamento = 71 $m^3/d$

<u>Centrífuga de adensamento (lodo secundário)</u>

É preciso saber a capacidade necessária da centrífuga de adensamento ($m^3/h$). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo secundário = 487 $m^3/d$

Vazão de lodo a ser adensado por hora = 487 / 12 ≈ 41 $m^3/h$

Adotando o uso de 2 centrífugas a vazão distribuída para cada centrífuga será de aproximadamente 21 $m^3/h$ e tem-se as seguintes dimensões (informações do

catálogo “IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.”):

Modelo HS-506L
Comprimento = 3,83 m
Largura = 2,38 m
Altura = 1,04 m

Além destas 2 centrífugas, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 0,8% ($X_u$ = 8.000 mg/L adotado anteriormente) para 5% (dentro da faixa de 3 a 6% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão de lodo secundário sem adensamento = 487 $m^3/d$
$TS_1$ = 0,8%
$TS_2$ = 5%
$V_2$ = Vazão de lodo secundário após adensamento ≈ 78 $m^3/d$

<u>Dimensionamento dos digestores após fase de adensamento</u>

Os seguintes parâmetros são fixados:

Tempo de digestão = 20 dias
Altura (H) = 20 m
Diâmetro (∅) = 10 m
Formato: Cilíndrico

Para o dimensionamento desta unidade é preciso saber a vazão total de lodo que será a soma da vazão advinda do adensador por gravidade com a vazão da centrífuga de adensamento.

$Q_{total} = Q_{adensador} + Q_{centrífuga}$
$Q_{adensador}$ = 71 $m^3/d$

$Q_{centrífuga}$ = 78 $m^3$/d
$Q_{total}$ = 149 $m^3$/d

Tempo de digestão = Volume do digestor / Q total
Volume do digestor = 2.980 $m^3$

Tendo fixado a altura e diâmetro e sabendo o volume associado a estas dimensões pode-se encontrar o número de digestores necessários.

n = Volume do digestor / Volume unitário
Volume unitário ≈ 1.570 $m^3$
n = 1,9

Sendo assim, adotam-se 2 digestores com altura de 20 m, diâmetro de 10 m e volume total de 3.140 $m^3$.

<u>Nova massa e volume do lodo efluente do digestor (lodo digerido)</u>

Massa de lodo sem digestão = $Massa_{decantador\ primário}$ + $Massa_{decantador\ secundário}$
Massa de lodo coletado no decantador primário = 4.320 kg/d
Massa de lodo coletado no decantador secundário = 3.896 kg/d
Massa de lodo sem digestão = SST = 8.216 kg/d

Espera-se uma redução em cerca de 50% de SV no lodo digerido. O valor de SF permanece inalterado após a digestão.

SV ≈ 0,7 ST (a razão entre SSV e SST encontra-se na faixa de 0,7 a 0,8)
SV ≈ 5.751 kg/d
SF ≈ 8.216 – 5.751 ≈ 2.465 kg/d

Após a digestão tem-se:

SV = 0,5 x 5.751 = 2.876 kg/d
SF = 2.465 kg/d

Massa total de lodo digerido = 2.876 + 2.465 = 5.341 kg/d

Para quantificar a nova vazão de lodo digerido admite-se concentração de sólidos neste lodo de 4%.

Vazão de lodo digerido = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 5.341 kg/d
$\rho$ = 1,02
$\gamma$ = 1.000 kg/m$^3$
TS = 4% (valor adotado)

Vazão de lodo digerido = 131 m$^3$/d

<u>Desidratação</u>

O lodo digerido será enviado para desidratação em centrífugas de forma a reduzir ainda mais o seu volume e facilitar a sua disposição final.

O procedimento para encontrar a capacidade e dimensões das centrífugas será similar ao utilizado para as centrífugas de adensamento.

Vazão de lodo digerido = 131 m$^3$/d

É preciso saber a capacidade necessária da centrífuga de desidratação (m$^3$/h). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo a ser desidratada por hora = 131 / 12 $\approx$ 11 m$^3$/h

Adotando o uso de 1 centrífuga tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-505L
Comprimento = 3,40 m
Largura = 2,38 m
Altura = 1,04 m

Além desta centrífuga, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 4% (valor encontrado no lodo digerido) para 25% (dentro da faixa de 18 a 30% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:

$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$

$V_1$ = Vazão de lodo digerido = 131 $m^3/d$

$TS_1$ = 4%

$TS_2$ = 25%

$V_2$ = Vazão de lodo digerido após desidratação ≈ 21 $m^3/d$

<u>Edifício de tratamento de lodo</u>

Para esta hipótese de tratamento convencional as unidades presentes no edifício serão as centrífugas de adensamento e desidratação e as unidades de preparo dos polímeros. Seguem as dimensões adotadas com base nas premissas anteriormente citadas:

Edifício com 2 andares

Comprimento = 22 m

Largura = 14 m

## 5.4. Tabela comparativa das diferentes vazões

Tabela 6: Hipótese 1 - Tratamento convencional

| | Hipótese 1 (convencional) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Q = 1.000 l/s | | Q = 750 l/s | | Q = 500 l/s | |
| **Gradeamento** | ok | | ok | | ok | |
| **Caixa de areia** | n = 3<br>v = 1.280 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6 m<br>Profundidade = 1,2 m | | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6,7 m<br>Profundidade = 1,2 m | | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 5,5 m<br>Profundidade = 0,9 m | |
| **Decantador primário** | n = 2<br>v = 77 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 45 m<br>Largura = 20 m<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | | n = 2<br>v = 77 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 45 m<br>Largura = 15 m<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | | n = 2<br>v = 77 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 45 m<br>Largura = 10 m<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | |
| **Tanques de aeração (PLA)** | n = 5 (tanques disponíveis)<br>∅ = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | | n = 4 (tanques disponíveis)<br>∅ = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | | n = 3 (tanques disponíveis)<br>∅ = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | |
| **Decantador secundário** | n = 1 (tanque disponível)<br>∅ = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 4<br>∅ = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 2 (tanques disponíveis)<br>∅ = 30 m<br>v = 23 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 2<br>∅ = 30 m<br>v = 23 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 3 (tanques disponíveis)<br>∅ = 30 m<br>v = 20,4 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | |
| **Adensador por gravidade** | n = 1<br>∅ = 10 m<br>H = 3,5 m | | n = 1<br>∅ = 9 m<br>H = 3,5 m | | n = 1<br>∅ = 7 m<br>H = 3,5 m | |
| **Centrífuga de adensamento** | n = 3 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 23 $m^3/h$ | | n = 2 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 27 $m^3/h$ | | n = 2 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 21 $m^3/h$ | |
| **Digestor anaeróbio** | n = 4<br>∅ = 10 m<br>H = 20 m | | n = 3<br>∅ = 10 m<br>H = 20 m | | n = 2<br>∅ = 10 m<br>H = 20 m | |
| **Centrífuga de desidratação** | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 20 $m^3/h$ | | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 16 $m^3/h$ | | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 11 $m^3/h$ | |
| **Edifício de tratamento de lodo** | Andares = 2<br>Comprimento = 25 m<br>Largura = 14 m | | Andares = 2<br>Comprimento = 22 m<br>Largura = 14 m | | Andares = 2<br>Comprimento = 22 m<br>Largura = 14 m | |
| **Lodo sem adensamento e estabilização** | Massa de lodo primário = 8.640 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 283 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 6.496 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 811 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 15.136 kg/d<br>Vazão total de lodo = 1.094 $m^3/d$ | | Massa de lodo primário = 6.480 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 212 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 5.192 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 649 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 11.672 kg/d<br>Vazão total de lodo = 861 $m^3/d$ | | Massa de lodo primário = 4.320 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 142 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 3.896 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 487 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 8.216 kg/d<br>Vazão total de lodo = 629 $m^3/d$ | |
| **Lodo desidratado e estabilizado** | Massa de lodo = 9.836 kg/d<br>Vazão de lodo = 39 $m^3/d$ | | Massa de lodo = 7.587 kg/d<br>Vazão de lodo = 30 $m^3/d$ | | Massa de lodo = 5.341 kg/d<br>Vazão de lodo = 21 $m^3/d$ | |

## 5.5. Layout das diferentes vazões

Unidades representadas nos desenhos:

- T: atuais tanques da ETE
- DP: decantador primário
- TA: tanque de aeração utilizado no processo de lodos ativados
- DS: decantador secundário
- A: adensador
- D: digestor de lodo
- ETL: edifício de tratamento de lodo
- UASB: reatores UASB

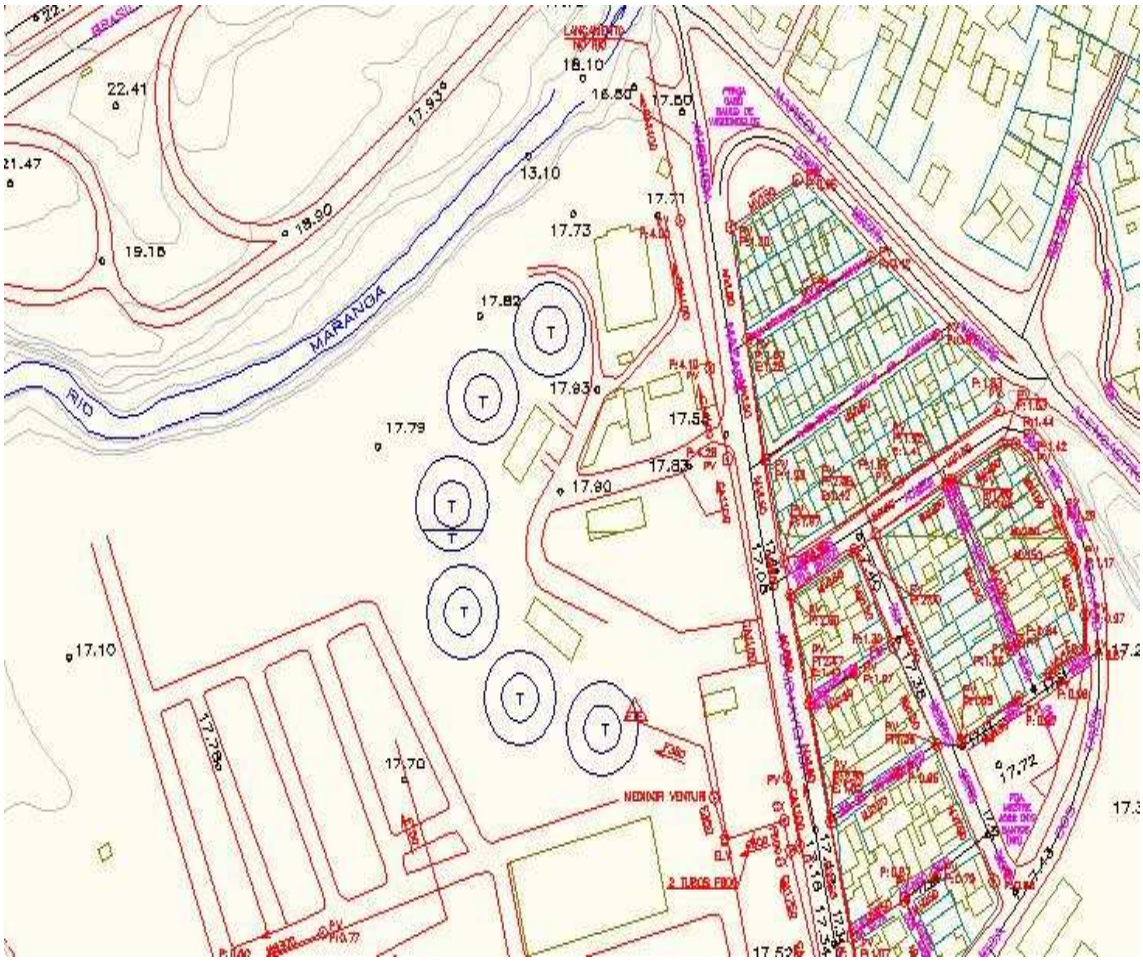


Figura 24: Layout original da ETE Deodoro

Figura 25: Hipótese 1 (convencional) - Vazão de 1.000 L/s

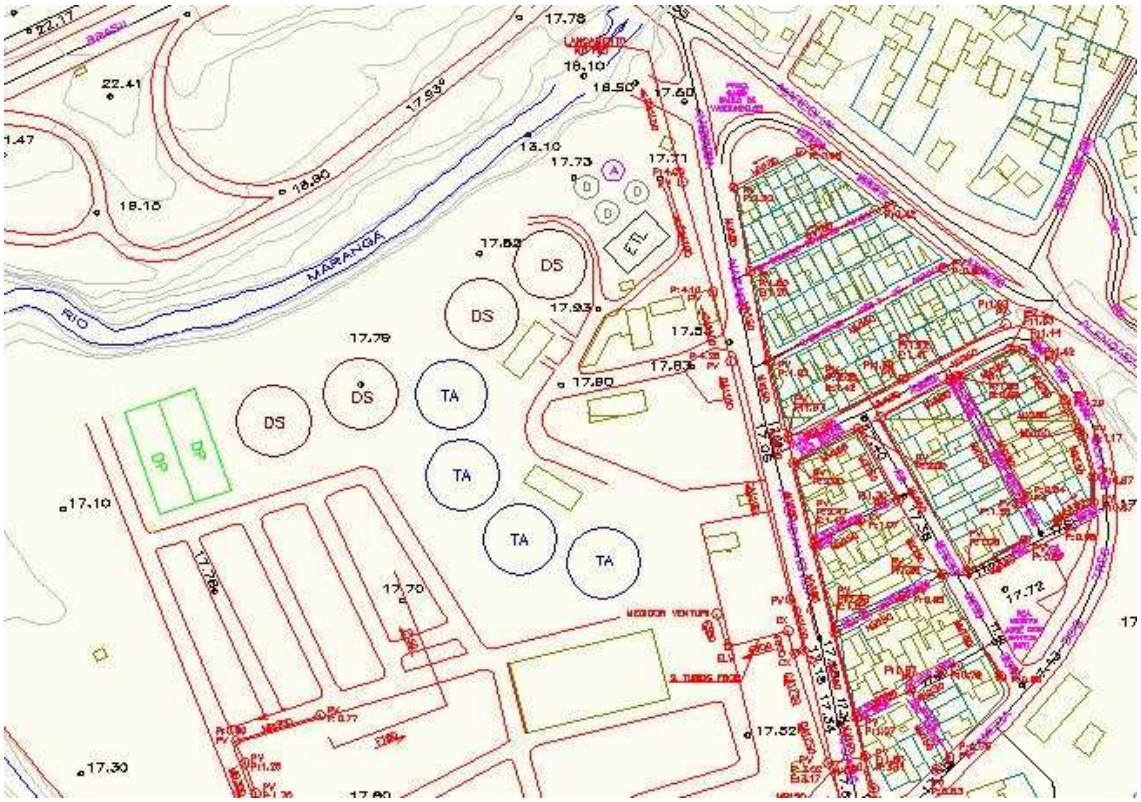


Figura 26: Hipótese 1 (convencional) – Vazão de 750 L/s

Figura 27: Hipótese 1 (convencional) - Vazão de 500 L/s

## 6. Hipótese 2 – Tratamento primário quimicamente assistido (CEPT) seguido de lodos ativados

Figura 28: Fluxograma da hipótese 2

### Gradeamento

Considerações já mencionadas na hipótese 1.

### Caixa de areia

Considerações já mencionadas na hipótese 1.

### Tratamento primário quimicamente assistido (CEPT)

O tratamento primário quimicamente assistido consiste na adição de reagentes químicos ao esgoto com o intuito de promover a coagulação química e a floculação e o, conseqüente, aumento da velocidade de sedimentação das partículas em função do aumento de seu tamanho. Este tipo de tratamento apresenta um maior potencial no recebimento de elevadas taxas de vazão superficial quando comparado ao processo de sedimentação convencional aplicado em nossa 1ª hipótese e maior eficiência na remoção de DBO e SST. Estas características são suficientes para uma economia nas dimensões e/ou número de decantadores primários da ETE (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Na coagulação são empregadas baixas concentrações de sais de ferro (faixa de 10 a 30 mg/l) combinadas ou não com polímeros catiônicos e nesta hipótese adotaremos o cloreto férrico ($FeCl_3$) como coagulante. A floculação é alcançada após a adição suplementar de polímeros aniônicos, onde a ação de forças eletrostáticas

promove o agrupamento das partículas coaguladas em flocos maiores (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

São listadas abaixo as principais vantagens e desvantagens deste tratamento em comparação ao processo de sedimentação convencional.

Vantagens:

- Maior eficiência de remoção de SST (70 a 85%) e DBO (45 a 55%);
- Maior eficiência na remoção de fósforo, desde que se pratique uma maior dosagem aplicada;
- Menor área ocupada e número de decantadores;
- Possível redução de odores com a aplicação do coagulante no ponto de entrada da ETE;
- Sendo menor a carga afluente à fase de tratamento secundário, os tanques de aeração, a potência instalada e a energia consumida serão menores;
- Menor custo de investimento inicial.

Desvantagens:

- Custos operacionais dos produtos químicos;
- Operação e manuseio de reagentes químicos;
- Maior geração de lodo primário. Este aumento pode variar na faixa de 15 a 30% e é função das características do esgoto, das taxas de vazão superficial, dos reagentes e dosagens aplicadas;
- Maiores custos de instalação e operação das unidades de tratamento de lodo.

De acordo com a Revisão da NBR 12.209 os seguintes parâmetros devem ser considerados no dimensionamento dos decantadores primários quimicamente assistidos:

- A vazão de dimensionamento do decantador primário deve ser a vazão máxima horária afluente à unidade;
- A taxa de escoamento superficial deve ser compatível com a eficiência de remoção desejada, e ainda igual ou inferior a 90 $m^3/m^2.d$ quando o processo for de decantação primária quimicamente assistida (processo “CEPT”);
- ETE com vazão de dimensionamento superior a 250 L/s deve ter mais de um decantador primário;

- O tempo de detenção hidráulica para a vazão média deve ser inferior a 3 h e, para a vazão máxima, superior a 1 h;
- Para decantador retangular a relação comprimento/profundidade mínima de água deve ser igual ou superior a 4:1; a relação largura/ profundidade mínima de água deve ser igual ou superior a 2:1; a relação comprimento/ largura deve ser igual ou superior a 2:1, e preferencialmente a 4:1;
- Para decantador retangular, a velocidade de escoamento horizontal deve ser igual ou inferior a 50 mm/s; quando recebe excesso de lodo ativado, a velocidade deve ser igual ou inferior a 20 mm/s.

**Processo convencional de lodos ativados**

Considerações já mencionadas na hipótese 1.

**Adensamento do lodo**

Considerações já mencionadas na hipótese 1.

**Estabilização química do lodo**

A chamada estabilização química do lodo consiste na adição de produtos químicos alcalinos de forma a elevar o pH até 12 ou mais, por pelo menos 2 horas, e impedir ou retardar substancialmente as ações dos microrganismos que tipicamente gerariam odores ofensivos, gases e proliferação de vetores (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Esta técnica não reduz o teor da matéria orgânica presente e o que ocorre é uma redução de microrganismos (99% ou mais) capaz de fazer com que o lodo tratado não entre em estado de putrefação nem ofereça riscos ambientais ou de saúde pública (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

A inativação dos microrganismos através da elevação do pH é facilmente obtida com a adição de cal, o produto alcalino de mais simples aplicação e igualmente o mais econômico. Como a reação da cal virgem aplicada ao lodo é exotérmica, o aumento da temperatura é da ordem de pelo menos 10º C e pode chegar até 50º C à medida que a dosagem de cal e o teor de sólidos no lodo sejam maiores. Além da cal virgem pode-se utilizar a cal apagada, $Ca(OH)_2$, mas o uso de cal virgem é mais indicado porque a sua reação com o lodo acarreta em um maior aumento na

temperatura e acarreta a inativação mais rápida de microrganismos e ovos (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Uma das principais vantagens deste processo é a grande economia de investimento inicial que proporciona em substituição aos digestores anaeróbios. Por outro lado, a principal desvantagem reside no aumento dos custos operacionais e na maior geração de lodo, que passa a incluir a massa de cal adicionada e aumenta o problema relativo ao destino final da massa contendo a mistura de lodo e cal (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

A seguir realizaremos o dimensionamento das unidades contidas nesta hipótese levando em consideração vazões de 1.000 L/s, 750 L/s e 500 L/s.

**6.1. <u>Q = 1.000 L/s</u>**

**a) Dimensionamento da caixa de areia.**

O dimensionamento desta unidade já foi calculado para a hipótese 1 (convencional) e seguem os valores encontrados:

Lado = 20' ≈ 6 m (valor de catálogo)
Profundidade = 4' ≈ 1,2 m (valor de catálogo)
Área unitária = 6 x 6 = 36 $m^2$

A necessária ≈ 106 $m^2$
n = 3
Área total = 3 x 36 = 108 $m^2$

Taxa de escoamento superficial (v) = 1.280 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume unitário = 36 x 1,2 = 43,2 $m^3$
Volume total = 3 x 43,2 = 129,6 $m^3$

Tempo de detenção (t) = 0,00094 d = 0,02 h = 1,2 min

**b) Dimensionamento das unidades do tratamento primário quimicamente assistido (CEPT).**

**Decantador**

A tabela a seguir contém os parâmetros e faixa de valores usuais necessários para o dimensionamento desta etapa. As informações foram retiradas da Revisão da NBR 12.209 e da 4ª edição do livro Tratamento de Esgotos Domésticos de autoria de Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessôa.

Tabela 7: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento do tratamento primário quimicamente assistido (CEPT)

| Parâmetros | Faixa de Valores |
|---|---|
| Vazão de projeto | Vazão máxima |
| Taxa de escoamento superficial (v) | ≤ 90 $m^3/m^2.d$ |
| Tempo de detenção hidráulica | ≥ 1 h, para vazão máxima |
| Diâmetro (formato circular) | De 3 a 60 m, mas faixa ideal é de 10 a 40 m |
| Profundidade lateral (formato circular) | De 2,5 a 4,0 m, mas faixa ideal é de 3,0 a 3,5 m |
| Inclinação do fundo (formato circular) | De 8 a 16% |
| Largura (formato retangular) | De 3 a 25 m, mas tipicamente entre 5 e 10 m |
| Comprimento (formato retangular) | De 10 a 90 m, mas tipicamente entre 25 e 40 m |
| Profundidade lateral (formato retangular) | De 3,0 a 3,5 m |
| Relação comprimento/profundidade (formato retangular) | ≥ 4:1 |
| Relação largura/profundidade (formato retangular) | ≥ 2:1 |
| Relação comprimento/largura (formato retangular) | ≥ 2:1 e preferencialmente 4:1 |
| Inclinação do fundo (formato retangular) | 1 a 2% |
| Remoção de DBO | 50% |
| Remoção de SST | 80% |

Vazão máxima

$Q_{máx} = 1,6 \times Q_{méd}$

$Q_{méd} = 1\ m^3/s = 86.400\ m^3/d$

$Q_{máx} = 1,6\ m^3/s = 138.240\ m^3/d$

Área superficial

$A = Q_{máx}/v$

$v = 90\ m^3/m^2.d$ (valor adotado)

$A = 1.536\ m^2$

Adota-se o comprimento de 45 metros, pois este é o valor que otimiza o espaço disponível no terreno para expansão da ETE.

Comprimento = 45 m (adotado dentro da faixa aceitável contida na Tabela 2)

Para satisfazer à relação entre comprimento/largura, tem-se:

Largura = 17,5 m

Valor da área superficial com os valores adotados

Área de 1 decantador = 45 x 17,5 = 787 $m^2$

Área de 2 decantadores = 2 x 787 = 1.574 $m^2$

Sendo assim, precisa-se de dois decantadores retangulares.

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q_{máx}/A$

$A = 1.574\ m^2$

$v = 88\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado de acordo com a Tabela 2)

Este valor adotado para a profundidade lateral satisfaz às relações entre comprimento:profundidade (≥4:1) e largura:profundidade (≥2:1).

Volume útil

$V_{útil}$ unitário = 787 x 3,5 = 2.754,5 $m^3$

$V_{útil}$ dos 2 decantadores = 2.888 x 2 = 5.509 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque

$t = V/Q_{máx}$

t = 0,042 d = 1,01 h (dentro da faixa aceitável)

Ao término desta fase espera-se que a remoção de DBO seja de cerca de 50% e de SST de cerca de 80%.

Esgoto afluente aos decantadores primários

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L

$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

Remoção de DBO = 50%

Remoção de SST = 80%

Esgoto efluente que seguirá para o processo de lodos ativados

$DBO_{efl.}$ = 100 mg/L

$SST_{efl.}$ = 40 mg/L

**c) Aproveitamento dos tanques existentes como tanques de aeração para o processo convencional de lodos ativados.**

Serão utilizados os dados da Tabela 3 para o dimensionamento desta etapa.

Sabe-se que os 6 tanques são circulares e tem-se os seguintes dados:

Altura útil (H) = 4,5 m

Diâmetro (∅) = 30 m

V unitário = 3.180 $m^3$

$V_6$ = 19.080 $m^3$

Cálculo da relação A/M

A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 1 $m^3/s$ = 86.400 $m^3/d$

DBO = 100 mg/L

$X_{av}$ = concentração de SSV no tanque de aeração (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)

$V_6$ = 19.080 $m^3$

A/M = 0,23 $d^{-1}$ (encontra-se dentro da faixa recomendada)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração

$t = V/Q$

$t = 0,221$ d $\approx$ 5,3 h (encontra-se dentro da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Será utilizada a alternativa de aumentar a relação A/M, sem exceder ao limite máximo, para que sejam necessários menos de seis tanques e seja possível aproveitar os tanques disponíveis como decantadores secundários, reduzindo o custo e o número de unidades dentro da ETE. Citou-se, anteriormente, que os decantadores secundários devem possuir as mesmas dimensões para que a vazão seja repartida igualmente (facilidade operacional) e, desta forma, fixou-se o diâmetro dos decantadores secundários em 30 m.

Cálculo da relação A/M (5 tanques)

$A/M = (Q \times DBO) / (X_{av} \times V)$

$Q = Q_{méd} = 1\ m^3/s = 86.400\ m^3/d$

DBO = 100 mg/L

$X_{av}$ (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)

$V_5 = 15.900\ m^3$

$A/M = 0,27\ d^{-1}$ (valor dentro da faixa recomendada)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (5 tanques)

$t = V/Q$

$t \approx 0,184$ d $\approx$ 4,4 h (valor dentro da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Sendo assim, tem-se a alternativa de apenas 5 tanques na etapa de lodos ativados e fica-se com 1 tanque disponível para ser utilizado na decantação secundária.

**d) Dimensionamento do decantador secundário para seguir ao processo convencional de lodos ativados.**

Esta alternativa é igual ao dimensionamento dos decantadores secundários da hipótese 1 (convencional) com a vazão de 1.000 L/s. Como este dimensionamento já foi realizado, seguem os valores encontrados:

n = 5
Tanque reaproveitado = 1
Tanques extras = 4

∅ = 30 m (valor fixado)
Área total = 3.530 $m^2$
Taxa de escoamento superficial (v) = 24,5 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)
V total = 14.120 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque ≈ 0,164 d ≈ 3,9 h (valor superior ao mínimo recomendado de 1,5 h)
Taxa de aplicação de sólidos ≈ 102 kg $SS/m^2.d$ (valor dentro da faixa recomendada)

<u>Esgoto afluente aos decantadores primários</u>
$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L
$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

Remoção de DBO = 90%
Remoção de SST = 90%

<u>Esgoto efluente do sistema de tratamento de esgotos</u>
$DBO_{efl.}$ = 20 mg/L
$SST_{efl.}$ = 20 mg/L

**e) Dimensionamento da etapa de estabilização química do lodo.**

<u>Quantificação do lodo removido no decantador primário</u>

Sabe-se que o decantador primário possui uma eficiência de remoção de SST de 80% e um valor de SST afluente de 200 mg/L. Com estes valores pode-se calcular a massa e a vazão de lodo coletado.

Massa de lodo coletado = Q x SST x 0,8

Será usada a vazão média considerando que o dimensionamento da fase sólida se baseia na massa de sólidos diária.

$Q = 1\ m^3/s = 86.400\ m^3/d$
$SST = 200\ mg/L = 0,2\ kg/m^3$

Massa de lodo coletado = 13.824 kg/d

Vazão de lodo coletado = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 13.824 kg/d
$\rho = 1,02$
$\gamma = 1.000\ kg/m^3$
TS = 3% (valor adotado)

Vazão de lodo coletado = 452 $m^3/d$

<u>Quantificação do lodo removido no decantador secundário</u>

Para calcular a geração de lodo no decantador secundário será preciso fixar um valor para idade do lodo (valores recomendados na Tabela 3). A idade do lodo representa o tempo médio que uma partícula em suspensão permanece sob aeração.

$\theta_c$ x (Q" x $X_u$) = $X_a$ x V

Q" = vazão de excesso
$\theta_c$ = 7 d (valor adotado dentro da faixa recomendada de 7 a 10 dias)
$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 8.000 mg/L (valor adotado anteriormente)
$X_a$ = SST (SSTA) = 2.857 mg/L
$V = V_5 = 15.900\ m^3$

Q" = ($X_a$ x V) / ($\theta_c$ x $X_u$)
Q" ≈ 811 $m^3/d$

Massa = Q" x $X_u$
Massa = 6.496 kg/d

Antes da adição de cal ao lodo visando sua estabilização será feito o adensamento deste lodo e a, posterior, desidratação.

Assim como na hipótese 1 visa-se a maximização da eficiência deste adensamento e o lodo primário será separado do lodo secundário. Desta forma, serão utilizados adensadores de gravidade para o lodo primário e centrífugas para o lodo secundário. Para a fase de desidratação serão utilizadas apenas centrífugas.

Dimensionamento do adensador por gravidade (lodo primário)

Formato do adensador: circular

Características do lodo primário:
Massa = 13.824 kg/d
Teor de sólidos = 3%
Vazão de lodo = 452 $m^3$/d

Serão utilizados os dados da Tabela 5 para o dimensionamento desta etapa.

Área necessária para adensamento = Massa / Taxa de aplicação
Taxa de aplicação de sólidos = 120 kg SS/$m^2$.d (valor adotado)
Área necessária = 13.824 / 120
Área necessária ≈ 116 $m^2$

Diâmetro:
$A = \pi \times (\varnothing^2/4)$
$A = 116\ m^2$
$\varnothing \approx 12{,}2$ m
Diâmetro adotado = 13 m (dentro da faixa recomendada)

Cálculo da nova área ($\varnothing$ = 13 m):
$A \approx 132\ m^2$

Deve-se verificar se a taxa de aplicação hidráulica encontra-se dentro da faixa recomendada de 15 a 30 $m^3/m^2$.d quando temos lodo primário apenas.

Taxa de aplicação hidráulica = Vazão de lodo / Área

Taxa de aplicação hidráulica = 452 / 132

Taxa de aplicação hidráulica ≈ 3,4 $m^3/m^2.d$

Como esta taxa está abaixo da faixa recomendada adota-se a adição de "água de diluição" para satisfazer a taxa mínima de 15 $m^3/m^2.d$

$Q_{diluição}$ = (15 $m^3/m^2.d$ x 132 $m^2$) – (452 $m^3/d$)

$Q_{diluição}$ = 1.528 $m^3/d$

Volume do adensador:

Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado dentro da faixa recomendada de 3 a 4 m)

Volume = 132 x 3,5

Volume = 462 $m^3$

Tempo de detenção global:

t = V / Q

Q = Vazão de lodo + Vazão de diluição = 1.980 $m^3/d$

t ≈ 0,233 d ≈ 5,6 h

Ao término desta etapa de adensamento espera-se que o teor de sólidos no lodo primário passe de 3% para 6% e, com isso, tem-se uma diminuição do volume que seguirá para a desidratação.

Cálculo do novo volume:

$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$

$V_1$ = Vazão de lodo primário sem adensamento = 452 $m^3/d$

$TS_1$ = 3%

$TS_2$ = 6%

$V_2$ = Vazão de lodo primário após adensamento = 226 $m^3/d$

<u>Centrífuga de adensamento (lodo secundário)</u>

Esta alternativa é igual ao dimensionamento das centrífugas de adensamento da hipótese 1 (convencional) com a vazão de 1.000 L/s. Como este dimensionamento já foi realizado, seguem os valores encontrados:

Tempo de operação das centrífugas = 12 h/d durante os 7 dias da semana

Vazão de lodo a ser adensado por hora ≈ 68 $m^3/h$

Adotando o uso de 3 centrífugas a vazão distribuída para cada centrífuga será de aproximadamente 23 $m^3/h$ e tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-556L
Comprimento = 4,33 m
Largura = 2,70 m
Altura = 1,08 m

Além destas 3 centrífugas, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 0,8% ($X_u$ = 8.000 mg/L adotado anteriormente) para 5% (dentro da faixa de 3 a 6% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume a ser enviado para a desidratação:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão de lodo secundário sem adensamento = 811 $m^3/d$
$TS_1$ = 0,8%
$TS_2$ = 5%
$V_2$ = Vazão de lodo secundário após adensamento = 130 $m^3/d$

<u>Etapa de desidratação</u>

Nesta etapa o lodo primário será misturado com o lodo secundário e a desidratação será feita com uso de centrífugas e o procedimento para encontrar sua capacidade e dimensões será similar ao utilizado para as centrífugas de adensamento.

Vazão de lodo primário após adensamento = 226 $m^3/d$
Vazão de lodo secundário após adensamento = 130 $m^3/d$
Vazão de lodo a ser desidratado = 226 + 130 = 356 $m^3/d$

É preciso saber a capacidade necessária da centrífuga de desidratação ($m^3/h$). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo a ser desidratado por hora = 356 / 12 ≈ 30 $m^3/h$

Adotando o uso de 1 centrífuga tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-705L
Comprimento = 4,88 m
Largura = 3,35 m
Altura = 1,48 m

Além desta centrífuga, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de aproximadamente 5% para 25% (dentro da faixa de 18 a 30% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão de lodo misto adensado = 356 $m^3/d$
$TS_1$ = 5%
$TS_2$ = 25%
$V_2$ = Vazão de lodo misto após desidratação ≈ 71 $m^3/d$

<u>Quantificação da cal utilizada na estabilização química do lodo após a etapa de desidratação</u>

Será fixada uma adição de cal na proporção de 20% do valor gerado de lodo.

Massa de lodo coletado no decantador primário = 13.824 kg/d (calculado anteriormente)
Massa de lodo coletado no decantador secundário = 6.496 kg/d (calculado anteriormente)

Massa total = 13.824 + 6.493 = 20.317 kg/d

Massa de cal utilizada = 0,2 x Massa total
Massa de cal utilizada ≈ 4.064 kg/d

A misturação de cal ao lodo será realizada em uma unidade adicional de mistura (tremonha) e utilizando o lodo seco.

Edifício de tratamento de lodo

Para saber as dimensões deste edifício toma-se como base a necessidade de um edifício com 2 pavimentos e área disponível para abrigar as centrífugas de adensamento e desidratação, as unidades de preparo dos polímeros e as unidades para misturação da cal ao lodo.

Seguem as dimensões adotadas com base nos objetivos acima considerados:

Edifício com 2 andares
Comprimento = 32 m
Largura = 14 m

**6.2. Q = 750 L/s**

**a) Dimensionamento da caixa de areia.**

O dimensionamento desta unidade já foi calculado para a hipótese 1 (convencional) e seguem os valores encontrados:

Lado = 22' ≈ 6,7 m (valor de catálogo)
Profundidade = 4' ≈ 1,2 m (valor de catálogo)
Área unitária = 6,7 x 6,7 = 45 $m^2$

A necessária ≈ 80 $m^2$
n = 2
Área total = 2 x 45 = 90 $m^2$
Taxa de escoamento superficial (v) = 1.152 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume unitário = 45 x 1,2 = 54 $m^3$
Volume total = 2 x 54 = 108 $m^3$

Tempo de detenção (t) = 0,00104 d = 0,025 h = 1,5 min

**b) Dimensionamento das unidades do tratamento primário quimicamente assistido (CEPT).**

**Decantador**

Serão utilizados os dados contidos na Tabela 6 para o dimensionamento desta etapa.

Vazão máxima
$Q_{máx}$ = 1,6 x $Q_{méd}$
$Q_{méd}$ = 0,75 $m^3/s$ = 64.800 $m^3/d$
$Q_{máx}$ = 1,2 $m^3/s$ = 103.680 $m^3/d$

Área superficial
A = $Q_{máx}/v$
v = 90 $m^3/m^2.d$ (valor adotado)
A = 1.152 $m^2$

Comprimento = 45 m (adotado dentro da faixa aceitável contida na Tabela 2)
Largura = 13,5 m (atende à relação comprimento/largura ≥ 2:1)

Valor da área superficial com os valores adotados
Área de 1 decantador = 45 x 13,5 = 607,5 $m^2$
Área de 2 decantadores = 2 x 607,5 = 1.215 $m^2$

Sendo assim, precisa-se de dois decantadores retangulares.

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q_{máx}/A$

$A = 1.215\ m^2$

$v = 85\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado de acordo com a Tabela 2)

Este valor adotado para a profundidade lateral satisfaz às relações entre comprimento:profundidade (≥4:1) e largura:profundidade (≥2:1).

Volume útil

$V_{útil}$ unitário = 607,5 x 3,5 = 2.127 $m^3$

$V_{útil}$ dos 2 decantadores = 2.127 x 2 = 4.254 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque

$t = V/Q_{máx}$

t = 0,042 d = 1,01 h (dentro da faixa aceitável)

Ao término desta fase espera-se que a remoção de DBO seja de cerca de 50% e de SST de cerca de 80%.

Esgoto afluente aos decantadores primários

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L

$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

Remoção de DBO = 50%

Remoção de SST = 80%

Esgoto efluente que seguirá para o processo de lodos ativados

$DBO_{efl.}$ = 100 mg/L

$SST_{efl.}$ = 40 mg/L

**c) Aproveitamento dos tanques existentes como tanques de aeração para o processo convencional de lodos ativados.**

Serão utilizados os dados da Tabela 3 para o dimensionamento desta etapa.

Sabe-se que os 6 tanques são circulares e tem-se os seguintes dados:

Altura útil (H) = 4,5 m
Diâmetro (∅) = 30 m
V unitário = 3.180 $m^3$
$V_6$ = 19.080 $m^3$

Cálculo da relação A/M
A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 0,75 $m^3/s$ = 64.800 $m^3/d$
DBO = 100 mg/L
$X_{av}$ = concentração de SSV no tanque de aeração (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)
$V_6$ = 19.080 $m^3$

A/M = 0,17 $d^{-1}$ (encontra-se fora da faixa recomendada)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração
t = V/Q
t = 0,295 d ≈ 7,1 h (encontra-se dentro da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Como os valores encontram-se fora das faixas recomendadas será utilizada uma alternativa com menos de seis tanques e os tanques disponíveis serão aproveitados como decantadores secundários, reduzindo o custo e o número de unidades dentro da ETE. Citou-se, anteriormente, que os decantadores secundários devem possuir as mesmas dimensões para que a vazão seja repartida igualmente (facilidade operacional) e, desta forma, fixou-se o diâmetro dos decantadores secundários em 30 m.

Cálculo da relação A/M (4 tanques)
A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 0,75 $m^3/s$ = 64.800 $m^3/d$
DBO = 100 mg/L
$X_{av}$ (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)
$V_4$ = 12.720 $m^3$

A/M = 0,25 $d^{-1}$ (valor dentro da faixa recomendada)

<u>Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (4 tanques)</u>

t = V/Q

t ≈ 0,196 d ≈ 4,7 h (valor dentro da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Sendo assim, tem-se a alternativa de apenas 4 tanques na etapa de lodos ativados e fica-se com 2 tanques disponíveis para serem utilizados na decantação secundária.

**d) Dimensionamento do decantador secundário para seguir ao processo convencional de lodos ativados.**

Esta alternativa é igual ao dimensionamento dos decantadores secundários da hipótese 1 (convencional) com a vazão de 750 L/s. Como este dimensionamento já foi realizado, seguem os valores encontrados:

n = 4

Tanques reaproveitados = 2

Tanques extras = 2

∅ = 30 m (valor fixado)

Área total = 2.824 $m^2$

Taxa de escoamento superficial (v) = 23 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

V total = 11.296 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque ≈ 0,174 d ≈ 4,2 h (valor superior ao mínimo recomendado de 1,5 h)

Taxa de aplicação de sólidos ≈ 102 kg $SS/m^2.d$ (valor dentro da faixa recomendada)

<u>Esgoto afluente aos decantadores primários</u>

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L

$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

Remoção de DBO = 90%
Remoção de SST = 90%

Esgoto efluente do sistema de tratamento de esgotos
$DBO_{efl.}$ = 20 mg/L
$SST_{efl.}$ = 20 mg/L

**e) Dimensionamento da etapa de estabilização química do lodo.**

Quantificação do lodo removido no decantador primário

Sabe-se que o decantador primário possui uma eficiência de remoção de SST de 80% e um valor de SST afluente de 200 mg/L. Com estes valores pode-se calcular a massa e a vazão de lodo coletado.

Massa de lodo coletado = Q x SST x 0,8

Será usada a vazão média considerando que o dimensionamento da fase sólida se baseia na massa de sólidos diária.

Q = 0,75 $m^3/s$ = 64.800 $m^3/d$
SST = 200 mg/L = 0,2 $kg/m^3$

Massa de lodo coletado = 10.368 kg/d

Vazão de lodo coletado = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 10.368 kg/d
$\rho$ = 1,02
$\gamma$ = 1.000 $kg/m^3$
TS = 3% (valor adotado)

Vazão de lodo coletado = 339 $m^3/d$

Quantificação do lodo removido no decantador secundário

Para calcular a geração de lodo no decantador secundário será preciso fixar um valor para idade do lodo (valores recomendados na Tabela 3). A idade do lodo representa o tempo médio que uma partícula em suspensão permanece sob aeração.

$\theta_c$ x (Q" x $X_u$) = $X_a$ x V

Q" = vazão de excesso
$\theta_c$ = 7 d (valor adotado dentro da faixa recomendada de 7 a 10 dias)
$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 8.000 mg/L (valor adotado anteriormente)
$X_a$ = SST (SSTA) = 2.857 mg/L
V = $V_4$ = 12.720 $m^3$

Q" = ($X_a$ x V) / ($\theta_c$ x $X_u$)
Q" ≈ 649 $m^3$/d

Massa = Q" x $X_u$
Massa = 5.193 kg/d

Antes da adição de cal ao lodo visando sua estabilização será feito o adensamento deste lodo e a, posterior, desidratação.

Assim como na hipótese 1 visa-se a maximização da eficiência deste adensamento e o lodo primário será separado do lodo secundário. Desta forma, serão utilizados adensadores de gravidade para o lodo primário e centrífugas para o lodo secundário. Para a fase de desidratação serão utilizadas apenas centrífugas.

Dimensionamento do adensador por gravidade (lodo primário)

Formato do adensador: circular

Características do lodo primário:
Massa = 10.368 kg/d
Teor de sólidos = 3%
Vazão de lodo = 339 $m^3$/d

Serão utilizados os dados da Tabela 5 para o dimensionamento desta etapa.

Área necessária para adensamento = Massa / Taxa de aplicação
Taxa de aplicação de sólidos = 120 kg SS/$m^2$.d (valor adotado)
Área necessária = 10.368 / 120
Área necessária ≈ 86 $m^2$

Diâmetro:
$A = \pi \times (\varnothing^2/4)$
$A = 86\ m^2$
$\varnothing \approx 10{,}5$ m
Diâmetro adotado = 11 m (dentro da faixa recomendada)

Cálculo da nova área ($\varnothing$ = 11 m):
$A \approx 95\ m^2$

Deve-se verificar se a taxa de aplicação hidráulica encontra-se dentro da faixa recomendada de 15 a 30 $m^3/m^2$.d quando tem-se lodo primário apenas.

Taxa de aplicação hidráulica = Vazão de lodo / Área necessária
Taxa de aplicação hidráulica = 339 / 95
Taxa de aplicação hidráulica ≈ 3,6 $m^3/m^2$.d

Como esta taxa está abaixo da faixa recomendada adota-se a adição de "água de diluição" para satisfazer a taxa mínima de 15 $m^3/m^2$.d

$Q_{diluição} = (15\ m^3/m^2.d \times 95\ m^2) - (339\ m^3/d)$
$Q_{diluição} = 1.086\ m^3/d$

Volume do adensador:
Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado dentro da faixa recomendada de 3 a 4 m)
Volume = 95 x 3,5
Volume = 333 $m^3$

Tempo de detenção global:

$t = V / Q$

$Q$ = Vazão de lodo + Vazão de diluição = 1.425 $m^3/d$

$t \approx 0{,}233$ d $\approx 5{,}6$ h

Ao término desta etapa de adensamento espera-se que o teor de sólidos no lodo primário passe de 3% para 6% e, com isso, tem-se uma diminuição do volume que seguirá para a desidratação.

Cálculo do novo volume:

$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$

$V_1$ = Vazão de lodo primário sem adensamento = 339 $m^3/d$

$TS_1 = 3\%$

$TS_2 = 6\%$

$V_2$ = Vazão de lodo primário após adensamento = 170 $m^3/d$

<u>Centrífuga de adensamento (lodo secundário)</u>

Esta alternativa é igual ao dimensionamento das centrífugas de adensamento da hipótese 1 (convencional) com a vazão de 750 L/s. Como este dimensionamento já foi realizado, seguem os valores encontrados:

Tempo de operação das centrífugas = 12 h/d durante os 7 dias da semana

Vazão de lodo a ser adensado por hora $\approx$ 54 $m^3/h$

Adotando o uso de 2 centrífugas a vazão distribuída para cada centrífuga será de aproximadamente 27 $m^3/h$ e tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-556L

Comprimento = 4,33 m

Largura = 2,7 m

Altura = 1,08 m

Além destas 2 centrífugas, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 0,8% ($X_u$ = 8.000 mg/L adotado anteriormente) para 5% (dentro da faixa de 3 a 6% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:

$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$

$V_1$ = Vazão de lodo secundário sem adensamento = 649 $m^3/d$

$TS_1$ = 0,8%

$TS_2$ = 5%

$V_2$ = Vazão de lodo secundário após adensamento ≈ 104 $m^3/d$

Etapa de desidratação

Nesta etapa o lodo primário será misturado com o lodo secundário e a desidratação será feita com uso de centrífugas e o procedimento para encontrar sua capacidade e dimensões será similar ao utilizado para as centrífugas de adensamento.

Vazão de lodo primário após adensamento = 170 $m^3/d$

Vazão de lodo secundário após adensamento = 104 $m^3/d$

Vazão de lodo a ser desidratado = 170 + 104 = 274 $m^3/d$

É preciso saber a capacidade necessária da centrífuga de desidratação ($m^3/h$). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo a ser desidratado por hora = 356 / 12 ≈ 23 $m^3/h$

Adotando o uso de 1 centrífuga tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-556L

Comprimento = 4,33 m

Largura = 2,7 m

Altura = 1,08 m

Além desta centrífuga, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de aproximadamente 5% para 25% (dentro da faixa de 18 a 30% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:

$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$

$V_1$ = Vazão de lodo misto adensado = 274 $m^3/d$

$TS_1$ = 5%

$TS_2$ = 25%

$V_2$ = Vazão de lodo misto após desidratação ≈ 55 $m^3/d$

<u>Quantificação da cal utilizada na estabilização química do lodo após a etapa de desidratação</u>

Será fixada uma adição de cal na proporção de 20% do valor gerado de lodo.

Massa de lodo coletado no decantador primário = 10.368 kg/d (calculado anteriormente)

Massa de lodo coletado no decantador secundário = 5.193 kg/d (calculado anteriormente)

Massa total = 10.368 + 5.193 = 15.561 kg/d

Massa de cal utilizada = 0,2 x Massa total

Massa de cal utilizada ≈ 3.112 kg/d

A misturação de cal ao lodo será realizada em uma unidade adicional de mistura (tremonha) e utilizando o lodo seco.

<u>Edifício de tratamento de lodo</u>

Para saber as dimensões deste edifício toma-se como base a necessidade de um edifício com 2 pavimentos e área disponível para abrigar as centrífugas de adensamento e desidratação, as unidades de preparo dos polímeros e as unidades para misturação da cal ao lodo.

Seguem as dimensões adotadas com base nos objetivos acima considerados:

Edifício com 2 andares
Comprimento = 29 m
Largura = 14 m

**6.3. <u>Q = 500 L/s</u>**

**a) Dimensionamento da caixa de areia.**

O dimensionamento desta unidade já foi calculado para a hipótese 1 (convencional) e seguem os valores encontrados:

Lado = 18' ≈ 5,5 m (valor de catálogo)
Profundidade = 3' ≈ 0,9 m (valor de catálogo)
Área unitária = 5,5 x 5,5 ≈ 30 $m^2$

A necessária ≈ 53 $m^2$
n = 2
Área total = 2 x 30 = 60 $m^2$

Taxa de escoamento superficial (v) = 1.152 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume unitário = 30 x 0,9 = 27 $m^3$
Volume total = 2 x 27 = 54 $m^3$

Tempo de detenção (t) = 0,00078 d = 0,019 h = 1,1 min

**b) Dimensionamento das unidades do tratamento primário quimicamente assistido (CEPT).**

**<u>Decantador</u>**

Serão utilizados os dados contidos na Tabela 6 para o dimensionamento desta etapa.

Vazão máxima

$Q_{máx} = 1,6 \times Q_{méd}$

$Q_{méd} = 0,5\ m^3/s = 43.200\ m^3/d$

$Q_{máx} = 0,8\ m^3/s = 69.120\ m^3/d$

Área superficial

$A = Q_{máx}/v$

$v = 90\ m^3/m^2.d$ (valor adotado)

$A = 768\ m^2$

Comprimento = 40 m (adotado dentro da faixa aceitável contida na Tabela 2)

Largura = 10 m (atende à relação comprimento/largura ≥ 2:1)

Valor da área superficial com os valores adotados

Área de 1 decantador = 40 x 10 = 400 $m^2$

Área de 2 decantadores = 2 x 400 = 800 $m^2$

Sendo assim, precisa-se de dois decantadores retangulares.

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q_{máx}/A$

$A = 800\ m^2$

$v = 86\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado de acordo com a Tabela 2)

Este valor adotado para a profundidade lateral satisfaz às relações entre comprimento:profundidade (≥4:1) e largura:profundidade (≥2:1).

Volume útil

$V_{útil}$ unitário = 400 x 3,5 = 1.400 $m^3$

$V_{útil}$ dos 2 decantadores = 1.400 x 2 = 2.800 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque

$t = V/Q_{máx}$

t = 0,041 d = 1,0 h (dentro da faixa aceitável)

Ao término desta fase espera-se que a remoção de DBO seja de cerca de 50% e de SST de cerca de 80%.

Esgoto afluente aos decantadores primários

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L

$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

Remoção de DBO = 50%

Remoção de SST = 80%

Esgoto efluente que seguirá para o processo de lodos ativados

$DBO_{efl.}$ = 100 mg/L

$SST_{efl.}$ = 40 mg/L

**c) Aproveitamento dos tanques existentes como tanques de aeração para o processo convencional de lodos ativados.**

Serão utilizados os dados da Tabela 3 para o dimensionamento desta etapa.

Sabe-se que os 6 tanques são circulares e tem-se os seguintes dados:

Altura útil (H) = 4,5 m

Diâmetro (∅) = 30 m

V unitário = 3.180 $m^3$

$V_6$ = 19.080 $m^3$

Cálculo da relação A/M

$A/M = (Q \times DBO) / (X_{av} \times V)$

$Q = Q_{méd}$ = 0,5 $m^3/s$ = 43.200 $m^3/d$

DBO = 100 mg/L

$X_{av}$ = concentração de SSV no tanque de aeração (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)

$V_6$ = 19.080 $m^3$

A/M = 0,11 $d^{-1}$ (encontra-se fora da faixa recomendada)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração

t = V/Q

t = 0,442 d ≈ 10,6 h (encontra-se fora da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Como os valores encontram-se fora das faixas recomendadas será utilizada uma alternativa com menos de seis tanques e os tanques disponíveis serão aproveitados como decantadores secundários, reduzindo o custo e o número de unidades dentro da ETE. Citou-se, anteriormente, que os decantadores secundários devem possuir as mesmas dimensões para que a vazão seja repartida igualmente (facilidade operacional) e, desta forma, fixou-se o diâmetro dos decantadores secundários em 30 m.

Cálculo da relação A/M (3 tanques)

A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 0,5 $m^3$/s = 43.200 $m^3$/d

DBO = 100 mg/L

$X_{av}$ (SSVTA) = 2.000 mg/L (valor adotado)

$V_3$ = 9.540 $m^3$

A/M = 0,23 $d^{-1}$ (valor dentro da faixa recomendada)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (3 tanques)

t = V/Q

t ≈ 0,221 d ≈ 5,3 h (valor dentro da faixa recomendada de 4 a 8 h)

Sendo assim, tem-se a alternativa de apenas 3 tanques na etapa de lodos ativados e fica-se com 3 tanques disponíveis para serem utilizados na decantação secundária.

**d) Dimensionamento do decantador secundário para seguir ao processo convencional de lodos ativados.**

Esta alternativa é igual ao dimensionamento dos decantadores secundários da hipótese 1 (convencional) com a vazão de 500 L/s. Como este dimensionamento já foi realizado, seguem os valores encontrados:

n = 3
Tanques reaproveitados = 3
Tanques extras = 0

∅ = 30 m (valor fixado)
Área total = 2.118 $m^2$
Taxa de escoamento superficial (v) = 20,4 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)
V total = 8.472 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque ≈ 0,196 d ≈ 4,7 h (valor superior ao mínimo recomendado de 1,5 h)
Taxa de aplicação de sólidos ≈ 91 kg $SS/m^2.d$ (valor dentro da faixa recomendada)

<u>Esgoto afluente aos decantadores primários</u>
$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L
$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

Remoção de DBO = 90%
Remoção de SST = 90%

<u>Esgoto efluente do sistema de tratamento de esgotos</u>
$DBO_{efl.}$ = 20 mg/L
$SST_{efl.}$ = 20 mg/L

**e) Dimensionamento da etapa de estabilização química do lodo.**

Quantificação do lodo removido no decantador primário

Sabe-se que o decantador primário possui uma eficiência de remoção de SST de 80% e um valor de SST afluente de 200 mg/L. Com estes valores pode-se calcular a massa e a vazão de lodo coletado.

Massa de lodo coletado = Q x SST x 0,8

Será usada a vazão média considerando que o dimensionamento da fase sólida se baseia na massa de sólidos diária.

Q = 0,5 $m^3/s$ = 43.200 $m^3/d$
SST = 200 mg/L = 0,2 $kg/m^3$

Massa de lodo coletado = 6.912 kg/d

Vazão de lodo coletado = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 6.912 kg/d
$\rho$ = 1,02
$\gamma$ = 1.000 $kg/m^3$
TS = 3% (valor adotado)

Vazão de lodo coletado = 226 $m^3/d$

Quantificação do lodo removido no decantador secundário

Para calcular a geração de lodo no decantador secundário será preciso fixar um valor para idade do lodo (valores recomendados na Tabela 3). A idade do lodo representa o tempo médio que uma partícula em suspensão permanece sob aeração.

$\theta_c$ x (Q" x $X_u$) = $X_a$ x V

Q" = vazão de excesso

$\theta_c$ = 7 d (valor adotado dentro da faixa recomendada de 7 a 10 dias)

$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 8.000 mg/L (valor adotado anteriormente)

$X_a$ = SST (SSTA) = 2.857 mg/L

V = $V_3$ = 9.540 $m^3$

Q" = ($X_a$ x V) / ($\theta_c$ x $X_u$)

Q" ≈ 487 $m^3$/d

Massa = Q" x $X_u$

Massa = 3.895 kg/d

Antes da adição de cal ao lodo visando sua estabilização será feito o adensamento deste lodo e a, posterior, desidratação.

Assim como na hipótese 1 visa-se a maximização da eficiência deste adensamento e o lodo primário será separado do lodo secundário. Desta forma, serão utilizados adensadores de gravidade para o lodo primário e centrífugas para o lodo secundário. Para a fase de desidratação serão utilizadas apenas centrífugas.

<u>Dimensionamento do adensador por gravidade (lodo primário)</u>

Formato do adensador: circular

Características do lodo primário:

Massa = 6.912 kg/d

Teor de sólidos = 3%

Vazão de lodo = 226 $m^3$/d

Serão utilizados os dados da Tabela 5 para o dimensionamento desta etapa.

Área necessária para adensamento = Massa / Taxa de aplicação

Taxa de aplicação de sólidos = 120 kg SS/$m^2$.d (valor adotado)

Área necessária = 6.912 / 120

Área necessária ≈ 58 $m^2$

Diâmetro:

$A = \pi \times (\varnothing^2/4)$

$A = 58\ m^2$

$\varnothing \approx 8{,}6\ m$

Diâmetro adotado = 9 m (dentro da faixa recomendada)

Cálculo da nova área ($\varnothing$ = 9 m):

$A \approx 64\ m^2$

Deve-se verificar se a taxa de aplicação hidráulica encontra-se dentro da faixa recomendada de 15 a 30 $m^3/m^2.d$ quando temos lodo primário apenas.

Taxa de aplicação hidráulica = Vazão de lodo / Área

Taxa de aplicação hidráulica = 226 / 64

Taxa de aplicação hidráulica $\approx 3{,}6\ m^3/m^2.d$

Como esta taxa está abaixo da faixa recomendada adota-se a adição de "água de diluição" para satisfazer a taxa mínima de 15 $m^3/m^2.d$

$Q_{diluição} = (15\ m^3/m^2.d \times 64\ m^2) - (226\ m^3/d)$

$Q_{diluição} = 734\ m^3/d$

Volume do adensador:

Profundidade lateral = 3,5 m (valor adotado dentro da faixa recomendada de 3 a 4 m)

Volume = 64 x 3,5

Volume = 224 $m^3$

Tempo de detenção global:

t = V / Q

Q = Vazão de lodo + Vazão de diluição = 960 $m^3/d$

$t \approx 0{,}233\ d \approx 5{,}6\ h$

Ao término desta etapa de adensamento espera-se que o teor de sólidos no lodo primário passe de 3% para 6% e, com isso, tem-se uma diminuição do volume que seguirá para a desidratação.

Cálculo do novo volume:

$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$

$V_1$ = Vazão de lodo primário sem adensamento = 226 $m^3/d$

$TS_1$ = 3%

$TS_2$ = 6%

$V_2$ = Vazão de lodo primário após adensamento = 113 $m^3/d$

<u>Centrífuga de adensamento (lodo secundário)</u>

Esta alternativa é igual ao dimensionamento das centrífugas de adensamento da hipótese 1 (convencional) com a vazão de 500 L/s. Como este dimensionamento já foi realizado, seguem os valores encontrados:

Tempo de operação das centrífugas = 12 h/d durante os 7 dias da semana

Vazão de lodo a ser adensado por hora ≈ 41 $m^3/h$

Adotando o uso de 2 centrífugas a vazão distribuída para cada centrífuga será de aproximadamente 21 $m^3/h$ e tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-506L

Comprimento = 3,83 m

Largura = 2,38 m

Altura = 1,04 m

Além destas 2 centrífugas, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 0,8% ($X_u$ = 8.000 mg/L adotado anteriormente) para 5% (dentro da faixa de 3 a 6% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:

$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$

$V_1$ = Vazão de lodo secundário sem adensamento = 487 $m^3/d$

$TS_1$ = 0,8%

$TS_2$ = 5%
$V_2$ = Vazão de lodo secundário após adensamento ≈ 78 $m^3$/d

Etapa de desidratação

Nesta etapa o lodo primário será misturado com o lodo secundário e a desidratação será feita com uso de centrífugas e o procedimento para encontrar sua capacidade e dimensões será similar ao utilizado para as centrífugas de adensamento.

Vazão de lodo primário após adensamento = 113 $m^3$/d
Vazão de lodo secundário após adensamento = 78 $m^3$/d
Vazão de lodo a ser desidratado = 113 + 78 = 191 $m^3$/d

É preciso saber a capacidade necessária da centrífuga de desidratação ($m^3$/h). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo a ser desidratado por hora = 191 / 12 ≈ 16 $m^3$/h

Adotando o uso de 1 centrífuga tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-506L
Comprimento = 3,83 m
Largura = 2,38 m
Altura = 1,04 m

Além desta centrífuga, será adiciona mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de aproximadamente 5% para 25% (dentro da faixa de 18 a 30% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão de lodo misto adensado = 191 $m^3$/d

$TS_1$ = 5%

$TS_2$ = 25%

$V_2$ = Vazão de lodo misto após desidratação ≈ 38 $m^3$/d

Quantificação da cal utilizada na estabilização química do lodo após a etapa de desidratação

Será fixada uma adição de cal na proporção de 20% do valor gerado de lodo.

Massa de lodo coletado no decantador primário = 6.912 kg/d (calculado anteriormente)
Massa de lodo coletado no decantador secundário = 3.895 kg/d (calculado anteriormente)
Massa total = 6.912 + 3.895 = 10.807 kg/d

Massa de cal utilizada = 0,2 x Massa total
Massa de cal utilizada ≈ 2.161 kg/d

A misturação de cal ao lodo será realizada em uma unidade adicional de mistura (tremonha) e utilizando o lodo seco.

Edifício de tratamento de lodo

Para saber as dimensões deste edifício toma-se como base a necessidade de um edifício com 2 pavimentos e área disponível para abrigar as centrífugas de adensamento e desidratação, as unidades de preparo dos polímeros e as unidades para misturação da cal ao lodo.

Seguem as dimensões adotadas com base nos objetivos acima considerados:

Edifício com 2 andares
Comprimento = 29 m
Largura = 14 m

## 6.4. Tabela comparativa das diferentes vazões

Tabela 8: Hipótese 2 – CEPT

| | Hipótese 2 (CEPT) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Q = 1.000 l/s | | Q = 750 l/s | | Q = 500 l/s | |
| **Gradeamento** | ok | | ok | | ok | |
| **Caixa de areia** | n = 3<br>v = 1.280 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6 m<br>Profundidade = 1,2 m | | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6,7 m<br>Profundidade = 1,2 m | | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 5,5 m<br>Profundidade = 0,9 m | |
| **Decantador primário** | n = 2<br>v = 88 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 45 m<br>Largura = 17,5 m<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | | n = 2<br>v = 85 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 45 m<br>Largura = 13,5 m<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | | n = 3<br>v = 85 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 40 m<br>Largura = 10 m<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | |
| **Tanques de aeração (PLA)** | n = 5 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | | n = 4 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | | n = 3 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | |
| **Decantador secundário** | n = 1 (tanque disponível)<br>Ø = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 4<br>Ø = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 2 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 23 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 2<br>Ø = 30 m<br>v = 23 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 3 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 20,4 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | |
| **Adensador por gravidade** | n = 1<br>Ø = 13 m<br>H = 3,5 m | | n = 1<br>Ø = 11 m<br>H = 3,5 m | | n = 1<br>Ø = 9 m<br>H = 3,5 m | |
| **Centrífuga de adensamento** | n = 3 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 23 $m^3/h$ | | n = 2 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 27 $m^3/h$ | | n = 2 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 21 $m^3/h$ | |
| **Centrífuga de desidratação** | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 30 $m^3/h$ | | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 23 $m^3/h$ | | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 16 $m^3/h$ | |
| **Estabilização química** | Massa de cal = 4.064 kg/d | | Massa de cal = 3.112 kg/d | | Massa de cal = 2.161 kg/d | |
| **Edifício de tratamento de lodo** | Andares = 2<br>Comprimento = 32 m<br>Largura = 14 m | | Andares = 2<br>Comprimento = 29 m<br>Largura = 14 m | | Andares = 2<br>Comprimento = 29 m<br>Largura = 14 m | |
| **Lodo sem adensamento e estabilização** | Massa de lodo primário = 13.824 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 452 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 6.496 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 811 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 20.320 kg/d<br>Vazão total de lodo = 1.263 $m^3/d$ | | Massa de lodo primário = 10.368 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 339 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 5.193 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 649 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 15.561 kg/d<br>Vazão total de lodo = 988 $m^3/d$ | | Massa de lodo primário = 6.912 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 226 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 3.895 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 487 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 10.807 kg/d<br>Vazão total de lodo = 713 $m^3/d$ | |
| **Lodo desidratado e estabilizado** | Massa de lodo = 24.384 kg/d<br>Vazão de lodo = 71 $m^3/d$ | | Massa de lodo = 18.673 kg/d<br>Vazão de lodo = 55 $m^3/d$ | | Massa de lodo = 12.968 kg/d<br>Vazão de lodo = 38 $m^3/d$ | |

## 6.5. Layout das diferentes vazões

Unidades representadas nos desenhos:

- T: atuais tanques da ETE
- DP: decantador primário
- TA: tanque de aeração utilizado no processo de lodos ativados
- DS: decantador secundário
- A: adensador
- D: digestor de lodo
- ETL: edifício de tratamento de lodo
- UASB: reatores UASB

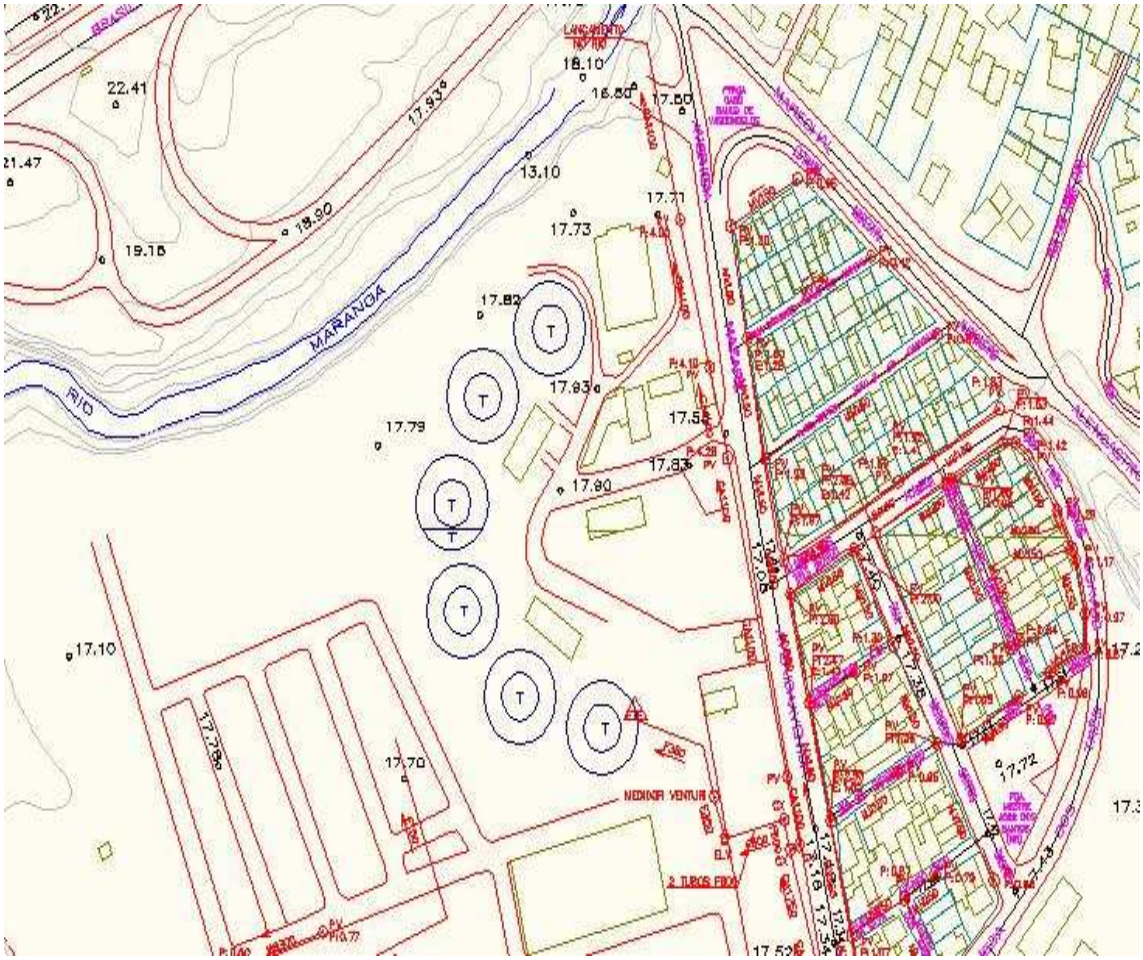


Figura 29: Layout original da ETE Deodoro

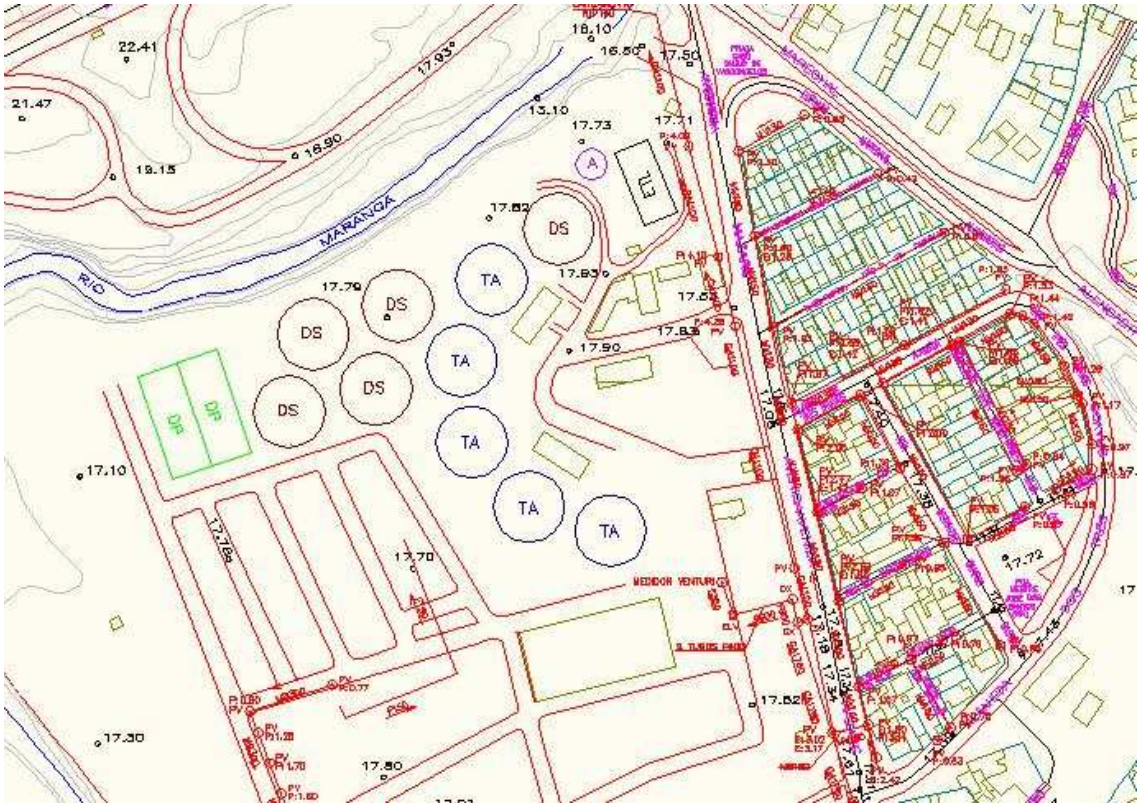


Figura 30: Hipótese 2 (CEPT) - Vazão de 1.000 L/s

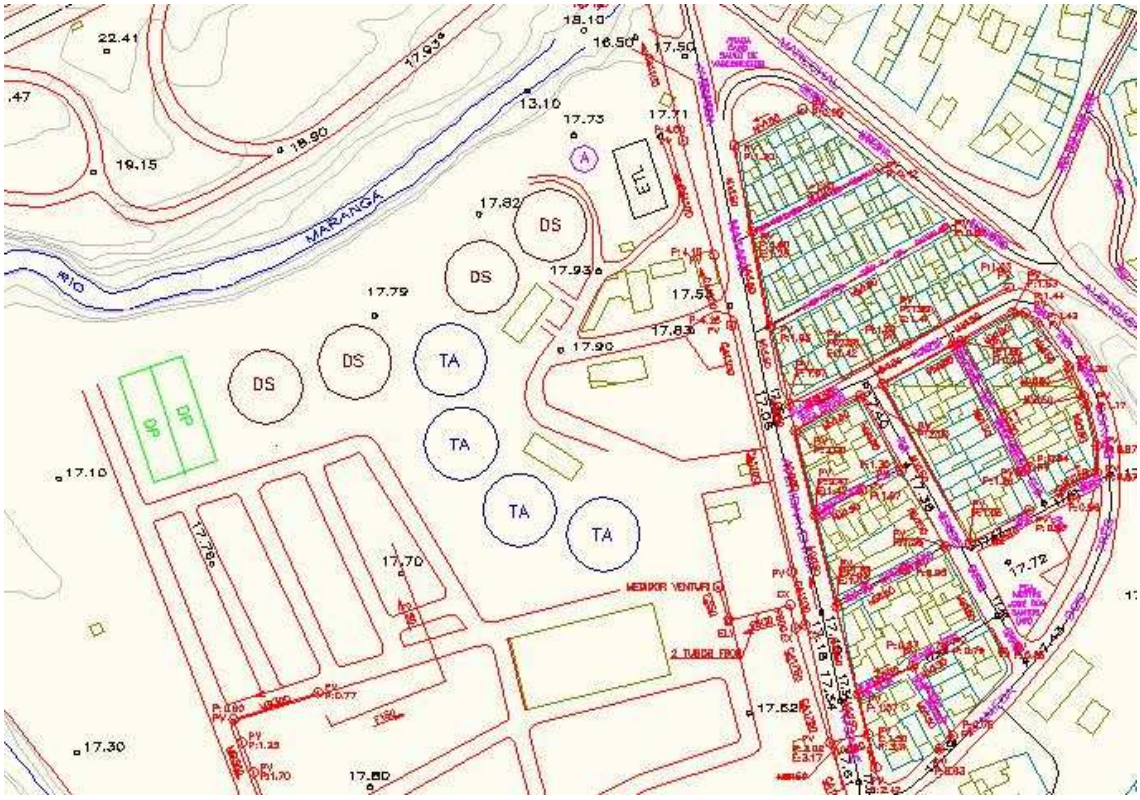


Figura 31: Hipótese 2 (CEPT) - Vazão de 750 L/s

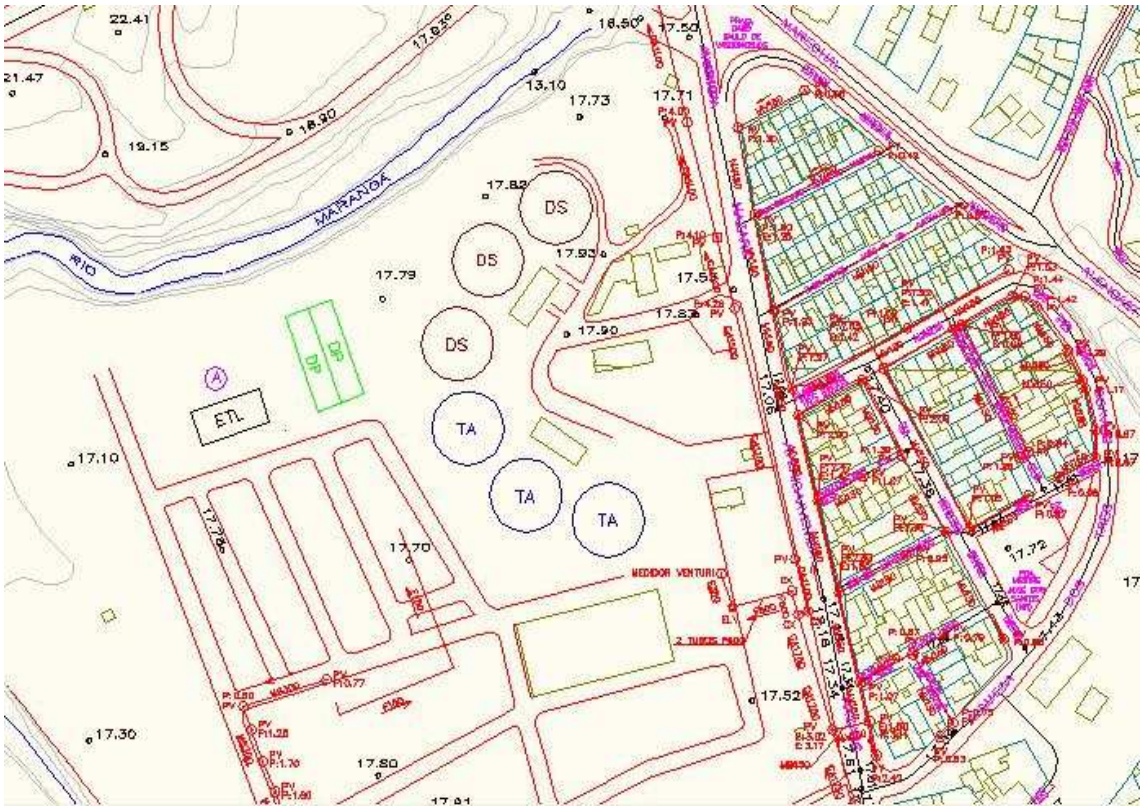


Figura 32: Hipótese 2 (CEPT) - Vazão de 500 L/s

## 7. Hipótese 3 – Processo de lodos ativados utilizado como pós-tratamento de reatores anaeróbios (UASB)

Figura 33: Fluxograma da hipótese 3

### Gradeamento

Considerações já mencionadas na hipótese 1.

### Caixa de areia

Considerações já mencionadas na hipótese 1.

### Reatores UASB

A evolução recente do tratamento anaeróbio conduziu a que os esgotos, e não apenas o lodo, possam ser tratados em unidades dimensionadas para tal fim, em condições tais que a biomassa formada no interior dessas unidades aí permaneça por um elevado tempo de residência. Temos três fatores fundamentais a serem considerados para a utilização de reatores anaeróbios de alta taxa tratando esgotos (JORDÃO & PESSÔA, 2005):

- Grande acumulação da biomassa no interior do reator, devido à sedimentação, agregação a sólidos ou recirculação;
- Melhor contato entre biomassa e despejo;
- Melhor atividade da biomassa.

Nestas unidades almeja-se um grande tempo de retenção de sólidos biológicos (idade do lodo) para diminuir a produção de lodo a descartar e um baixo tempo de detenção hidráulico para tornar mais econômica a construção do reator (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

As pesquisas desenvolvidas no Programa de Saneamento Básico – PROSAB, da FINEP/CNPq/CAIXA, demonstram a viabilidade técnica operacional destas unidades. Já operam no Brasil centenas de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo, conhecidos pela sigla inglesa UASB ("Upstream Anaerobic Sludge Blanket"), alguns destes com vazão superior a 1,0 $m^3/s$.

As formas para retenção do lodo dos reatores são: sistemas em que o lodo encontra-se aderido a um material inerte de suporte, sistemas em que o lodo se acha suspenso agregado na forma de floco ou grânulo (UASB) e sistemas em que o lodo encontra-se aderido à superfície de material particulado móvel. Em qualquer uma destas modalidades é fundamental que o reator anaeróbio seja precedido por uma grade fina ou ultrafina e uma caixa de areia, além de um medidor de vazão (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

Os reatores UASB têm constituído o tipo mais utilizado e possuem as seguintes partes principais que auxiliam no entendimento do funcionamento destes reatores (JORDÃO & PESSÔA, 2005):

- Câmara de digestão: localizada na parte inferior, onde se localiza o leito do lodo (manta de lodo) e onde se processa a digestão anaeróbia. O esgoto ao penetrar no interior do UASB entra por esta zona de lodo, atravessando-a no sentido ascendente. Neste trajeto, parte da matéria orgânica permanece na zona de lodo, iniciando o processo de digestão anaeróbia;
- Separador de fases: dispositivo que fisicamente caracteriza uma zona de sedimentação e uma câmara de coleta de gases, separando as fases sólida (da câmara de digestão) da líquida e gasosa. Esta parte é, na verdade, um defletor de gases;
- Zona de transição: localizada entre a câmara de digestão e a zona de sedimentação superior;
- Zona de sedimentação: o esgoto penetrando pela abertura da parte inferior, alcança os vertedores de superfície, com uma velocidade ascencional adequada para a sedimentação dos sólidos e flocos, os quais retornam pela abertura das paredes para a zona de transição e de digestão. A parte líquida é recolhida com características de efluente clarificado;
- Zona de acumulação de gás: o gás produzido na fase de digestão é retido em uma zona superior de acumulação, onde é coletado e eventualmente aproveitado.

A biomassa, sob forma suspensa ou biofilme, deve manter um contato ótimo com os esgotos afluentes e em tratamento. Este contato ótimo poderá ser obtido

através de um projeto adequado ao tipo de reator e de esgoto. O desenvolvimento do projeto requer cuidados especiais em relação a fatores adversos que tem muitas vezes impedido o bom funcionamento destas unidades, como: formação de curto-circuitos (caminhos preferenciais que diminuem o contato), formação de zonas mortas e colmatação ou entupimento de sistemas de distribuição (JORDÃO & PESSÔA, 2005).

A fim de minorar tais fatores adversos à boa eficiência do tratamento, algumas recomendações devem ser observadas no desenvolvimento de um projeto e podemos citar:

- Remoção de sólidos grosseiros e flutuantes;
- Remoção de areia;
- Distribuição adequada do esgoto afluente;
- Controle da velocidade ascencional no interior do reator;
- Facilidade para remoção de escuma;

De acordo com a Revisão da NBR 12.209 os seguintes parâmetros devem ser considerados no dimensionamento do tratamento anaeróbio com reator tipo UASB:

- O tratamento biológico anaeróbio deve ser precedido de remoção de sólidos grosseiros e areia, sendo imprescindível a utilização de dispositivo de remoção de sólidos com aberturas iguais ou inferiores a 12 mm para vazão máxima até 100 L/s e a 6 mm para vazão máxima acima de 100 L/s;
- O tempo de detenção hidráulica para a vazão média, considerando a temperatura média do esgoto no mês mais frio do ano e o volume total do UASB, deve ser igual ou superior a: 6 h para temperatura do esgoto superior a 25 °C, 7 h para temperatura do esgoto de 22 °C a 25 °C, 8 h para temperatura do esgoto de 18 °C a 21 °C e 10 h para temperatura do esgoto de 15 °C a 17 °C;
- A profundidade útil total dos reatores tipo UASB deve estar entre 4,0 m e 6,0 m. A profundidade mínima do compartimento de digestão (do fundo do reator à entrada do compartimento de decantação) deve ser de 2,5 m;
- O diâmetro interno mínimo dos tubos de distribuição de esgoto deve ser de 75 mm;
- Cada ponto de descarga de esgoto no reator deve estar restrito a uma área máxima de 3 $m^2$;
- A entrada de esgoto no reator deve se dar entre 0,10 a 0,20 m do fundo;

- A velocidade ascensional no compartimento de digestão do reator deve ser igual ou inferior a 0,7 m/h para a vazão média e inferior a 1,2 m/h para a vazão máxima;
- A velocidade de passagem do compartimento de digestão para o de decantação deve ser igual ou inferior a 2,5 m/h, para a vazão média e a 4,0m/h para a vazão máxima;
- A taxa de escoamento superficial no compartimento de decantação deve ser igual ou inferior a 1,2 $m^3/m^2.h$ para a vazão máxima;
- O tempo de detenção hidráulica no compartimento de decantação para a vazão média deve ser igual ou superior a 1,5 h e para a vazão máxima superior a 1,0 h;
- A profundidade útil mínima do compartimento de decantação deve ser de 1,50 m, sendo pelo menos 0,30 m com parede vertical. As paredes inclinadas do compartimento de decantação devem ter inclinação igual ou superior a 50°;
- Cada reator deve ter sistema para amostragem de lodo, permitindo a coleta a diferentes alturas desde o fundo até o nível de entrada dos compartimentos de decantação;
- Descargas de lodo devem ser previstas rente ao fundo (pelo menos 1 ponto de descarga para cada 100 $m^2$ de área de fundo) com carga hidráulica mínima de 1,5 mca, que servirão também para esgotamento do reator. Além desta deve haver descarga adicional de lodo em nível entre 0,8 m e 1,3 m acima do fundo. O diâmetro mínimo das tubulações de descarga de lodo deve ser de 100 mm;
- O lodo removido dos reatores tipo UASB é considerado estabilizado e pode ser encaminhado diretamente para desidratação ou desaguamento.

**Processo de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**

Os parâmetros de projeto do projeto do sistema de lodos ativados como pós-tratamento de reatores UASB são similares aos do sistema de lodos ativados convencional citados nas hipóteses anteriores. A principal diferença reside na menor concentração de SSTA assumida nesta variante.

A tabela a seguir ilustra os parâmetros e faixa de valores usuais necessários para o dimensionamento da etapa de pós-tratamento. As informações foram retiradas da Revisão da NBR 12.209, da 4ª edição do livro Tratamento de Esgotos Domésticos de autoria de Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessoa e do livro da Prosab - Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, 2001.

Tabela 9: Parâmetros de projeto do sistema de lodos ativados e decantadores secundários como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios (esgotos domésticos)

| Item | Parâmetro | Valor |
|---|---|---|
| Tanque de Aeração | Idade do lodo (d) | 6 a 10 |
| | Relação A/M (kg DBO/kg SSVTA . d) | 0,25 a 0,40 |
| | Tempo de detenção hidráulica (h) | 3 a 5 |
| | Concentração de SSVTA (mg/L) | 1.100 a 1.500 |
| | Concentração de SSTA (mg/L) | 1.500 a 2.000 |
| | Relação SSV/SS no reator (-) | 0,75 a 0,77 |
| Produção de lodo | Produção de lodo anaeróbio (kg SS/kg DQO aplicada ao UASB) | 0,14 a 0,18 |
| | Produção de lodo anaeróbio (kg SS/kg DBO aplicada ao UASB) | 0,28 a 0,36 |
| | Produção de lodo aeróbio excedente - retornado ao UASB (kg SS/kg DQO aplicada ao LA) | 0,30 a 0,40 |
| | Produção de lodo aeróbio excedente - retornado ao UASB (kg SS/kg DBO aplicada ao LA) | 0,55 a 0,70 |
| | Concentração de SS no lodo retornado ao UASB (mg/L) | 5.000 a 7.000 |
| | Eficiência de remoção de SSV do lodo aeróbio no reator UASB | 0,20 a 0,30 |
| | Produção de lodo misto total - a ser tratado (kg SS/kg DQO aplicada ao sistema) | 0,20 a 0,30 |
| | Produção de lodo misto total - a ser tratado (kg SS/kg DBO aplicada ao sistema) | 0,40 a 0,60 |
| | Concentração do lodo misto (aeróbio + anaeróbio) retirado do UASB (%) | 3,0 a 4,0 |
| Decantador secundário | Taxa de escoamento superficial - Q/A ($m^3/m^2$ . d) | 20 a 28 |
| | Taxa de aplicação de sólidos - [(Q + Qr) x X]/A (kg SS/ $m^2$.d) | ≤ 144 |
| | Altura da parede lateral (m) | 3,0 a 4,0 |
| | Razão de recirculação (Qr/Q) | 0,6 a 1,0 |
| | Tempo de detenção hidráulica (h) | ≥ 1,5 h |

**Decantação secundária**

Como dito anteriormente, os decantadores secundários ocupam um papel de relevância no tratamento biológico, uma vez que neles se processa a sedimentação, a retirada do lodo recirculado para o tanque de aeração e do excesso de lodo para a digestão nos reatores anaeróbios. Existe aqui o interesse em que o lodo retorne para o reator UASB de forma controlada de modo a não haver choque entre meio aeróbio e anaeróbio, e não haver aumento da velocidade ascencional.

A seguir realizaremos o dimensionamento das unidades contidas nesta hipótese levando em consideração vazões de 1.000 L/s, 750 L/s e 500 L/s.

**7.1. Q = 1.000 L/s**

**a) Dimensionamento da caixa de areia.**

O dimensionamento desta unidade já foi calculado para a hipótese 1 (convencional) e seguem os valores encontrados:

Lado = 20' ≈ 6 m (valor de catálogo)
Profundidade = 4' ≈ 1,2 m (valor de catálogo)
Área unitária = 6 x 6 = 36 $m^2$

A necessária ≈ 106 $m^2$
n = 3
Área total = 3 x 36 = 108 $m^2$

Taxa de escoamento superficial (v) = 1.280 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume unitário = 36 x 1,2 = 43,2 $m^3$
Volume total = 3 x 43,2 = 129,6 $m^3$

Tempo de detenção (t) = 0,00094 d = 0,02 h = 1,2 min

**b) Dimensionamento dos reatores UASB.**

A tabela a seguir contém os parâmetros e faixa de valores usuais necessários para o dimensionamento desta etapa. As informações foram retiradas da Revisão da NBR 12.209, da 4ª edição do livro Tratamento de Esgotos Domésticos de autoria de Eduardo Pacheco Jordão e Constantino Arruda Pessoa e do livro da Prosab - Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, 2001.

Tabela 10: Parâmetros e faixas de valores para dimensionamento de reatores UASB

| Parâmetros | Faixa de Valores |
|---|---|
| Vazão de projeto | Vazão média |
| Tempo de detenção hidráulica | ≥ 6h |
| Profundidade útil total dos reatores | Entre 4,0 e 6,0 m |
| Carga orgânica volumátrica aplicada (COV) | ≤ 3,5 kg DQO/m$^3$.d, tipicamente entre 2,5 e 3,5 |
| Diâmetro interno mínimo dos tubos de distribuição de esgoto | 75 mm |
| Área máxima para ponto de descarga do esgoto no reator | 3 m$^2$ |
| Velocidade ascensional no compartimento de digestão | ≤ 0,7 m/h |
| Largura do compartimento de decantação | Entre 2,5 e 3,5 m |
| Velocidade ascensional no compartimento de decantação | ≤ 2,3 m/h |
| Profundidade do compartimento de decantação | ≥ 1,5 m |
| Tempo de detenção hidráulica no compartimento de decantação | ≥ 1,5 h |
| Produção de lodo anaeróbio | 0,14 a 0,18 kg SS/kg DQO afluente |
| Remoção de DBO | 65% |
| Remoção de SST | 50% |

Os seguintes valores são fixados:

Formato: paralelepípedo
Tempo de detenção: 8 horas
Profundidade útil (H): 5 metros
Volume unitário < 1.500 m$^3$

<u>Cálculo do reator como um todo</u>

$Q_{méd}$ = 1 m$^3$/s = 86.400 m$^3$/d

Volume total = Q x t
Volume total = 86.400 x (8/24) = 28.800 m$^3$

Sabendo que o volume unitário deve ser menor do que 1.500 m$^3$ pode-se calcular o número de reatores necessários.

n = Volume total / Volume unitário
Volume unitário escolhido = 1.440 m$^3$

n = 20 reatores

Esta hipótese de 20 reatores não será passível de implementação, pois a atual área disponível para a expansão da ETE não suporta tal número. Entretanto, como existe a possibilidade da compra de terrenos vizinhos será feito o seu completo dimensionamento tendo em vista que no futuro pode existir esta viabilidade de área.

Área unitária = $V_{unitário}$ / H
Profundidade útil (H) = 5 metros
Área unitária = 288 $m^2$

Dimensões escolhidas para comprimento e largura de cada reator = 17,0 x 17,0 m

Nova área unitária = 17 x 17 = 289 $m^2$
Área total = 289 x 20 = 5.780 $m^2$

Deve-se verificar se a carga orgânica volumétrica aplicada (COV) encontra-se abaixo de 3,5 kg DQO/$m^3$.d.

COV = (Q x DQO) / V

DQO = 400 mg/L (como estamos tratando esgoto doméstico utilizaremos a relação usual da DQO sendo o dobro da DBO)

COV = 1,2 kg DQO/$m^3$.d (valor abaixo do máximo aceitável)

Sistema de distribuição do esgoto afluente

A distribuição homogênea do esgoto afluente em toda a seção transversal de escoamento é um dos aspectos mais importantes no projeto, com reflexos diretos na fase operacional.

A alimentação do reator é feita pelo fundo, da seguinte forma: o esgoto desarenado aflui a uma caixa superior de distribuição localizada sobre a laje superior do UASB, da qual descem tubos verticais de distribuição, conduzindo o esgoto até o fundo do tanque para então liberá-lo para a distribuição ascencional.

Para realizar o dimensionamento desta etapa serão fixados os seguintes valores:

Área de influência de cada tubo = 2,4 $m^2$ (menor do que o valor máximo de $3m^2$)
Diâmetro de cada tubo = 75 mm (dentro do recomendado)

Número de tubos necessários = Área unitária / Área de influência de cada tubo
Área unitária = 289 $m^2$
Número de tubos necessários por reator = 120

Como se terá 20 reatores o número total de tubos será igual a 2.400.

Seção de cada tubo: $S = \pi \times (\varnothing^2/4) = 0{,}0044\ m^2$
Seção dos 2.400 tubos ($S_{2.400}$) = 10,56 $m^2$

Verificação da velocidade de escoamento: $v = Q/ S_{2.400}$
$Q = 1\ m^3/s$
$v = 0{,}09\ m/s$

<u>Sistema de digestão do lodo</u>

Nesta etapa deve-se verificar se a velocidade ascencional $v_a$ do lodo na câmara de digestão é menor do que o valor máximo recomendado de 0,7 m/h quando se utiliza a vazão média.

$v_a = Q/A$
$Q = 1\ m^3/s = 3.600\ m^3/h$
$A = 5.780\ m^2$
$v_a = 0{,}62\ m/h$ (valor dentro da faixa recomendada)

<u>Sistema de decantação</u>

Em primeiro lugar deve-se estipular o número de compartimentos de decantação em cada reator, e neste caso será fixado em 5. Admite-se uma largura do coletor de gás adjacente a cada 2 compartimentos de decantação igual a 0,8 m.

Estes compartimentos devem ter como comprimento o próprio comprimento lateral do reator (17,0 m) e a largura deve ser calculada a partir do número de compartimentos de decantação e das larguras do coletor de gás e do próprio reator.

Largura dos compartimentos de decantação = (Larg. reatores / Nº de compartimentos) - Larg. coletor
Largura dos compartimentos de decantação = 2,6 m (dentro da faixa recomendada de 2,5 a 3,5 m).

Área superficial de cada compartimento de decantação = 17,0 x 2,6 = 44,2 $m^2$

Área de decantação por reator ($A_d$) = Área do compartimento x número de compartimentos
$A_d$ = 221 $m^2$

Área total de decantação dos 20 reatores = 20 x 221 = 4.420 $m^2$

A velocidade ascencional ($v_d$) do esgoto nos compartimentos de decantação deve ser menor do que 2,3 m/h quando se trabalha com a vazão média.

$v_d = Q/A_d$
Q = 1 $m^3/s$ = 3.600 $m^3/h$
$A_d$ = 4.420 $m^2$
$v_d$ = 0,8 m/h (valor adequado)

Para o cálculo do volume de decantação e o tempo de detenção, fixa-se a altura da parte reta em 0,5 m e a altura da parte inclinada em 2,0 m.

Volume de decantação por reator = 552,5 $m^3$
Volume total de decantação = 20 x 552,5 = 11.050 $m^3$

<u>Tempo de detenção (t)</u>
t = V/Q
t = 0,128 d = 3,1 h (dentro do recomendado)

<u>Massa de lodo gerado</u>

Para esta etapa precisa-se saber o valor da DQO e como se trata de esgoto doméstico utiliza-se, novamente, a relação DQO = 2 x DBO.

Admite-se uma produção de 0,18 kg SST/kg DQO afluente.

DQO = 2 x 200 mg/L = 400 mg/L

CDQO = 0,4 kg DQO/$m^3$ x 86.400 $m^3$/d = 34.560 kg DQO/d

Massa de lodo gerado = 0,18 kg SST/kg DQO x 34.560 kg DQO/d

M ≈ 6.221 kg SST/d

Vazão de lodo coletado = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 6.221 kg SST/d

$\rho$ = 1,02

$\gamma$ = 1.000 kg/$m^3$

TS = 4% (valor adotado)

Vazão de lodo coletado ≈ 153 $m^3$/d

Ao término desta fase espera-se que a remoção de DBO seja de cerca de 65% e de SST cerca de 50%.

<u>Esgoto afluente aos reatores UASB</u>

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/L

$SST_{afl.}$ = 200 mg/L

<u>Esgoto efluente que seguirá para o processo de lodos ativados</u>

Eficiência = ($DBO_{entra}$ – $DBO_{sai}$) / $DBO_{entra}$

Eficiência = 65%

$DBO_{efl.}$ = 70 mg/L

Eficiência = ($SST_{entra}$ – $SST_{sai}$) / $SST_{entra}$

Eficiência = 50%

$SST_{efl.}$ = 100 mg/L

**c) Aproveitamento dos tanques existentes como tanques de aeração para o processo de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.**

Serão utilizados os dados da Tabela 7 para o dimensionamento desta etapa.

Sabe-se que os 6 tanques são circulares e tem-se os seguintes dados:

Altura útil (H) = 4,5 m
Diâmetro (∅) = 30 m
V unitário = 3.180 $m^3$
$V_6$ = 19.080 $m^3$

Cálculo da relação A/M
A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 1 $m^3/s$ = 86.400 $m^3/d$
DBO = 70 mg/L
$X_{av}$ = concentração de SSV no tanque de aeração (SSVTA) = 1.500 mg/L (valor adotado)
$V_6$ = 19.080 $m^3$

A/M = 0,21 $d^{-1}$ (encontra-se dentro da faixa recomendada de 0,25 a 0,40 $d^{-1}$)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração
t = V/Q
t = 0,221 d ≈ 5,3 h (encontra-se fora da faixa recomendada de 3 a 5 h)

Como os valores encontram-se fora das faixas recomendadas será utilizada uma alternativa com menos de seis tanques e os tanques disponíveis serão aproveitados como decantadores secundários, reduzindo o custo e o número de unidades dentro da ETE. Citou-se, anteriormente, que os decantadores secundários devem possuir as mesmas dimensões para que a vazão seja repartida igualmente (facilidade operacional) e, desta forma, fixou-se o diâmetro dos decantadores secundários em 30 m.

Cálculo da relação A/M (4 tanques)
A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 1 $m^3/s$ = 86.400 $m^3/d$
DBO = 70 mg/l
$X_{av}$ (SSVTA) = 1.500 mg/l (valor adotado)

$V_4 = 12.720\ m^3$

$A/M \approx 0,32\ d^{-1}$ (valor dentro da faixa recomendada de 0,25 a 0,40 $d^{-1}$)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (4 tanques)

$t = V/Q$

$t \approx 0,147\ d \approx 3,5\ h$ (valor dentro da faixa recomendada de 3 a 5 h)

Sendo assim, tem-se a alternativa de apenas 4 tanques na etapa de lodos ativados e fica-se com 2 tanques disponíveis para serem utilizados na decantação secundária.

**d) Dimensionamento do decantador secundário para seguir ao processo de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.**

Serão utilizados os dados da Tabela 7 para o dimensionamento desta etapa.

Cálculo da área necessária aos decantadores

$A = Q/v$

$Q = 1\ m^3/s = 86.400\ m^3/d$

$v = 28\ m^3/m^2.d$ (valor adotado dentro da faixa recomendada)

$A \approx 3.086\ m^2$

Fixa-se o diâmetro dos decantadores em 30 m para aproveitar-se os 2 tanques disponíveis.

Número de decantadores necessários ($\varnothing$ = 30 m)

$A = n \times \pi \times \varnothing^2/4 = 3.086$

$n = 4,4$

Sendo assim, serão adotados 5 decantadores e serão necessários 3 tanques extras.

Esta hipótese de 5 decantadores não será passível de implementação, pois a atual área disponível para a expansão da ETE não suporta tal número. Entretanto,

como existe a possibilidade de compra de terrenos vizinhos será feito o seu completo dimensionamento tendo em vista que no futuro pode existir esta viabilidade de área.

Nova área superficial

Área de 1 decantador = $\pi \times \varnothing^2/4 \approx 706\ m^2$

Área total dos 5 decantadores = 5 x 706 = 3.530 $m^2$ (valor superior ao mínimo necessário)

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q/A$

$A = 3.530\ m^2$

$v = 24,5\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume útil

Apesar dos tanques disponíveis possuírem uma altura útil de 4,5 metros esta altura será reduzida para 4,0 metros de forma a atender aos valores recomendados. Desta forma, todos os decantadores secundários terão profundidade lateral de 4,0 metros.

Profundidade lateral = 4,0 m

$V_{útil}$ unitário = 706 x 4 = 2.824 $m^3$

$V_{útil}$ total = 2.824 x 5 = 14.120 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque

$t = V/Q$

$t \approx 0,163\ d \approx 3,9\ h$ (atende ao valor recomendado)

Deve-se verificar se a taxa de aplicação de sólidos encontra-se abaixo do limite máximo recomendado de 144 kg $SS/m^2.d$.

Concentração de SSTA

SSV ≈ 0,75 x SST

SSV (SSVTA) = 1.500 mg/L (valor adotado no item anterior)

SST (SSTA) = 2.000 mg/L

Taxa de aplicação de sólidos

Taxa de aplicação de sólidos = M/A

$M = (Q + Q_{rec}) \times SSTA$

$Q = 86.400\ m^3/d$

$SSTA = 2.000\ mg/L = 2,0\ kg/m^3$

$Q_{rec} = Q \times r$

$r = X_a / (X_u - X_a)$

$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 5.000 mg/l (valor adotado dentro da faixa de 5.000 a 7.000 mg/L)

$X_a$ = SST (SSTA) = 2.000 mg/l

r = 0,67

$Q_{rec} = 57.888\ m^3/d$

M = (86.400 + 57.888) x 2,0

M = 288.576 kg/d

$A = 3.530\ m^2$ (calculado anteriormente)

Taxa de aplicação de sólidos ≈ 81 kg $SS/m^2.d$ (valor dentro da faixa recomendada)

Quantificação do lodo removido no decantador secundário

Para calcular a geração de lodo no decantador secundário será adotada a seguinte relação:

Produção de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB): 0,55 a 0,70 kg SS/kg DBO aplicada ao LA

DBO aplicada ao LA = 0,070 kg/$m^3$ x 86.400 $m^3$/d
DBO aplicada ao LA = 6.048 kg DBO/d

Produção de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB): 0,6 kg SS/kg DBO aplicada ao LA (valor adotado)
Produção de lodo aeróbio excedente = 0,6 x 6.048 ≈ 3.629 kg SS/d

A distribuição do lodo excedente, em termos de sólidos voláteis e sólidos fixos, é função da relação SSV/SS (adotada anteriormente como 0,75). Desta forma, a distribuição será:

Sólidos totais = 3.629 kg SS/d
Sólidos voláteis = 3.629 x 0,75 ≈ 2.722 kg SSV/d
Sólidos fixos = 3.629 x 0,25 ≈ 907 kg SSF/d

A concentração do lodo aeróbio excedente é a mesma do lodo de recirculação, já que o lodo excedente é retirado da linha de recirculação. Esta concentração é função da concentração de SSTA e da razão de recirculação (r).

SSTA ($X_a$) = 2.000 mg/L (calculado anteriormente)
r = 0,67 (calculado anteriormente)

$r = X_a / (X_u – X_a)$

$X_u$ = 5.000 mg SS/L (adotado anteriormente)
$X_u$ = 5,0 kg SS/$m^3$

A vazão de lodo aeróbio excedente, retornado ao reator UASB será:

Vazão = Carga / Concentração

Carga = Sólidos totais = 3.629 kg SS/d
Concentração = $X_u$ = 5,0 kg SS/$m^3$

Vazão de lodo aeróbio excedente (Q”) = 726 $m^3$/d

Esta vazão é bastante baixa comparada com a vazão afluente ao reator UASB, representando apenas cerca de 0,8% desta (726/86.400 = 0,0084), ou seja, o impacto hidráulico do retorno do lodo aeróbio excedente ao UASB é desprezível.

Verificação da idade do lodo:

$\theta_c = (X_a \times V) / (Q'' \times X_u)$

$X_a = 2.000$ mg/L

$V = V_4 = 12.720$ m$^3$

$X_u = 5.000$ mg/L

$\theta_c = 7$ d (dentro da faixa recomendada de 6 a 10 d)

A estimativa da carga orgânica pode ser feita através da relação de 1 kg de SSV gerar uma DQO de aproximadamente 1,5 kg.

CDQO no lodo aeróbio retornado ao reator UASB = 2.722 kg SSV/d x 1,5 kg DQO/kg SSV

CDQO no lodo aeróbio retornado ao reator UASB = 4.083 kg DQO/d

CDQO afluente = 34.560 kg DQO/d

Desta forma a carga de DQO no lodo aeróbio retornado ao reator UASB é aproximadamente 12% da carga de DQO afluente. Este aumento da carga não deve afetar o desempenho do reator UASB, principalmente considerando-se que o desempenho destes reatores tratando esgotos domésticos é mais influenciado pela carga hidráulica que pela carga orgânica.

<u>Esgoto afluente aos decantadores primários</u>

$DBO_{afl.} = 200$ mg/l

$SST_{afl.} = 200$ mg/l

Remoção de DBO = 90%

Remoção de SST = 90%

<u>Esgoto efluente do sistema de tratamento de esgotos</u>

$DBO_{efl.} = 20$ mg/l

$SST_{efl.} = 20$ mg/l

**e) Quantificação do lodo gerado em todo o processo de tratamento.**

O lodo gerado em todo o processo será a soma do lodo anaeróbio produzido nos próprios reatores com o lodo aeróbio retornado que terá parte dos sólidos voláteis removidos dentro dos reatores.

É adotada uma remoção de 25 % dos SSV (faixa usual compreendia entre 20 e 30%) do lodo aeróbio no reator UASB. Sabendo que a carga de sólidos fixos permanecerá inalterada pode-se calcular os novos valores de sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF) gerados e estabilizados no UASB.

Sólidos voláteis (aeróbio) = 2.722 x 0,75 ≈ 2.042 kg SSV/d
Sólidos fixos (aeróbio) = 907 kg SSF/d
Sólidos totais (aeróbio) = 2.042 + 907 = 2.949 kg SS/d

Produção total de lodo = lodo anaeróbio + lodo aeróbio

Lodo anaeróbio = 6.221 kg SS/d
Lodo aeróbio = 2.949 kg SS/d

Produção total de lodo = 9.170 kg SS/d

Assumindo-se teor de sólidos no lodo retirado do UASB de 3,0 %, que equivale a aproximadamente 30.000 mg SS/L ou 30 kg SS/$m^3$, tem-se a seguinte vazão de lodo retirado do UASB a ser dirigido para o tratamento do lodo:

Vazão excedente do UASB = Carga / Concentração

Carga = produção total de lodo retirado do UASB = 9.170 kg SS/d
Concentração = 30 kg SS/$m^3$

Vazão excedente do UASB = 306 $m^3$/d

<u>Desidratação</u>

O lodo retirado do reator UASB já sai digerido, requerendo apenas uma etapa de desidratação.

Esta etapa de desidratação será realizada em centrífugas e reduzirá ainda mais o volume diário de lodo, de forma a facilitar sua disposição final.

O procedimento para encontrar a capacidade e dimensões das centrífugas será similar ao utilizado nas hipóteses anteriores.

Vazão do lodo retirado do UASB = 306 $m^3/d$

É preciso saber a capacidade necessária da centrífuga de desidratação ($m^3/h$). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo a ser desidratado por hora = 306 / 12 ≈ 26 $m^3/h$

Adotando o uso de 1 centrífuga tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-556L
Comprimento = 4,33 m
Largura = 2,70 m
Altura = 1,08 m

Além desta centrífuga, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 3% (valor adotado anteriormente) para 25% (dentro da faixa de 18 a 30% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão do lodo retirado do UASB = 306 $m^3/d$
$TS_1$ = 3%
$TS_2$ = 25%
$V_2$ = Vazão de lodo digerido após desidratação ≈ 37 $m^3/d$

Edifício de tratamento de lodo

Para saber as dimensões deste edifício toma-se como base a necessidade de um edifício com 2 pavimentos e área disponível para abrigar as centrífugas de desidratação e o sistema de preparo e dosagem de polieletrólitos.

Seguem as dimensões adotadas com base nos objetivos acima considerados:

Edifício com 2 andares
Comprimento = 19 m
Largura = 14 m

**7.2. Q = 750 L/s**

**a) Dimensionamento da caixa de areia.**

O dimensionamento desta unidade já foi calculado para a hipótese 1 (convencional) e seguem os valores encontrados:

Lado = 22' ≈ 6,7 m (valor de catálogo)
Profundidade = 4' ≈ 1,2 m (valor de catálogo)
Área unitária = 6,7 x 6,7 = 45 $m^2$

A necessária ≈ 80 $m^2$
n = 2
Área total = 2 x 45 = 90 $m^2$

Taxa de escoamento superficial (v) = 1.152 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume unitário = 45 x 1,2 = 54 $m^3$
Volume total = 2 x 54 = 108 $m^3$

Tempo de detenção (t) = 0,00104 d = 0,025 h = 1,5 min

**b) Dimensionamento dos reatores UASB.**

Serão utilizados os dados da Tabela 8 e fixados os seguintes valores:

Formato: paralelepípedo
Tempo de detenção: 8 horas
Profundidade útil (H): 5 metros
Volume unitário < 1.500 $m^3$

Cálculo do reator como um todo

$Q_{méd}$ = 0,75 $m^3/s$ = 64.800 $m^3/d$

Volume total = Q x t
Volume total = 64.800 x (8/24) = 21.600 $m^3$

Sabendo que o volume unitário deve ser menor do que 1.500 $m^3$ pode-se calcular o número de reatores necessários.

n = Volume total / Volume unitário
Volume unitário escolhido = 1.440 $m^3$
n = 15 reatores

Área unitária = $V_{unitário}$ / H
Área unitária = 288 $m^2$

Dimensões escolhidas para comprimento e largura = 17,0 x 17,0 m

Nova área unitária = 17 x 17 = 289 $m^2$
Área total = 289 x 15 = 4.335 $m^2$

Verificação da carga orgânica volumétrica aplicada:
COV = (Q x DQO) / V
DQO = 400 mg/l
COV = 1,2 $kg/m^3.d$ (valor abaixo do máximo recomendado de 3,5 kg $DQO/m^3.d$)

Sistema de distribuição do esgoto afluente

Para realizar o dimensionamento desta etapa fixam-se os seguintes valores:

Área de influência de cada tubo = 2,4 $m^2$ (recomenda-se a faixa de 2,0 a 3,0 $m^2$)
Diâmetro de cada tubo = 75 mm (valores preferenciais de 75 ou 100 mm)

Número de tubos necessários = Área unitária / Área de influência de cada tubo
Número de tubos necessários por reator = 120
Total de tubos nos 15 reatores = 120 x 15 = 1.800

Seção de cada tubo: $S = \pi \times (\varnothing^2/4) = 0{,}0044\ m^2$
Seção dos 1.800 tubos ($S_{1.800)}$ = 7,92 $m^2$

Verificação da velocidade de escoamento: $v = Q/ S_{1.800}$
$Q = 0{,}75\ m^3/s$
$v = 0{,}09\ m/s$

<u>Sistema de digestão do lodo</u>

Nesta etapa deve-se verificar se a velocidade ascencional $v_a$ do lodo na câmara de digestão encontra-se dentro da faixa recomendada de 0,5 a 0,7 m/h quando utiliza-se a vazão média.

$v_a = Q/A$
$Q = 0{,}75\ m^3/s = 2.700\ m^3/h$
$A = 4.335\ m^2$
$v_a = 0{,}62$ m/h (valor dentro da faixa recomendada)

<u>Sistema de decantação</u>

Em primeiro lugar deve-se estipular o número de compartimentos de decantação em cada reator, e neste caso será fixado em 5. Admite-se uma largura do coletor de gás adjacente a cada 2 compartimentos de decantação igual a 0,8 m.

Estes compartimentos devem ter como comprimento o próprio comprimento lateral do reator (17,0 m) e a largura deve ser calculada a partir do número de compartimentos de decantação e das larguras do coletor de gás e do próprio reator.

Largura dos compartimentos de decantação = (Larg. reatores / Nº de compartimentos) - Larg. coletor

Largura dos compartimentos de decantação = 2,6 m (dentro da faixa recomendada de 2,5 a 3,5 m).

Área superficial de cada compartimento de decantação = 17,0 x 2,6 = 44,2 $m^2$

Área de decantação por reator ($A_d$) = Área do compartimento x número de compartimentos
$A_d$ = 221 $m^2$

Área total de decantação dos 15 reatores = 15 x 221 = 3.315 $m^2$

A velocidade ascencional ($v_d$) do esgoto nos compartimentos de decantação deve ser menor do que 2,3 m/h quando se trabalha com a vazão média.

$v_d = Q/A_d$
Q = 0,75 $m^3/s$ = 2.700 $m^3/h$
$v_d$ = 0,8 m/h (valor adequado)

Para o cálculo do volume de decantação e o tempo de detenção, fixa-se a altura da parte reta em 0,5 m e a altura da parte inclinada em 2,0 m.

Volume de decantação por reator = 552,5 $m^3$
Volume total de decantação = 15 x 552,5 = 8.287,5 $m^3$

<u>Tempo de detenção (t)</u>
t = V/Q
t = 0,128 d = 3,1 h (dentro do recomendado)

<u>Massa de lodo gerado</u>

Para esta etapa é preciso saber o valor da DQO e como se trata de esgoto doméstico utiliza-se a relação DQO = 2 x DBO.

Admite-se uma produção de 0,18 kg SST/kg DQO afluente.

DQO = 2 x 200 mg/l = 400 mg/l = 0,4 $kg/m^3$
CDQO = 0,4 kg DQO/$m^3$ x 64.800 $m^3/d$ = 25.920 kg DQO/d

Massa de lodo gerado = 0,18 kg SST/kg DQO x 25.920 kg DQO/d

M ≈ 4.666 kg SST/d

Vazão de lodo coletado = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 4.666 kg SST/d

$\rho$ = 1,02

$\gamma$ = 1.000 kg/m$^3$

TS = 4% (valor adotado)

Vazão de lodo coletado ≈ 115 m$^3$/d

Ao término desta fase espera-se que a remoção de DBO seja de cerca de 65% e de SST de cerca de 50%.

<u>Esgoto afluente aos reatores UASB</u>

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/l

$SST_{afl.}$ = 200 mg/l

<u>Esgoto efluente que seguirá para o processo de lodos ativados</u>

Eficiência = ($DBO_{entra}$ – $DBO_{sai}$) / $DBO_{entra}$

Eficiência = 65%

$DBO_{efl.}$ = 70 mg/l

Eficiência = ($SST_{entra}$ – $SST_{sai}$) / $SST_{entra}$

Eficiência = 50%

$SST_{efl.}$ = 100 mg/l

**c) Aproveitamento dos tanques existentes como tanques de aeração para o processo de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.**

Serão utilizados os dados da Tabela 7 para o dimensionamento desta etapa.

Sabe-se que os 6 tanques são circulares e tem-se os seguintes dados:

Altura útil (H) = 4,5 m

Diâmetro (∅) = 30 m

V unitário = 3.180 $m^3$

$V_6$ = 19.080 $m^3$

Cálculo da relação A/M

A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 0,75 $m^3/s$ = 64.800 $m^3/d$

DBO = 70 mg/l

$X_{av}$ = concentração de SSV no tanque de aeração (SSVTA) = 1.500 mg/l (valor adotado)

$V_6$ = 19.080 $m^3$

A/M = 0,16 $d^{-1}$ (valor fora da faixa recomendada de 0,25 a 0,40 kgDBO/kg SSVTA ou $d^{-1}$)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração

t = V/Q

t ≈ 0,294 d ≈ 7,1 h (valor fora da faixa recomendada de 3 a 5 h)

Como os valores encontram-se fora das faixas recomendadas será utilizada uma alternativa com menos de seis tanques e os tanques disponíveis serão aproveitados como decantadores secundários, reduzindo o custo e o número de unidades dentro da ETE. Citou-se, anteriormente, que os decantadores secundários devem possuir as mesmas dimensões para que a vazão seja repartida igualmente (facilidade operacional) e, desta forma, fixou-se o diâmetro dos decantadores secundários em 30 m.

Cálculo da relação A/M (3 tanques)

A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 0,75 $m^3/s$ = 64.800 $m^3/d$

DBO = 70 mg/l

$X_{av}$ (SSVTA) = 1.500 mg/l (valor adotado)

$V_3$ = 9.540 $m^3$

$A/M \approx 0,32\ d^{-1}$ (valor dentro da faixa recomendada de 0,25 a 0,40 kgDBO/kg SSVTA ou $d^{-1}$)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (3 tanques)

$t = V/Q$

$t \approx 0,147\ d \approx 3,5\ h$ (valor dentro da faixa recomendada de 3 a 5 h)

Com esta alternativa de 3 tanques para o processo de lodos ativados seriam necessários 4 decantadores secundários e não se tem disponibilidade suficiente de área na ETE. Desta forma, será reduzido o processo de lodos ativados para 2 tanques.

Cálculo da relação A/M (2 tanques)

$A/M = (Q \times DBO) / (X_{av} \times V)$

$Q = Q_{méd} = 0,75\ m^3/s = 64.800\ m^3/d$

DBO = 70 mg/l

$X_{av}$ (SSVTA) = 1.500 mg/l (valor adotado)

$V_2 = 6.360\ m^3$

$A/M \approx 0,47\ d^{-1}$ (trabalharemos com este valor mesmo estando um pouco fora da faixa recomendada de 0,25 a 0,40 kgDBO/kg SSVTA ou $d^{-1}$)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (2 tanques)

$t = V/Q$

$t \approx 0,098\ d \approx 2,4\ h$ (trabalharemos com este valor mesmo estando um pouco fora da faixa recomendada de 3 a 5 h)

Sendo assim, serão utilizados 2 tanques no processo de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios e os outros 4 tanques serão utilizados na fase de decantação secundária.

**d) Dimensionamento do decantador secundário para seguir ao processo de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.**

Serão utilizados os dados da Tabela 7 para o dimensionamento desta etapa.

Cálculo da área necessária aos decantadores

$A = Q/v$

$Q = 0,75\ m^3/s = 64.800\ m^3/d$

$v = 28\ m^3/m^2.d$ (valor adotado dentro da faixa recomendada)

$A \approx 2.314\ m^2$

Fixa-se o diâmetro dos decantadores em 30 m para se aproveitar os 4 tanques disponíveis.

Número de decantadores necessários ($\varnothing = 30$ m)

$A = n \times \pi \times \varnothing^2/4 = 2.314$

$n = 3,3$

Sendo assim, adota-se 4 decantadores e não será necessário tanque extra.

Nova área superficial

Área de 1 decantador $= \pi \times \varnothing^2/4 \approx 706\ m^2$

Área total dos 4 decantadores $= 4 \times 706 = 2.824\ m^2$ (valor superior ao mínimo necessário)

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q/A$

$A = 2.824\ m^2$

$v = 23\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume útil

Apesar dos tanques disponíveis possuírem uma altura útil de 4,5 metros esta altura será reduzida para 4,0 metros de forma a atender aos valores recomendados. Desta forma, todos os decantadores secundários terão profundidade lateral de 4,0 metros.

Profundidade lateral = 4,0 m

$V_{útil}$ unitário = 706 x 4 = 2.824 $m^3$
$V_{útil}$ total = 2.824 x 4 = 11.296 $m^3$

<u>Tempo de detenção (t) em cada tanque</u>
t = V/Q
t ≈ 0,174 d ≈ 4,2 h (atende ao valor recomendado)

Deve-se verificar se a taxa de aplicação de sólidos encontra-se abaixo do limite máximo recomendado de 144 kg SS/$m^2$.d.

<u>Concentração de SSTA</u>
SSV ≈ 0,75 x SST
SSV (SSVTA) = 1.500 mg/L (valor adotado no item anterior)
SST (SSTA) = 2.000 mg/L

Taxa de aplicação de sólidos = M/A

$M = (Q + Q_{rec}) \times SSTA$
Q = 64.800 $m^3$/d
SSTA = 2.000 mg/l = 2,0 kg/$m^3$
$Q_{rec} = Q \times r$

$r = X_a / (X_u - X_a)$
$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 5.000 mg/l (valor adotado dentro da faixa de 5.000 a 7.000 mg/L)
$X_a$ = SST (SSTA) = 2.000 mg/l
r = 0,67

$Q_{rec}$ = 43.416 $m^3$/d

M = (64.800 + 43.416) x 2,0
M = 216.432 kg/d

A = 2.824 $m^2$ (calculado anteriormente)

Taxa de aplicação de sólidos ≈ 77 kg SS/$m^2$.d (valor dentro da faixa recomendada)

Quantificação do lodo removido no decantador secundário

Produção de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB): 0,55 a 0,70 kg SS/kg DBO aplicada ao LA. Adotaremos o valor de 0,6 kg SS/kg DBO aplicada ao LA.

DBO aplicada ao LA = 0,070 kg/$m^3$ x 64.800 $m^3$/d
DBO aplicada ao LA = 4.536 kg DBO/d

Produção de lodo aeróbio excedente = 0,6 x 4.536 ≈ 2.722 kg SS/d

A distribuição do lodo excedente, em termos de sólidos voláteis e sólidos fixos, é função da relação SSV/SS (adotada anteriormente como 0,75). Desta forma, a distribuição será:

Sólidos totais = 2.722 kg SS/d
Sólidos voláteis = 2.722 x 0,75 ≈ 2.042 kg SSV/d
Sólidos fixos = 2.722 x 0,25 ≈ 680 kg SSF/d

A concentração do lodo aeróbio excedente é a mesma do lodo de recirculação, já que o lodo excedente é retirado da linha de recirculação. Esta concentração é função da concentração de SSTA e da razão de recirculação (r).

SSTA ($X_a$) = 2.000 mg/L (calculado anteriormente)
r = 0,67 (calculado anteriormente)

$r = X_a / (X_u – X_a)$

$X_u$ = 5.000 mg SS/L (adotado anteriormente)
$X_u$ = 5,0 kg SS/$m^3$

A vazão de lodo aeróbio excedente, retornado ao reator UASB será:

Vazão = Carga / Concentração

Carga = Sólidos totais = 2.722 kg SS/d
Concentração = $X_u$ = 5,0 kg SS/$m^3$

Vazão de lodo aeróbio excedente = 545 $m^3$/d

Esta vazão é bastante baixa comparada com a vazão afluente ao reator UASB, representando apenas cerca de 0,8% desta (545/64.800 = 0,0084), ou seja, o impacto hidráulico do retorno do lodo aeróbio excedente ao UASB é desprezível.

Verificação da idade do lodo:
$\theta_c = (X_a \times V) / (Q'' \times X_u)$
$X_a$ = 2.000 mg/L
$V = V_2$ = 6.360 $m^3$
$X_u$ = 5.000 mg/L
$\theta_c$ = 5 d (fora da faixa recomendada de 6 a 10 d devido à diminuição no número de tanques do processo de lodos ativados para disponibilizar mais um tanque ao tratamento secundário)

A estimativa da carga orgânica pode ser feita através da relação de 1 kg de SSV gerar uma DQO de aproximadamente 1,5 kg.

CDQO no lodo aeróbio retornado ao reator UASB = 2.042 kg SSV/d . 1,5 kg DQO/kg SSV
CDQO no lodo aeróbio retornado ao reator UASB = 3.063 kg DQO/d
CDQO afluente = 25.920 kg DQO/d

Desta forma a carga de DQO no lodo aeróbio retornado ao reator UASB é aproximadamente 12% da carga de DQO afluente e este aumento da carga não deve afetar o desempenho do reator UASB.

<u>Esgoto afluente aos decantadores primários</u>
$DBO_{afl.}$ = 200 mg/l
$SST_{afl.}$ = 200 mg/l

Remoção de DBO = 90%
Remoção de SST = 90%

Esgoto efluente do sistema de tratamento de esgotos

$DBO_{efl.}$ = 20 mg/l

$SST_{efl.}$ = 20 mg/l

**e) Quantificação do lodo gerado em todo o processo de tratamento.**

Adota-se uma remoção de 25 % dos SSV (faixa usual compreendia entre 20 e 30%) do lodo aeróbio no reator UASB.

Sólidos voláteis = 2.042 x 0,75 ≈ 1.532 kg SSV/d

Sólidos fixos = 680 kg SSF/d (permanece inalterada)

Sólidos totais = 1.532 + 680 = 2.212 kg SS/d

Produção total de lodo = lodo anaeróbio + lodo aeróbio

Lodo anaeróbio = 4.666 kg SS/d

Lodo aeróbio = 2.212 kg SS/d

Produção total de lodo = 6.878 kg SS/d

Assumindo-se teor de sólidos no lodo retirado do UASB de 3,0 %, que equivale a aproximadamente 30.000 mg SS/L ou 30 kg SS/$m^3$, tem-se a seguinte vazão de lodo retirado do UASB a ser dirigido para o tratamento do lodo:

Vazão excedente do UASB = Carga / Concentração

Carga = produção total de lodo retirado do UASB = 6.878 kg SS/d

Concentração = 30 kg SS/$m^3$

Vazão excedente do UASB = 230 $m^3$/d

Desidratação

O lodo retirado do reator UASB já sai digerido e normalmente adensado, requerendo apenas uma etapa de desidratação.

Esta etapa de desidratação será realizada em centrífugas e reduzirá ainda mais o volume diário de lodo, de forma a facilitar sua disposição final.

O procedimento para encontrar a capacidade e dimensões das centrífugas será similar ao utilizado nas hipóteses anteriores.

Vazão do lodo retirado do UASB = 230 $m^3/d$

É preciso saber a capacidade necessária da centrífuga de desidratação ($m^3/h$). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo a ser desidratado por hora = 230 / 12 ≈ 19 $m^3/h$

Adotando o uso de 1 centrífuga tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-506L
Comprimento = 3,83 m
Largura = 2,38 m
Altura = 1,04 m

Além desta centrífuga, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 3% (valor adotado anteriormente) para 25% (dentro da faixa de 18 a 30% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão do lodo retirado do UASB = 230 $m^3/d$
$TS_1$ = 3%
$TS_2$ = 25%
$V_2$ = Vazão de lodo digerido após desidratação ≈ 28 $m^3/d$

Edifício de tratamento de lodo

Para saber as dimensões deste edifício toma-se como base a necessidade de um edifício com 2 pavimentos e área disponível para abrigar as centrífugas de desidratação e o sistema de preparo e dosagem de polieletrólitos.

Seguem as dimensões adotadas com base nos objetivos acima considerados:

Edifício com 2 andares
Comprimento = 19 m
Largura = 14 m

**7.3. Q = 500 L/s**

**a) Dimensionamento da caixa de areia.**

O dimensionamento desta unidade já foi calculado para a hipótese 1 (convencional) e seguem os valores encontrados:

Lado = 18' ≈ 5,5 m (valor de catálogo)
Profundidade = 3' ≈ 0,9 m (valor de catálogo)
Área unitária = 5,5 x 5,5 ≈ 30 $m^2$

A necessária ≈ 53 $m^2$
n = 2
Área total = 2 x 30 = 60 $m^2$

Taxa de escoamento superficial (v) = 1.152 $m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume unitário = 30 x 0,9 = 27 $m^3$
Volume total = 2 x 27 = 54 $m^3$

Tempo de detenção (t) = 0,00078 d = 0,019 h = 1,1 min

**b) Dimensionamento dos reatores UASB.**

Serão utilizados os dados da Tabela 8 e fixam-se os seguintes valores:

Formato: paralelepípedo
Tempo de detenção: 8 horas
Profundidade útil (H): 5 metros
Volume unitário < 1.500 $m^3$

<u>Cálculo do reator como um todo</u>

$Q_{méd}$ = 0,5 $m^3/s$ = 43.200 $m^3/d$

Volume total = Q x t
Volume total = 43.200 x (8/24) = 14.400 $m^3$

Sabendo que o volume unitário deve ser menor do que 1.500 $m^3$ pode-se calcular o número de reatores necessários.

n = Volume total / Volume unitário
Volume unitário escolhido = 1.440 $m^3$
n = 10 reatores

Área unitária = $V_{unitário}$ / H
Área unitária = 288 $m^2$

Dimensões escolhidas para comprimento e largura = 17,0 x 17,0 m

Nova área unitária = 17 x 17 = 289 $m^2$
Área total = 289 x 10 = 2.890 $m^2$

Verificação da carga orgânica volumétrica aplicada:
COV = (Q x DQO) / V
DQO = 400 mg/l
COV = 1,2 $kg/m^3.d$ (valor abaixo do máximo recomendado de 3,5 kg $DQO/m^3.d$)

Sistema de distribuição do esgoto afluente

Para realizar o dimensionamento desta etapa fixam-se os seguintes valores:

Área de influência de cada tubo = 2,4 $m^2$ (recomenda-se a faixa de 2,0 a 3,0 $m^2$)
Diâmetro de cada tubo = 75 mm (valores preferenciais de 75 ou 100 mm)

Número de tubos necessários = Área unitária / Área de influência de cada tubo
Número de tubos necessários por reator = 120
Total de tubos nos 15 reatores = 120 x 10 = 1.200

Seção de cada tubo: $S = \pi \times (\varnothing^2/4) = 0{,}0044\ m^2$
Seção dos 1.200 tubos ($S_{1.200)}$ = 5,28 $m^2$

Verificação da velocidade de escoamento: $v = Q/ S_{1.200}$
$Q = 0{,}5\ m^3/s$
$v = 0{,}09\ m/s$

Sistema de digestão do lodo

Nesta etapa deve-se verificar se a velocidade ascencional $v_a$ do lodo na câmara de digestão encontra-se dentro da faixa recomendada de 0,5 a 0,7 m/h quando utiliza-se a vazão média.

$v_a = Q/A$
$Q = 0{,}5\ m^3/s = 1.800\ m^3/h$
$A = 2.890\ m^2$
$v_a = 0{,}62$ m/h (valor dentro da faixa recomendada)

Sistema de decantação

Em primeiro lugar deve-se estipular o número de compartimentos de decantação em cada reator, e neste caso será fixado em 5. Admite-se uma largura do coletor de gás adjacente a cada 2 compartimentos de decantação igual a 0,8 m.

Estes compartimentos devem ter como comprimento o próprio comprimento lateral do reator (17,0 m) e a largura deve ser calculada a partir do número de compartimentos de decantação e das larguras do coletor de gás e do próprio reator.

Largura dos compartimentos de decantação = (Larg. reatores / Nº de compartimentos) - Larg. coletor
Largura dos compartimentos de decantação = 2,6 m (dentro da faixa recomendada de 2,5 a 3,5 m).

Área superficial de cada compartimento de decantação = 17,0 x 2,6 = 44,2 $m^2$

Área de decantação por reator ($A_d$) = Área do compartimento x número de compartimentos
$A_d$ = 221 $m^2$

Área total de decantação dos 10 reatores = 10 x 221 = 2.210 $m^2$

A velocidade ascencional ($v_d$) do esgoto nos compartimentos de decantação deve ser menor do que 2,3 m/h quando se trabalha com a vazão média.

$v_d = Q/A_d$
Q = 0,5 $m^3/s$ = 1.800 $m^3/h$
$v_d$ = 0,8 m/h (valor adequado)

Para o cálculo do volume de decantação e o tempo de detenção, fixa-se a altura da parte reta em 0,5 m e a altura da parte inclinada em 2,0 m.

Volume de decantação por reator = 552,5 $m^3$
Volume total de decantação = 10 x 552,5 = 5.525 $m^3$

<u>Tempo de detenção (t)</u>
t = V/Q
t = 0,128 d = 3,1 h (dentro do recomendado)

<u>Massa de lodo gerado</u>

Para esta etapa precisaremos saber o valor da DQO e como se trata de esgoto doméstico utilizaremos a relação DQO = 2 x DBO.

Admite-se uma produção de 0,18 kg SST/kg DQO afluente.

DQO = 2 x 200 mg/l = 400 mg/l

CDQO = 0,4 kg DQO/$m^3$ x 43.200 $m^3$/d = 17.280 kg DQO/d

Massa de lodo gerado = 0,18 kg SST/kg DQO x 17.280 kg DQO/d

M ≈ 3.111 kg SST/d

Vazão de lodo coletado = Massa / ($\rho$ x $\gamma$ x TS)

Massa = 3.111 kg SST/d

$\rho$ = 1,02

$\gamma$ = 1.000 kg/$m^3$

TS = 4% (valor adotado)

Vazão de lodo coletado ≈ 77 $m^3$/d

Ao término desta fase espera-se que a remoção de DBO seja de cerca de 65% e de SST de cerca de 50%.

<u>Esgoto afluente aos reatores UASB</u>

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/l

$SST_{afl.}$ = 200 mg/l

<u>Esgoto efluente que seguirá para o processo de lodos ativados</u>

Eficiência = ($DBO_{entra}$ – $DBO_{sai}$) / $DBO_{entra}$

Eficiência = 65%

$DBO_{efl.}$ = 70 mg/l

Eficiência = ($SST_{entra}$ – $SST_{sai}$) / $SST_{entra}$

Eficiência = 50%

$SST_{efl.}$ = 100 mg/l

**c) Aproveitamento dos tanques existentes como tanques de aeração para o processo de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.**

Serão utilizados os dados da Tabela B para o dimensionamento desta etapa.

Sabe-se que os 6 tanques são circulares e tem-se os seguintes dados:

Altura útil (H) = 4,5 m
Diâmetro (∅) = 30 m
V unitário = 3.180 $m^3$
$V_6$ = 19.080 $m^3$

Cálculo da relação A/M
A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 500 l/s = 43.200 $m^3$/d
DBO = 70 mg/l
$X_{av}$ = concentração de SSV no tanque de aeração (SSVTA) = 1.500 mg/l (valor adotado)
$V_6$ = 19.080 $m^3$

A/M = 0,11 $d^{-1}$ (valor fora da faixa recomendada de 0,25 a 0,40 kgDBO/kg SSVTA ou $d^{-1}$)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração
t = V/Q
t ≈ 0,442 d ≈ 10,6 h (valor fora da faixa recomendada de 3 a 5 h)

Como os valores encontram-se fora das faixas recomendadas será utilizada uma alternativa com menos de seis tanques e os tanques disponíveis serão aproveitados como decantadores secundários, reduzindo o custo e o número de unidades dentro da ETE. Citou-se, anteriormente, que os decantadores secundários devem possuir as mesmas dimensões para que a vazão seja repartida igualmente (facilidade operacional) e, desta forma, fixou-se o diâmetro dos decantadores secundários em 30 m.

Cálculo da relação A/M (2 tanques)
A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 500 l/s = 43.200 $m^3$/d
DBO = 70 mg/l

$X_{av}$ (SSVTA) = 1.500 mg/l (valor adotado)
$V_2$ = 6.360 $m^3$

A/M ≈ 0,32 $d^{-1}$ (valor dentro da faixa recomendada de 0,25 a 0,40 kgDBO/kg SSVTA ou $d^{-1}$)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (2 tanques)
t = V/Q
t ≈ 0,147 d ≈ 3,5 h (valor dentro da faixa recomendada de 3 a 5 h)

Com esta alternativa de 2 tanques para o processo de lodos ativados e a necessidade de apenas 3 decantadores secundários se teria 1 dos tanques sem utilidade. Desta forma, o processo de lodos ativados será aumentado para 3 tanques.

Cálculo da relação A/M (3 tanques)
A/M = (Q x DBO) / ($X_{av}$ x V)

Q = $Q_{méd}$ = 0,5 $m^3/s$ = 43.200 $m^3/d$
DBO = 70 mg/l
$X_{av}$ (SSVTA) = 1.500 mg/l (valor adotado)
$V_3$ = 9.540 $m^3$

A/M ≈ 0,22 $d^{-1}$ (trabalharemos com este valor mesmo estando um pouco fora da faixa recomendada de 0,25 a 0,40 kgDBO/kg SSVTA ou $d^{-1}$)

Tempo de detenção (t) nos tanques de aeração (3 tanques)
t = V/Q
t ≈ 0,21 d ≈ 5 h (dentro da faixa recomendada de 3 a 5 h)

Sendo assim, serão utilizados 3 tanques no processo de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios e os outros 3 tanques serão utilizados na fase de decantação secundária.

**d) Dimensionamento do decantador secundário para seguir ao processo de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.**

Serão utilizados os dados da Tabela 7 para o dimensionamento desta etapa.

Cálculo da área necessária aos decantadores

$A = Q/v$

$Q = 0,5\ m^3/s = 43.200\ m^3/d$

$v = 28\ m^3/m^2.d$ (valor adotado dentro da faixa recomendada)

$A \approx 1.543\ m^2$

Fixa-se o diâmetro dos decantadores em 30 m para se aproveitar os 3 tanques disponíveis.

Número de decantadores necessários ($\varnothing = 30$ m)

$A = n \times \pi \times \varnothing^2/4 = 2.314$

$n = 2,2$

Sendo assim, adotam-se 3 decantadores e não será necessário tanque extra.

Nova área superficial

Área de 1 decantador $= \pi \times \varnothing^2/4 \approx 706\ m^2$

Área total dos 3 decantadores $= 3 \times 706 = 2.118\ m^2$ (valor superior ao mínimo necessário)

Como a área dimensionada apresentou um valor diferente da área necessária inicialmente tem-se uma pequena alteração no valor da taxa de escoamento superficial.

Nova taxa (v)

$v = Q/A$

$A = 2.118\ m^2$

$v = 20,4\ m^3/m^2.d$ (valor dentro do recomendado pela Norma)

Volume útil

Apesar dos tanques disponíveis possuírem uma altura útil de 4,5 metros esta altura será reduzida para 4,0 metros de forma a atender aos valores recomendados. Desta forma, todos os decantadores secundários terão profundidade lateral de 4,0 metros.

Profundidade lateral = 4,0 m

$V_{útil}$ unitário = 706 x 4 = 2.824 $m^3$
$V_{útil}$ total = 2.118 x 4 = 8.472 $m^3$

Tempo de detenção (t) em cada tanque
t = V/Q
t ≈ 0,196 d ≈ 4,7 h (atende ao valor recomendado)

Deve-se verificar se a taxa de aplicação de sólidos encontra-se abaixo do limite máximo recomendado de 144 kg SS/$m^2$.d.

Concentração de SSTA
SSV ≈ 0,75 x SST
SSV (SSVTA) = 1.500 mg/L (valor adotado no item anterior)
SST (SSTA) = 2.000 mg/L

Taxa de aplicação de sólidos

Taxa de aplicação de sólidos = M/A

$M = (Q + Q_{rec}) \times SSTA$
Q = 43.200 $m^3$/d
SSTA = 2.000 mg/l = 2,0 kg/$m^3$
$Q_{rec} = Q \times r$

$r = X_a / (X_u - X_a)$
$X_u$ = concentração de SS no lodo em excesso ≈ 5.000 mg/l (valor adotado dentro da faixa de 5.000 a 7.000 mg/L)
$X_a$ = SST (SSTA) = 2.000 mg/l

$r = 0,67$

$Q_{rec} = 28.944\ m^3/d$

$M = (43.200 + 28.944) \times 2,0$
$M = 144.288\ kg/d$

$A = 2.118\ m^2$ (calculado anteriormente)

Taxa de aplicação de sólidos ≈ 68 kg $SS/m^2.d$ (valor dentro da faixa recomendada)

<u>Quantificação do lodo removido no decantador secundário</u>

Produção de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB): 0,55 a 0,70 kg SS/kg DBO aplicada ao LA. Adotaremos o valor de 0,6 kg SS/kg DBO aplicada ao LA.

DBO aplicada ao LA = 0,070 $kg/m^3$ x 43.200 $m^3/d$
DBO aplicada ao LA = 3.024 kg DBO/d

Produção de lodo aeróbio excedente = 0,6 x 3.024 ≈ 1.815 kg SS/d

A distribuição do lodo excedente, em termos de sólidos voláteis e sólidos fixos, é função da relação SSV/SS (adotada anteriormente como 0,75). Desta forma, a distribuição será:

Sólidos totais = 1.815 kg SS/d
Sólidos voláteis = 1.815 x 0,75 ≈ 1.361 kg SSV/d
Sólidos fixos = 1.815 x 0,25 ≈ 454 kg SSF/d

A concentração do lodo aeróbio excedente é a mesma do lodo de recirculação, já que o lodo excedente é retirado da linha de recirculação. Esta concentração é função da concentração de SSTA e da razão de recirculação (r).

SSTA ($X_a$) = 2.000 mg/L (calculado anteriormente)
r = 0,67 (calculado anteriormente)

$r = X_a / (X_u - X_a)$

$X_u$ = 5.000 mg SS/L (adotado anteriormente)
$X_u$ = 5,0 kg SS/$m^3$

A vazão de lodo aeróbio excedente, retornado ao reator UASB será:

Vazão = Carga / Concentração

Carga = Sólidos totais = 1.815 kg SS/d
Concentração = $X_u$ = 5,0 kg SS/$m^3$

Vazão de lodo aeróbio excedente = 363 $m^3$/d

Esta vazão é bastante baixa comparada com a vazão afluente ao reator UASB, representando apenas cerca de 0,8% desta (363/43.200 = 0,0084), ou seja, o impacto hidráulico do retorno do lodo aeróbio excedente ao UASB é desprezível.

Verificação da idade do lodo:
$\theta_c = (X_a \times V) / (Q'' \times X_u)$
$X_a$ = 2.000 mg/L
$V = V_3$ = 9.540 $m^3$
$X_u$ = 5.000 mg/L
$\theta_c \approx$ 10 d (dentro da faixa recomendada de 6 a 10 d)

A estimativa da carga orgânica pode ser feita através da relação de 1 kg de SSV gerar uma DQO de aproximadamente 1,5 kg.

CDQO no lodo aeróbio retornado ao reator UASB = 1.361 kg SSV/d x 1,5 kg DQO/kg SSV
CDQO no lodo aeróbio retornado ao reator UASB = 2.041,5 kg DQO/d
CDQO afluente = 17.280 kg DQO/d

Desta forma a carga de DQO no lodo aeróbio retornado ao reator UASB é aproximadamente 12% da carga de DQO afluente e este aumento da carga não deve afetar o desempenho do reator UASB.

Esgoto afluente aos decantadores primários

$DBO_{afl.}$ = 200 mg/l

$SST_{afl.}$ = 200 mg/l

Remoção de DBO = 90%

Remoção de SST = 90%

Esgoto efluente do sistema de tratamento de esgotos

$DBO_{efl.}$ = 20 mg/l

$SST_{efl.}$ = 20 mg/l

**e) Quantificação do lodo gerado em todo o processo de tratamento.**

Adota-se uma remoção de 25 % dos SSV (faixa usual compreendia entre 20 e 30%) do lodo aeróbio no reator UASB.

Sólidos voláteis = 1.361 x 0,75 ≈ 1.021 kg SSV/d

Sólidos fixos = 454 kg SSF/d (permanece inalterada)

Sólidos totais = 1.021 + 454 = 1.475 kg SS/d

Produção total de lodo = lodo anaeróbio + lodo aeróbio

Lodo anaeróbio = 3.111 kg SS/d

Lodo aeróbio = 1.475 kg SS/d

Produção total de lodo = 4.586 kg SS/d

Assumindo-se teor de sólidos no lodo retirado do UASB de 3,0 %, que equivale a aproximadamente 30.000 mg SS/L ou 30 kg SS/$m^3$, tem-se a seguinte vazão de lodo retirado do UASB a ser dirigido para o tratamento do lodo:

Vazão excedente do UASB = Carga / Concentração

Carga = produção total de lodo retirado do UASB = 4.586 kg SS/d

Concentração = 30 kg SS/$m^3$

Vazão excedente do UASB = 153 $m^3$/d

Desidratação

O lodo retirado do reator UASB já sai digerido e normalmente adensado, requerendo apenas uma etapa de desidratação.

Esta etapa de desidratação será realizada em centrífugas e reduzirá ainda mais o volume diário de lodo, de forma a facilitar sua disposição final.

O procedimento para encontrar a capacidade e dimensões das centrífugas será similar ao utilizado nas hipóteses anteriores.

Vazão do lodo retirado do UASB = 153 $m^3/d$

É preciso saber a capacidade necessária da centrífuga de desidratação ($m^3/h$). Para isto admite-se que o tempo de operação das centrífugas será de 12 h/d e estas funcionarão durante os 7 dias da semana.

Vazão de lodo a ser desidratado por hora = 153 / 12 ≈ 13 $m^3/h$

Adotando o uso de 1 centrífuga tem-se as seguintes dimensões (informações do catálogo "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd."):

Modelo HS-505L
Comprimento = 3,40 m
Largura = 2,38 m
Altura = 1,04 m

Além desta centrífuga, será adicionada mais 1 centrífuga de mesma capacidade como reserva.

Espera-se que o teor de sólidos suba de 3% (valor adotado anteriormente) para 25% (dentro da faixa de 18 a 30% adotada pela Revisão da NBR 12.209).

Cálculo do novo volume:
$V_2 / V_1 = TS_1 / TS_2$
$V_1$ = Vazão do lodo retirado do UASB = 153 $m^3/d$
$TS_1 = 3\%$
$TS_2 = 25\%$

$V_2$ = Vazão de lodo digerido após desidratação ≈ 18 $m^3/d$

Edifício de tratamento de lodo

Para saber as dimensões deste edifício toma-se como base a necessidade de um edifício com 2 pavimentos e área disponível para abrigar as centrífugas de desidratação e o sistema de preparo e dosagem de polieletrólitos.

Seguem as dimensões adotadas com base nos objetivos acima considerados:

Edifício com 2 andares
Comprimento = 19 m
Largura = 14 m

## 7.4. Tabela comparativa das diferentes vazões

Tabela 11: Hipótese 3 - UASB

| | Hipótese 3 (UASB) | | |
|---|---|---|---|
| | Q = 1.000 l/s | Q = 750 l/s | Q = 500 l/s |
| **Gradeamento** | ok | ok | ok |
| **Caixa de areia** | n = 3<br>v = 1.280 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6 m<br>Profundidade = 1,2 m | n = 2<br>v = 1.152 m3/m2.d<br>Lado = 6,7 m<br>Profundidade = 1,2 m | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 5,5 m<br>Profundidade = 0,9 m |
| **Decantador primário** | Reatores UASB<br>n = 20<br>Formato: paralelepípedo<br>Comprimento = 17 m<br>Largura = 17 m<br>$H_{útil}$ = 5,0 m | Reatores UASB<br>n = 15<br>Formato: paralelepípedo<br>Comprimento = 17 m<br>Largura = 17 m<br>$H_{útil}$ = 5,0 m | Reatores UASB<br>n = 10<br>Formato: paralelepípedo<br>Comprimento = 17 m<br>Largura = 17 m<br>$H_{útil}$ = 5,0 m |
| **Tanques de aeração (PLA)** | n = 4 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | n = 2 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | n = 3 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m |
| **Decantador secundário** | n = 2 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m<br>n = 3<br>Ø = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 4 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 23 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 3 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 20,4 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m |
| **Centrífuga de desidratação** | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 26 $m^3/h$ | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 19 $m^3/h$ | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 13 $m^3/h$ |
| **Edifício de tratamento de lodo** | Andares = 2<br>Comprimento = 19 m<br>Largura = 14 m | Andares = 2<br>Comprimento = 19 m<br>Largura = 14 m | Andares = 2<br>Comprimento = 19 m<br>Largura = 14 m |
| **Lodo sem estabilização** | Massa de lodo anaeróbio = 6.221 kg/d<br>Vazão de lodo anaeróbio = 153 $m^3/d$<br>Massa de lodo aeróbio = 3.629 kg/d<br>Vazão de lodo aeróbio = 726 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 9.850 kg/d<br>Vazão de lodo retirado do UASB = 306 $m^3/d$ | Massa de lodo anaeróbio = 4.666 kg/d<br>Vazão de lodo anaeróbio = 115 $m^3/d$<br>Massa de lodo aeróbio = 2.722 kg/d<br>Vazão de lodo aeróbio = 545 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 7.388 kg/d<br>Vazão de lodo retirado do UASB = 230 $m^3/d$ | Massa de lodo anaeróbio = 3.111 kg/d<br>Vazão de lodo anaeróbio = 77 $m^3/d$<br>Massa de lodo aeróbio = 1.815 kg/d<br>Vazão de lodo aeróbio = 363 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 7.388 kg/d<br>Vazão de lodo retirado do UASB = 153 $m^3/d$ |
| **Lodo desidratado e estabilizado** | Massa de lodo = 9.170 kg/d<br>Vazão de lodo = 37 $m^3/d$ | Massa de lodo = 6.878 kg/d<br>Vazão de lodo = 28 $m^3/d$ | Massa de lodo = 4.926 kg/d<br>Vazão de lodo = 18 $m^3/d$ |

## 7.5. Layout das diferentes vazões

Unidades representadas nos desenhos:

- T: atuais tanques da ETE
- DP: decantador primário
- TA: tanque de aeração utilizado no processo de lodos ativados
- DS: decantador secundário
- A: adensador
- D: digestor de lodo
- ETL: edifício de tratamento de lodo
- UASB: reatores UASB

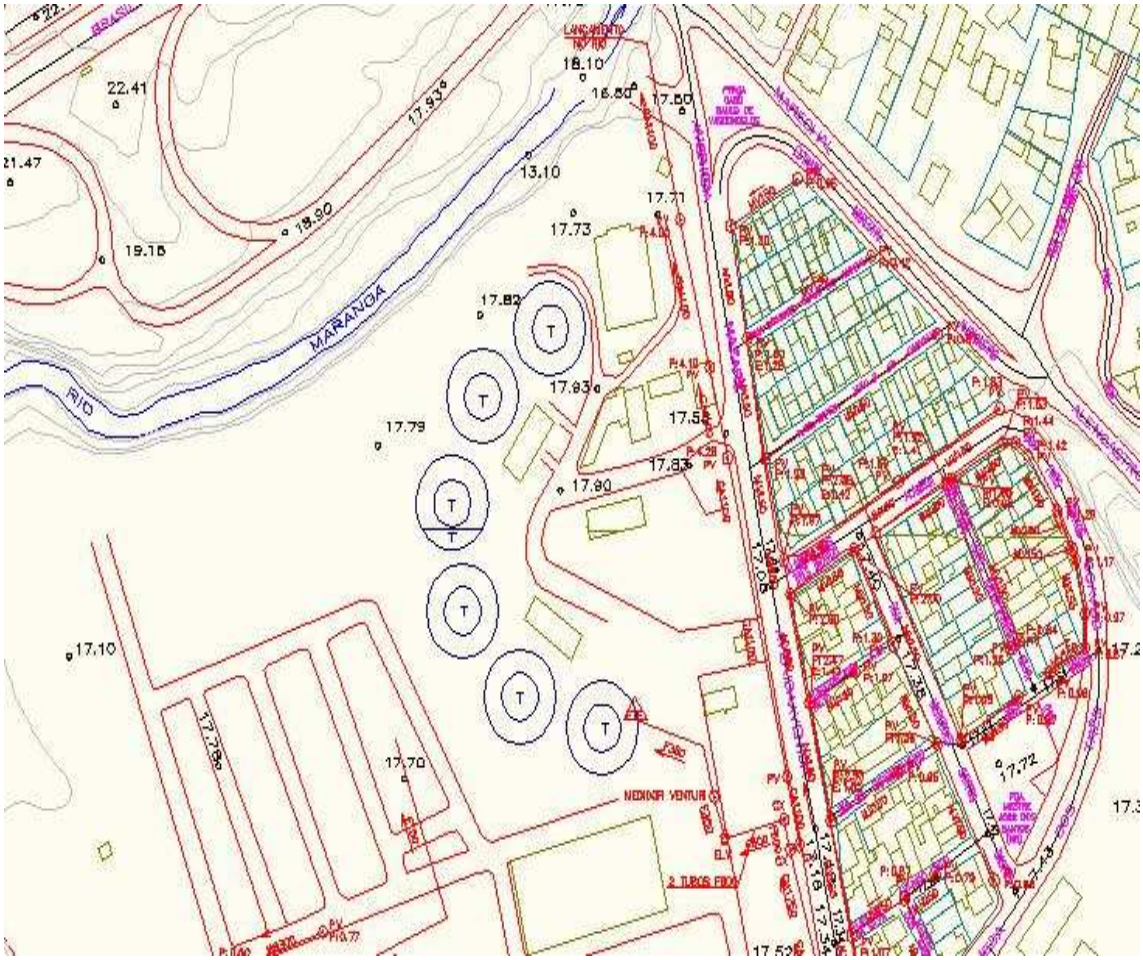


Figura 34: Layout original da ETE Deodoro

Figura 35: Hipótese 3 (UASB) - Vazão de 1.000 L/s. Insuficiência de espaço físico para alocação de 02 reatores UASB e 03 decantadores secundários

Figura 36: Hipótese 3 (UASB) - Vazão de 750 L/s

Figura 37: Hipótese 3 (UASB) - Vazão de 500 L/s

## 8. Tabelas comparativas

Tabela 12: Diferentes hipóteses para vazão de 1.000 L/s

| Q = 1.000 l/s | Hipótese 1 (convencional) | | Hipótese 2 (CEPT) | | Hipótese 3 (UASB) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Gradeamento** | ok | | ok | | ok | |
| **Caixa de areia** | n = 3<br>v = 1.280 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6 m<br>Profundidade = 1,2 m | | n = 3<br>v = 1.280 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6 m<br>Profundidade = 1,2 m | | n = 3<br>v = 1.280 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6 m<br>Profundidade = 1,2 m | |
| **Decantador primário** | n = 2<br>v = 77 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 45 m<br>Largura = 20 m<br>Área = 1.800 $m^2$<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | | n = 2<br>v = 88 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 45 m<br>Largura = 17,5 m<br>Área = 1.574 $m^2$<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | | <u>Reatores UASB</u><br>n = 20<br>Formato: paralelepípedo<br>Comprimento = 17 m<br>Largura = 17 m<br>$H_{útil}$ = 5,0 m | |
| **Tanques de aeração (PLA)** | n = 5 (tanques disponíveis)<br>∅ = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | | n = 5 (tanques disponíveis)<br>∅ = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | | n = 4 (tanques disponíveis)<br>∅ = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | |
| **Decantador secundário** | n = 1 (tanque disponível)<br>∅ = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 4<br>∅ = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 1 (tanque disponível)<br>∅ = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 4<br>∅ = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 2 (tanques disponíveis)<br>∅ = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 3<br>∅ = 30 m<br>v = 24,5 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m |
| **Adensador por gravidade** | n = 1<br>∅ = 10 m<br>H = 3,5 m | | n = 1<br>∅ = 13 m<br>H = 3,5 m | | - | |
| **Centrífuga de adensamento** | n = 3 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 23 $m^3/h$ | | n = 3 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 23 $m^3/h$ | | - | |
| **Digestor anaeróbio** | n = 4<br>∅ = 10 m<br>H = 20 m | | - | | - | |
| **Centrífuga de desidratação** | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 20 $m^3/h$ | | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 30 $m^3/h$ | | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 26 $m^3/h$ | |
| **Estabilização química** | - | | Massa de cal = 4.064 kg/d | | - | |
| **Edifício de tratamento de lodo** | Andares = 2<br>Comprimento = 25 m<br>Largura = 14 m | | Andares = 2<br>Comprimento = 32 m<br>Largura = 14 m | | Andares = 2<br>Comprimento = 19 m<br>Largura = 14 m | |
| **Lodo sem adensamento e estabilização** | Massa de lodo primário = 8.640 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 283 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 6.496 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 811 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 15.136 kg/d<br>Vazão total de lodo = 1.094 $m^3/d$ | | Massa de lodo primário = 13.824 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 452 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 6.496 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 811 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 20.320 kg/d<br>Vazão total de lodo = 1.263 $m^3/d$ | | Massa de lodo anaeróbio = 6.221 kg/d<br>Vazão de lodo anaeróbio = 153 $m^3/d$<br>Massa de lodo aeróbio = 3.629 kg/d<br>Vazão de lodo aeróbio = 726 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 9.850 kg/d<br>Vazão de lodo retirado do UASB = 306 $m^3/d$ | |
| **Lodo desidratado e estabilizado** | Massa de lodo = 9.836 kg/d<br>Vazão de lodo = 39 $m^3/d$ | | Massa de lodo = 24.384 kg/d<br>Vazão de lodo = 71 $m^3/d$ | | Massa de lodo = 9.170 kg/d<br>Vazão de lodo = 37 $m^3/d$ | |

Tabela 13: Diferentes hipóteses para vazão de 750 L/s

| Q = 750 l/s | Hipótese 1 (convencional) | | Hipótese 2 (CEPT) | | Hipótese 3 (UASB) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Gradeamento** | ok | | ok | | ok |
| **Caixa de areia** | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6,7 m<br>Profundidade = 1,2 m | | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6,7 m<br>Profundidade = 1,2 m | | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 6,7 m<br>Profundidade = 1,2 m |
| **Decantador primário** | n = 2<br>v = 77 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 45 m<br>Largura = 15 m<br>Área = 1.350 $m^2$<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | | n = 2<br>v = 85 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 45 m<br>Largura = 13,5 m<br>Área = 1.215 $m^2$<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | | <u>Reatores UASB</u><br>n = 15<br>Formato: paralelepípedo<br>Comprimento = 17 m<br>Largura = 17 m<br>$H_{útil}$ = 5,0 m |
| **Tanques de aeração (PLA)** | n = 4 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | | n = 4 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | | n = 2 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m |
| **Decantador secundário** | n = 2 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 23 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 2<br>Ø = 30 m<br>v = 23 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 2 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 23 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 2<br>Ø = 30 m<br>v = 23 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 4 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 23 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m |
| **Adensador por gravidade** | n = 1<br>Ø = 9 m<br>H = 3,5 m | | n = 1<br>Ø = 11 m<br>H = 3,5 m | | - |
| **Centrífuga de adensamento** | n = 2 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 27 $m^3/h$ | | n = 2 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 27 $m^3/h$ | | - |
| **Digestor anaeróbio** | n = 3<br>Ø = 10 m<br>H = 20 m | | - | | - |
| **Centrífuga de desidratação** | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 16 $m^3/h$ | | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 23 $m^3/h$ | | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 19 $m^3/h$ |
| **Estabilização química** | - | | Massa de cal = 3.112 kg/d | | - |
| **Edifício de tratamento de lodo** | Andares = 2<br>Comprimento = 22 m<br>Largura = 14 m | | Andares = 2<br>Comprimento = 29 m<br>Largura = 14 m | | Andares = 2<br>Comprimento = 19 m<br>Largura = 14 m |
| **Lodo sem adensamento e estabilização** | Massa de lodo primário = 6.480 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 212 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 5.192 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 649 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 11.672 kg/d<br>Vazão total de lodo = 861 $m^3/d$ | | Massa de lodo primário = 10.368 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 339 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 5.193 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 649 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 15.561 kg/d<br>Vazão total de lodo = 988 $m^3/d$ | | Massa de lodo anaeróbio = 4.666 kg/d<br>Vazão de lodo anaeróbio = 115 $m^3/d$<br>Massa de lodo aeróbio = 2.722 kg/d<br>Vazão de lodo aeróbio = 545 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 7.388 kg/d<br>Vazão de lodo retirado do UASB = 230 $m^3/d$ |
| **Lodo desidratado e estabilizado** | Massa de lodo = 7.587 kg/d<br>Vazão de lodo = 30 $m^3/d$ | | Massa de lodo = 18.673 kg/d<br>Vazão de lodo = 55 $m^3/d$ | | Massa de lodo = 6.878 kg/d<br>Vazão de lodo = 28 $m^3/d$ |

Tabela 14: Diferentes hipóteses para vazão de 500 L/s

| Q = 500 l/s | Hipótese 1 (convencional) | Hipótese 2 (CEPT) | Hipótese 3 (UASB) |
|---|---|---|---|
| **Gradeamento** | ok | ok | ok |
| **Caixa de areia** | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 5,5 m<br>Profundidade = 0,9 m | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 5,5 m<br>Profundidade = 0,9 m | n = 2<br>v = 1.152 $m^3/m^2.d$<br>Lado = 5,5 m<br>Profundidade = 0,9 m |
| **Decantador primário** | n = 2<br>v = 77 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 45 m<br>Lado = 10 m<br>Área = 900 $m^2$<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | n = 3<br>v = 86 $m^3/m^2.d$<br>Comprimento = 40 m<br>Largura = 10 m<br>Área = 800 $m^2$<br>$H_{útil}$ = 3,5 m | Reatores UASB<br>n = 10<br>Formato: paralelepípedo<br>Comprimento = 17 m<br>Largura = 17 m<br>$H_{útil}$ = 5,0 m |
| **Tanques de aeração (PLA)** | n = 3 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | n = 3 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m | n = 3 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>$H_{útil}$ = 4,5 m |
| **Decantador secundário** | n = 3 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 20,4 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 3 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 20,4 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m | n = 3 (tanques disponíveis)<br>Ø = 30 m<br>v = 20,4 $m^3/m^2.d$<br>$H_{útil}$ = 4,0 m |
| **Adensador por gravidade** | n = 1<br>Ø = 7 m<br>H = 3,5 m | n = 1<br>Ø = 9 m<br>H = 3,5 m | - |
| **Centrífuga de adensamento** | n = 2 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 21 $m^3/h$ | n = 2 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 21 $m^3/h$ | - |
| **Digestor anaeróbio** | n = 2<br>Ø = 10 m<br>H = 20 m | - | - |
| **Centrífuga de desidratação** | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 11 $m^3/h$ | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 16 $m^3/h$ | n = 1 + 1 (reserva)<br>Capacidade unitária = 13 $m^3/h$ |
| **Estabilização química** | - | Massa de cal = 2.161 kg/d | - |
| **Edifício de tratamento de lodo** | Andares = 2<br>Comprimento = 22 m<br>Largura = 14 m | Andares = 2<br>Comprimento = 29 m<br>Largura = 14 m | Andares = 2<br>Comprimento = 19 m<br>Largura = 14 m |
| **Lodo sem adensamento e estabilização** | Massa de lodo primário = 4.320 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 142 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 3.896 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 487 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 8.216 kg/d<br>Vazão total de lodo = 629 $m^3/d$ | Massa de lodo primário = 6.912 kg/d<br>Vazão de lodo primário = 226 $m^3/d$<br>Massa de lodo secundário = 3.895 kg/d<br>Vazão de lodo secundário = 487 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 10.807 kg/d<br>Vazão total de lodo = 713 $m^3/d$ | Massa de lodo anaeróbio = 3.111 kg/d<br>Vazão de lodo anaeróbio = 77 $m^3/d$<br>Massa de lodo aeróbio = 1.815 kg/d<br>Vazão de lodo aeróbio = 363 $m^3/d$<br>Massa total de lodo = 7.388 kg/d<br>Vazão de lodo retirado do UASB = 153 $m^3/d$ |
| **Lodo desidratado e estabilizado** | Massa de lodo = 5.341 kg/d<br>Vazão de lodo = 21 $m^3/d$ | Massa de lodo = 12.968 kg/d<br>Vazão de lodo = 38 $m^3/d$ | Massa de lodo = 4.926 kg/d<br>Vazão de lodo = 18 $m^3/d$ |

Tabela 15: Resumo para vazão de 1.000 L/s

| Q = 1.000 l/s | Hipótese 1 (convencional) | Hipótese 2 (CEPT) | Hipótese 3 (UASB) |
|---|---|---|---|
| Caixa de areia | n = 3 (6 x 6 x 1,2 m) | n = 3 (6 x 6 x 1,2 m) | n = 3 (6 x 6 x 1,2 m) |
| Decantador primário | n = 2 (45,0 x 20,0 x 3,5 m) | n = 2 (45,0 x 17,5 x 3,5 m) | n = 20 (17,0 x 17,0 x 5,0 m) |
| Tanques de aeração (PLA) | n = 5 (Ø = 30 m e H = 4,5 m ) | n = 5 (Ø = 30 m e H = 4,5 m ) | n = 4 (Ø = 30 m e H = 4,5 m ) |
| Decantador secundário | n = 5 (Ø = 30 m e H = 4,0 m ) | n = 5 (Ø = 30 m e H = 4,0 m ) | n = 5 (Ø = 30 m e H = 4,0 m ) |
| Adensador por gravidade | n = 1 (Ø = 10 m e H = 3,5 m ) | n = 1 (Ø = 13 m e H = 3,5 m ) | - |
| Centrífuga de adensamento | n = 3 + 1 (23 $m^3$/h) | n = 3 + 1 (23 $m^3$/h) | - |
| Digestor anaeróbio | n = 4 (Ø = 10 m e H = 20 m ) | - | - |
| Centrífuga de desidratação | n = 1 + 1 (20 $m^3$/h) | n = 1 + 1 (30 $m^3$/h) | n = 1 + 1 (26 $m^3$/h) |
| Edifício de tratamento de lodo | Andares = 2 (25 x 14 m) | Andares = 2 (32 x 14 m) | Andares = 2 (19 x 14 m) |

Tabela 16: Resumo para vazão de 750 L/s

| Q = 750 l/s | Hipótese 1 (convencional) | Hipótese 2 (CEPT) | Hipótese 3 (UASB) |
|---|---|---|---|
| Caixa de areia | n = 2 (6,7 x 6,7 x 1,2 m) | n = 2 (6,7 x 6,7 x 1,2 m) | n = 2 (6,7 x 6,7 x 1,2 m) |
| Decantador primário | n = 2 (45,0 x 15,0 x 3,5 m) | n = 2 (45,0 x 13,5 x 3,5 m) | n = 15 (17,0 x 17,0 x 5,0 m) |
| Tanques de aeração (PLA) | n = 4 (Ø = 30 m e H = 4,5 m ) | n = 4 (Ø = 30 m e H = 4,5 m ) | n = 2 (Ø = 30 m e H = 4,5 m ) |
| Decantador secundário | n = 4 (Ø = 30 m e H = 4,0 m ) | n = 4 (Ø = 30 m e H = 4,0 m ) | n = 4 (Ø = 30 m e H = 4,0 m ) |
| Adensador por gravidade | n = 1 (Ø = 9 m e H = 3,5 m ) | n = 1 (Ø = 11 m e H = 3,5 m ) | - |
| Centrífuga de adensamento | n = 2 + 1 (27 $m^3$/h) | n = 2 + 1 (27 $m^3$/h) | - |
| Digestor anaeróbio | n = 3 (Ø = 10 m e H = 20 m ) | - | - |
| Centrífuga de desidratação | n = 1 + 1 (16 $m^3$/h) | n = 1 + 1 (23 $m^3$/h) | n = 1 + 1 (19 $m^3$/h) |
| Edifício de tratamento de lodo | Andares = 2 (22 x 14 m) | Andares = 2 (29 x 14 m) | Andares = 2 (19 x 14 m) |

Tabela 17: Resumo para vazão de 500 L/s

| Q = 500 l/s | Hipótese 1 (convencional) | Hipótese 2 (CEPT) | Hipótese 3 (UASB) |
|---|---|---|---|
| Caixa de areia | n = 2 (5,5 x 5,5 x 0,9 m) | n = 2 (5,5 x 5,5 x 0,9 m) | n = 2 (5,5 x 5,5 x 0,9 m) |
| Decantador primário | n = 2 (45,0 x 10,0 x 3,5 m) | n = 2 (40,0 x 13,5 x 3,5 m) | n = 10 (17,0 x 17,0 x 5,0 m) |
| Tanques de aeração (PLA) | n = 3 (Ø = 30 m e H = 4,5 m ) | n = 3 (Ø = 30 m e H = 4,5 m ) | n = 3 (Ø = 30 m e H = 4,5 m ) |
| Decantador secundário | n = 3 (Ø = 30 m e H = 4,0 m ) | n = 3 (Ø = 30 m e H = 4,0 m ) | n = 3 (Ø = 30 m e H = 4,0 m ) |
| Adensador por gravidade | n = 1 (Ø = 7 m e H = 3,5 m ) | n = 1 (Ø = 9 m e H = 3,5 m ) | - |
| Centrífuga de adensamento | n = 2 + 1 (21 $m^3$/h) | n = 2 + 1 (21 $m^3$/h) | - |
| Digestor anaeróbio | n = 2 (Ø = 10 m e H = 20 m ) | - | - |
| Centrífuga de desidratação | n = 1 + 1 (11 $m^3$/h) | n = 1 + 1 (16 $m^3$/h) | n = 1 + 1 (13 $m^3$/h) |
| Edifício de tratamento de lodo | Andares = 2 (22 x 14 m) | Andares = 2 (29 x 14 m) | Andares = 2 (19 x 14 m) |

## 9. Considerações Finais

A capacidade máxima da ETE Deodoro é de 210 L/s e considerando uma contribuição per capita de esgotos, baseada em dados da literatura, de 200 L/hab.d estima-se que a estação de tratamento possua uma capacidade para atender aproximadamente 90.000 habitantes. Com a possível expansão para 1.000 L/s esta capacidade aumentaria para cerca de 432.000 habitantes, número equivalente a 27,8% da população da AP-5 (baseada no Censo de 2.000). No cenário onde a expansão atenda uma vazão de 750 L/s, a população beneficiada seria de 324.000 habitantes, correspondendo a 20,8% da população da AP-5 (baseada no Censo de 2.000). No cenário mais pessimista deste estudo, onde a expansão da ETE seria para 500 L/s, a capacidade seria de 216.000 habitantes, equivalendo a 13,9% da população da AP-5 (baseada no Censo de 2.000).

No que tange às alterações para a expansão da estação o presente estudo considerou variadas hipóteses para que se possam ter alternativas tecnológicas comprovadamente eficientes para a expansão da ETE. De posse das informações contidas no presente trabalho é possível comparar e analisar as diferentes características das alternativas estudadas. Para isto será levado em consideração o detalhamento dos dimensionamentos realizados anteriormente e o material complementar dos Anexos A e B.

Pensando em uma situação de longo prazo o estudo considerou três diferentes vazões. Foi constatado que, atualmente, não existe viabilidade para comportar uma expansão para vazão de 1.000 L/s em nenhuma das diferentes hipóteses consideradas (tratamento convencional, CEPT e reatores UASB). Apesar das hipóteses 1 (tratamento convencional) e 2 (CEPT) serem capazes de receber todas as unidades dimensionadas, percebe-se uma saturação muito grande do terreno com um arranjo desfavorável das unidades e, por isso, desaconselha-se a implementação desta vazão de 1.000 L/s.

Porém como existe a possibilidade da compra de terrenos vizinhos foi realizado o completo dimensionamento para todas as vazões pré-estabelecidas (1.000 L/s, 750 L/s e 500 L/s), tendo em vista que no futuro a inviabilidade de área pode ser solucionada.

As hipóteses 1 (convencional) e 2 (CEPT) apresentam seus melhores arranjos no terreno para as vazões de 750 e 500 L/s. Na Figura 2 destaca-se a “Área que será utilizada para tratamento do lodo” e este espaço ainda possui um galpão desativado que precisaria ser remanejado para abrigar as unidades de adensamento, centrifugação, digestores (hipótese 1) e unidades de mistura da cal ao lodo (hipótese

2). Desta forma, o mais recomendado atualmente seria a adoção da vazão de 500 L/s onde esta área não precisaria ser utilizada. A opção pela vazão de 750 L/s só poderá ser feita com a liberação deste espaço físico no terreno.

A hipótese 3 (UASB) foi a alternativa que apresentou a maior demanda por área e maior necessidade de ajustes no dimensionamento das unidades para que pudéssemos ter um arranjo favorável. Para a vazão de 1.000 L/s não foi possível a alocação de todas as unidades no terreno, contando com um déficit de área necessário para abrigar 2 reatores UASB e 3 decantadores secundários. Para a vazão de 750 L/s inicialmente não existia espaço para a alocação de 1 decantador secundário, mas esta indisponibilidade foi resolvida através do aumento da relação A/M no processo de lodos ativados capaz de proporcionar a redução de 1 tanque utilizado neste processo que foi reaproveitado como decantador secundário. Com estes ajustes alguns valores ficaram ligeiramente fora das faixas usuais e, em virtude disso, recomenda-se como ideal nesta hipótese a vazão de 500 L/s onde todas as unidades necessárias podem ser implantadas sem a necessidade de grandes alterações no dimensionamento.

Considerando-se o tratamento da fase sólida, a hipótese 3 (UASB) apresenta um menor número de unidades necessárias uma vez que o lodo anaeróbio é estabilizado nos próprios reatores e o lodo aeróbio advindo do processo de lodos ativados, também, sofrerá estabilização nos reatores. Desta forma, nesta hipótese apenas serão necessárias centrífugas de desidratação.

A hipótese 2 (CEPT) é a alternativa com a maior geração de lodo, pois apresenta o tratamento primário sendo quimicamente assistido. Porém, nesta alternativa não serão necessários os digestores anaeróbios uma vez que o lodo sofrerá estabilização química através da adição de cal, aumentando ainda mais a quantidade de lodo ao final do processo de tratamento.

A hipótese 1 (convencional) quando comparada à hipótese 2 (CEPT) apresenta o mesmo valor na geração de lodo secundário (proveniente do tratamento de lodos ativados e retirado dos decantadores secundários), mas um valor menor na geração de lodo primário. Além disso, ao lodo não é adicionada cal para estabilização e nota-se uma diferença muito grande na quantidade final de lodo. Com relação às unidades de adensamento e centrifugação as hipóteses 1 e 2 não apresentam diferenças significativas. A desvantagem desta hipótese está na necessidade da construção de digestores anaeróbios para executar a estabilização da fase sólida, aumentando a demanda por área no terreno.

Pode-se observar que cada uma das hipóteses apresenta características diferenciadas e nenhuma delas é capaz de apresentar-se totalmente vantajosa em

relação às outras. No entanto, recomenda-se a adoção da hipótese 1 (convencional) com a vazão de 750 L/s porque o tratamento primário nesta hipótese não apresentou grande diferença quando comparado ao da hipótese 2, como previsto inicialmente, e não será necessário a compra contínua e o manuseio de produtos químicos. A principal desvantagem da hipótese 1 seria a necessidade da construção de digestores anaeróbios, mas pode-se realizar um projeto para captar e utilizar o biogás gerado, dando maior visibilidade à estação de tratamento como uma alternativa cada vez mais sustentável. Esta hipótese de 750 L/s necessita da desocupação de uma área anexa e recomenda-se que as negociações sejam iniciadas brevemente.

Sendo assim, tem-se que o estudo demonstrou a viabilidade da implementação das tecnologias analisadas e torna-se primordial nas próximas fases do projeto de expansão a consideração de aspectos de custos de implantação e operação, que fogem ao escopo do presente estudo.

## 10. Referências Bibliográficas


JORDÃO, E.P. & PESSÔA, C.A. ***Tratamento de Esgotos Domésticos***. 4ª edição. Rio de Janeiro, 2005. 932 p.

BRAGA, Benedito, et al. ***Introdução à Engenharia Ambiental***. 2ª edição. São Paulo, 2005. 318 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ***Revisão da NBR 12.209: Elaboração de Projetos Hidráulico-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitário***. Brasil, Texto Base – Agosto/2006.

CATÁLOGO DA EMPRESA DOOR-OLIVER.

CATÁLOGO "IHI Centrifuges and Filters – Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.".

PROSAB. ***Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios***. 1ª edição. Belo Horizonte, 2001. 544 p.