

Avaliação Técnica de Sistemas de Tratamento de Esgotos

André Bezerra dos Santos



AVALIAÇÃO TÉCNICA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

André Bezerra dos Santos

AVALIAÇÃO TÉCNICA DE SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Fortaleza
Banco do Nordeste do Brasil
2007



Presidente:

Roberto Smith

Diretores:

Luis Carlos Everton de Farias
Luiz Henrique Mascarenhas Corrêa Silva
Oswaldo Serrano de Oliveira
Paulo Sérgio Rebouças Ferraro
Pedro Rafael Lapa
Victor Samuel Cavalcante da Ponte

Ambiente de Comunicação Social

José Maurício de Lima da Silva

Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE

Superintendente: José Sydrião de Alencar Júnior

Coordenação de Avaliação de Políticas e Programas

Airton Saboya Valente Júnior

Editor: Jornalista Ademir Costa

Normalização Bibliográfica: Cássia Alencar

Revisão Vernacular: Antônio Maltos Moreira

Diagramação: Vanessa Teixeira

Tiragem: 500 exemplares

Internet: www.bnb.gov.br

Cliente Consulta: 0800.7283030 e clienteconsulta@bnb.gov.br

Depósito Legal junto à Biblioteca Nacional, conforme Lei. 10.994, de 14/12/2004

Copyright © 2007 by André Bezerra dos Santos

S237a

Dos Santos, André Bezerra

Avaliação técnica de sistemas de tratamento de esgotos/
André Bezerra dos Santos.- Fortaleza: Banco do Nordeste do
Brasil, 2007.

ISBN 978-85-87062-83-3

206p. .

1–Saneamento básico. 2–Esgoto sanitário–Tratamento.

I– Título.

CDD: 628.2

Impresso no Brasil/Printed in Brazil

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

CAPÍTULO 1 – TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS	11
1 – INTRODUÇÃO	11
2 – CARACTERÍSTICA DOS ESGOTOS SANITÁRIOS	15
3 – COMPOSIÇÃO DO ESGOTO	17
4 – DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA	18
4.1 – Características Físicas	18
4.2 – Características Químicas	19
4.2.1 – Matéria orgânica	19
4.2.1.1 – <i>Quantificação da matéria orgânica</i>	21
4.2.2 – Nitrogênio	22
4.2.3 – Fósforo	24
4.2.4 – pH e alcalinidade	24
4.3 – Características Biológicas	27
5 – CONDICIONANTES INICIAIS DO PROJETO DE ETE	27
5.1 – Generalidades	27
5.2 – Processos e Níveis de Tratamento	28
5.3 – Tratamento Biológico de Esgotos	31
6 – NOVAS CONCEPÇÕES DE PROJETOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS	34

CAPÍTULO 2 – TRATAMENTOS PRELIMINAR E PRIMÁRIO

1 – TRATAMENTO PRELIMINAR	39
1.1 – Considerações Iniciais	39
1.2 – Gradeamento	39
1.3 – Desarenação (Caixas de Retenção de Areia)	43
1.4 – Medição da Vazão	46
2 – TRATAMENTO PRIMÁRIO	47
2.1 – Introdução	47
2.2 – Tipos de Decantadores	48
2.3 – Aspectos de Projeto e Construção	51

CAPÍTULO 3 – TRATAMENTO SECUNDÁRIO:	
LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	57
1 – LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO CONVENCIONAL	57
1.1 – Processo	58
2 – LAGOAS AERADAS MECANICAMENTE.....	62
2.1 – Lagoa Aerada Facultativa	62
2.2 – Lagoas Aeradas de Mistura Completa Seguidas de	
Lagoas de Decantação.....	63
3 – CONSTRUÇÃO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO	65
4 – PROBLEMAS OPERACIONAIS EM LAGOAS	
DE ESTABILIZAÇÃO	68

CAPÍTULO 4 – TRATAMENTO SECUNDÁRIO:	
LODOS ATIVADOS	71
1 – INTRODUÇÃO	71
2 – VARIANTES DO PROCESSO	75
2.1 – Preliminares	75
2.2 – Lodos Ativados Convencional (Fluxo Contínuo)	76
2.3 – Lodos Ativados por Aeração Prolongada (Fluxo Contínuo) .	77
2.4 – Lodos Ativados de Fluxo Intermitente (Batelada).....	79
3 – ASPECTOS CONSTRUTIVOS	80

CAPÍTULO 5 – TRATAMENTO ANAERÓBIO	85
1 – INTRODUÇÃO	85
2 – TRATAMENTO AERÓBIO <i>VERSUS</i>	
TRATAMENTO ANAERÓBIO	90
3 – MICROBIOLOGIA E BIOQUÍMICA BÁSICA	
DO TRATAMENTO ANAERÓBIO	90
4 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS E CONTROLE	
DOS REATORES	92
5 – CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	93
6 – CRITÉRIOS PARA A PARTIDA E OPERAÇÃO DE REATO-	
RES ANAERÓBIOS	97
7 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO	98
8 – CUSTOS DE REATORES ANAERÓBIOS	99
9 – CORREÇÃO DE EVENTUAIS PROBLEMAS DURANTE A	

OPERAÇÃO DE REATORES UASB	99
 CAPÍTULO 6 – PÓS-TRATAMENTO DE REATORES	
ANAERÓBIOS	101
1 – INTRODUÇÃO	101
2 – REATORES ANAERÓBIOS SEGUIDOS POR LAGOAS DE POLIMENTO	102
3 – REATORES ANAERÓBIOS SEGUIDOS POR BIOFILTROS	106
4 – REATORES ANAERÓBIOS SEGUIDOS POR LODOS ATIVADOS	110
5 – REATORES ANAERÓBIOS SEGUIDOS POR TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO	113
6 – REATORES ANAERÓBIOS SEGUIDOS POR DISPOSIÇÃO CONTROLADA NO SOLO	115
 CAPÍTULO 7 – PROCESSOS DE DESINFECÇÃO	
1 – INTRODUÇÃO	117
2 – QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DOS ESGOTOS SANITÁRIOS	118
3 – MÉTODOS DE DESINFECÇÃO	120
 CAPÍTULO 8 – TRATAMENTO DE LODO	
1 – INTRODUÇÃO	129
2 – OPERAÇÕES, PROCESSOS E SISTEMAS DE TRATAMENTO DO LODO (FASE SÓLIDA)	131
2.1 – Adensamento	132
2.2 – Estabilização	133
2.2.1 – Estabilização biológica	133
2.2.2 – Estabilização química	135
2.2.3 – Estabilização térmica	135
2.3 – Condicionamento do Lodo	136
2.4 – Desidratação de Lodo	136
2.4.1 – Leitos de secagem	138
2.4.2 – Centrífugas	140
2.4.3 – Prensa desaguadora	140

24.4 – Filtro-prensa	142
2.4.5 – Secagem térmica	143
CAPÍTULO 9 – CUSTOS DE ETE	147
1 – INTRODUÇÃO	147
2 – CURVAS DE CUSTO E SEGREGAÇÃO DOS CUSTOS....	147
3 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO	148
4 – UASB COM PÓS-TRATAMENTO	152
CAPÍTULO 10 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	163
1 – INTRODUÇÃO	163
2 – PRINCIPAIS TRATAMENTOS DE ESGOTOS UTILIZADOS NO BRASIL E NA REGIÃO NORDESTE	163
2.1 – Sanitário	163
2.2 – Industrial	165
3 – RECOMENDAÇÕES PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS NA REGIÃO	172
CAPÍTULO 11 – LEGISLAÇÃO RELATIVA À PROTEÇÃO DA QUALIDADE DOS CORPOS D'ÁGUA..	175
1 – ASPECTOS GERAIS	175
2 – PADRÕES DE QUALIDADE DO CORPO RECEPTOR..	175
3 – CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS.....	178
4 – PADRÃO PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES	182
5 – COMENTÁRIOS GERAIS ENTRE OS PADRÕES DE QUALIDADE NO CORPO RECEPTOR E DE LANÇAMENTOS DE EFLUENTES	186
6 – PADRÕES DE POTABILIDADE	187
7 – PADRÕES DE BALNEABILIDADE	187
8 – PADRÕES PARA USO AGRÍCOLA	189
9 – PADRÃO DE QUALIDADE PARA REÚSO COMO ÁGUA INDUSTRIAL	192
REFERÊNCIAS	193

APRESENTAÇÃO

Em regiões áridas e semi-áridas, como o Nordeste brasileiro, a água tornou-se um fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola. Até mesmo áreas com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender a demandas elevadas, já experimentam conflitos de uso e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida.

O tratamento dos efluentes produzidos pelo homem, nesse contexto, assume caráter prioritário e vital, dada a escassez de água observada em várias regiões do mundo e a percepção de que a carga poluidora gerada está levando à saturação dos meios receptores.

O livro “Avaliação Técnica de Sistemas de Tratamento de Esgotos”, de autoria de André Bezerra do Santos, professor da Universidade Federal do Ceará (UFC), constitui obra indicativa das principais tecnologias relacionadas ao tratamento de esgotos domésticos e industriais.

Apesar de o assunto ser consideravelmente amplo e complexo, o autor conseguiu elaborar o livro de forma organizada e utilizando uma linguagem de fácil compreensão, motivo pelo qual a obra não é somente indicada aos especialistas na área, mas também a estudantes, tomadores de decisão e a qualquer outro que deseje conhecer um pouco mais sobre a temática.

Nesta obra, o autor analisa as opções de tratamento de esgotos sob o ponto de vista tecnológico e econômico, levando-se em consideração as especificidades regionais na definição das vantagens e desvantagens dos sistemas analisados.

Como os esgotos industriais possuem características específicas, que dependem do tipo de atividade desenvolvida na indústria, o trabalho focou principalmente alternativas de tratamento para os esgotos sanitários, já que estes possuem características mais uniformes e permitem uma análise conjunta das diversas tecnologias disponíveis.

O Banco do Nordeste espera que essa publicação sirva como elemento de consulta, visando tornar o leitor cada vez mais atualizado, em especial, os elaboradores e os analistas de projetos por ele financiados.

José Sydrião de Alencar Júnior

Superintendente do Escritório Técnico de Estudos Econômicos
do Nordeste - Etene

Capítulo 1

TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS

1 – INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), saneamento é definido como: “Controle de todos os fatores do meio físico do homem que exercem ou podem exercer efeito deletério sobre o seu bem-estar físico, mental ou social” (WHO, 1989). Em uma definição mais simples: “Conjunto de medidas visando preservar ou modificar as condições do meio ambiente, com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde” (WHO, 1989).

São cientificamente comprovados os inúmeros benefícios advindos do saneamento básico, como maior rendimento no trabalho, mudanças no humor etc., além dos benefícios econômicos, como diminuição dos custos de internação hospitalar e medicamentos.

O saneamento ambiental é dividido em quatro grandes blocos: Água, Esgoto, Resíduos Sólidos e Drenagem Urbana, os quais são detalhados na Figura 1.

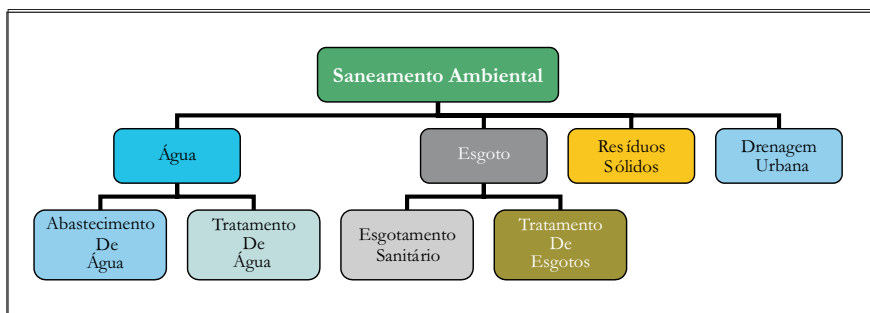


Figura 1 – Divisão do Saneamento Ambiental

Fonte: Elaboração do autor.

Observa-se na Figura 1 que o bloco Água pode ser dividido em Abastecimento de Água (captação, adução, armazenamento, tratamento e distribuição) e Tratamento de Água (incluindo diversas técnicas como coagulação-floculação-decantação, filtração direta, dupla filtração etc.). O bloco Esgoto divide-se em Esgotamento Sanitário (coleta e transporte dos esgotos) e o Tratamento de Esgotos (incluindo diversas técnicas de tratamento físicas, químicas e biológicas, as quais serão detalhadas no presente informativo técnico). Ainda existem os blocos de Resíduos Sólidos (coleta, transporte, reciclagem/tratamento e destino final) e Drenagem Urbana (coleta de águas pluviais).

Devido ao crescimento populacional e ao industrial detectados nas últimas décadas, verifica-se uma demanda cada vez maior por água. Como consequência, geram-se cada vez mais esgotos, os quais precisam ser tratados para garantir a preservação do meio ambiente e o desenvolvimento sustentável. O Quadro 1 sintetiza os diversos poluentes presentes no esgoto sanitário e os diferentes impactos nos corpos d'água.

Além destes merecem especial atenção, problemas ambientais como alteração ou destruição da fauna e da flora aquáticas, extinção de espécies (tanto aquáticas quanto terrestres que se alimentam destas), transmissão de compostos nocivos através da cadeia trófica, atingindo o homem, contaminação direta do organismo humano, por consumir águas poluídas e proliferação de doenças. Poluição é diferente de contaminação, pois a última é um tipo de poluição que traz riscos ao homem. Em uma forma simplificada, toda contaminação é uma poluição, mas a recíproca não é verdadeira.



Existem medidas preventivas ou corretivas de controle de poluição das águas, sendo alguns exemplos mostrados no Quadro 2.

Muito embora a coleta dos esgotos seja uma prática realizada há bastante tempo, documentada desde os tempos da Roma Antiga, o tratamento de esgotos é relativamente novo. A NBR 7.229 define água residuária ou esgoto como: “líquido que contém resíduo da atividade humana” (ASSOCIAÇÃO

Poluente	Impactos nos corpos d'água
Matéria orgânica solúvel	Provoca a depleção (diminuição ou mesmo a extinção) do oxigênio dissolvido contido na água dos rios e estuários. Mesmo tratado, o despejo deve garantir a capacidade de assimilação do corpo d'água.
Elementos potencialmente tóxicos	Ex.: cianetos, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio, zinco etc. Apresentam problemas de toxicidade, mesmo em baixas concentrações.
Cor e turbidez	Indesejáveis sob o ponto de vista estético. Exigem maiores quantidades de produtos químicos para o tratamento dessa água. Interferem na fotossíntese das algas nos lagos pela diminuição da penetração da luz. A cor pode ter origem natural (substâncias húmicas) ou artificial (corantes e pigmentos).
Nutrientes	Principalmente nitrogênio e fósforo, os quais causam eutrofização dos lagos e reservatórios.
Materiais refratários	Ex.: ABS (alquil-benzeno-sulfurado). Formam espumas nos rios; não são removidos nos tratamentos convencionais.
Óleos e graxas	Os regulamentos geralmente exigem sua completa eliminação. São indesejáveis esteticamente e interferem na decomposição biológica, em que os microrganismos responsáveis pelo tratamento são afetados para concentrações de óleos e graxas superiores a 20 mg/L.
Ácidos e álcalis	A neutralização é exigida pela maioria dos regulamentos, já que o pH do líquido interfere na decomposição biológica e na vida aquática.
Materiais em suspensão	Formam bancos de lama nos rios e nas canalizações de esgoto, em que a fração biodegradável sofre decomposição anaeróbia com a liberação de gás sulfídrico, metano, mercaptanas etc. (problemas de odor).
Temperatura elevada	Poluição térmica que conduz ao esgotamento do oxigênio dissolvido no corpo de água (por abaixamento do valor de saturação).

Quadro 1 – Principais Poluentes Presentes no Esgoto Sanitário e Respectivos Impactos nos Corpos D'água.

Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (2005)

Preventivas:	Corretivas:
• Preservação das matas ciliares na faixa de domínio de um reservatório; • Preservação, proteção e monitoramento dos mananciais; Planejamento territorial; • Sistemas adequados de coleta de resíduos líquidos; • Inclusão prévia de tratamento dos efluentes industriais e domésticos; • Disposição e tratamento; adequados de resíduos sólidos; • Monitoramento de vazamentos em sistemas coletores de esgoto; • Controle da poluição atmosférica; • Controle da poluição do solo	• Replanteio de vegetação na faixa de domínio de um reservatório; • Despoluição de rios e lagos; • Limpeza do fundo e das margens dos mananciais (dragagem); • Tratamento de águas para abastecimento; • Instalação de estação de tratamento de esgotos (ETE) domésticos e industriais; • Aplicação da legislação ambiental existente.

Quadro 2 – Medidas de Controle da Poluição das Águas

Fonte: Adaptado de Mota (2006)

BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993), seja ela doméstica ou industrial. A água residuária e águas de infiltração constituem o esgoto de uma cidade, que deve ser conduzido a um sistema de tratamento adequado antes de seu lançamento em corpo receptor. A característica do esgoto é função direta do uso que se dá à água.

Percebe-se na Tabela 1 que uma grande fração do esgoto que é coletado (média de 32% no Brasil) é lançado nos corpos d'água sem qualquer tratamento, conseqüentemente, poluindo-os. Portanto, maior atenção deve ser dada ao tratamento de esgotos, principalmente na seleção de alternativas de tratamento sob os pontos de vista econômico, técnico e ambiental, pois este último é negligenciado muitas vezes.

Os objetivos maiores do tratamento de esgotos variaram consideravelmente ao longo dos anos: até 1970, buscava-se apenas a remoção de sólidos e material flutuante, de matéria orgânica e de patogênicos. Entre 1970 e 1980, além dos objetivos anteriores, deu-se atenção a aspectos de estética, interesses ambientais e remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo. A partir

Tabela 1 – Panorama Brasileiro Relativo ao Esgotamento Sanitário e Tratamento

Regiões	Proporção de esgotamento sanitário dos municípios (%)		
	Sem coleta	Só coletam	Coletam e tratam
Brasil	47,8	32,0	20,2
Norte	92,9	3,5	3,6
Nordeste	57,1	29,6	13,3
Sudeste	7,1	59,8	33,1
Sul	61,1	17,2	21,7
Centro-Oeste	82,1	5,6	12,3

Fonte: Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2000)

de 1980, os objetivos passam a incluir a remoção de compostos tóxicos, de metais pesados e de compostos recalcitrantes (de difícil biodegradação).

No presente capítulo, procura-se trazer as informações mais importantes do tratamento de esgotos sanitários, as quais foram propositamente escritas em uma linguagem não muito técnica e de fácil de compreensão.

2 – CARACTERÍSTICA DOS ESGOTOS SANITÁRIOS

Os esgotos sanitários alteram-se no espaço, em função de diversas variáveis, desde o clima até hábitos culturais. Por outro lado, variam também ao longo do tempo, o que torna complexa sua caracterização. No Brasil, mesmo que não se tenha informação segura com base local, costuma-se adotar contribuições *per capita* de 54 e 100g/hab.dia para a demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias (DBO_5) e demanda química de oxigênio (DQO), respectivamente.

Em termos de vazão, pode-se afirmar que os esgotos estão sujeitos às mesmas variações relativas ao consumo de água, variando de região para região, dependendo principalmente do poder aquisitivo da população. Apenas a título de referência, pode-se considerar a contribuição típica de 160L/hab.dia, referente ao consumo *per capita* de água de 200L/hab.dia e um coeficiente de retorno água/esgoto igual a 0,8 (quanto da água se transforma em esgoto).

Para a determinação das vazões máximas de esgotos, costuma-se introduzir os coeficientes $k_1 = 1,2$ (relativo ao dia de maior produção) e $k_2 = 1,5$ (relativo à hora de maior produção de esgotos). Conseqüentemente, a vazão de esgotos

do dia e hora de maior produção é 1,8 vezes, ou praticamente o dobro da vazão média diária. Ainda existe a contribuição da infiltração de água subterrânea na rede coletora (q_m), a qual é em torno de 0,2 L/s.km.

Por último, podem existir possíveis contribuições específicas, como indústrias com efluentes líquidos ligados à rede pública de coleta de esgotos. No dimensionamento de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), alguns dispositivos são dimensionados para a vazão média, e outros para a vazão relativa ao dia ou hora de maior produção de esgotos, cujos cálculos básicos são mostrados no Exercício 1:

Exercício 1

Dados básicos

População (Pop): 50.000 hab

Consumo *per capita* (C): 200 L/hab.dia

Coeficiente de retorno (CR): 0,8

Coeficiente $k_1 = 1,2$

Coeficiente $k_2 = 1,5$

Extensão da rede coletora (L) = 40 km

Vazão de infiltração em marcha (q): 0,2 L/s.km

Cálculos

1) Vazão média:

$$Q_m = \frac{Pop.C.CR}{86400} = \frac{50000.200.0,8}{86400} = 92,5 L/s$$

2) Vazão de infiltração na rede:

$$Q_i = L \times q = 40 \times 0,2 = 8,0 L/s$$

3) Vazão média afluyente à ETE:

$$Q_{afl} = Q_m + Q_i = 92,5 + 8,0 = 100,5 L/s$$

4) Vazão afluyente à ETE relativa ao dia de maior consumo:

$$Q_{afl} = Q_m \times k_1 + Q_i = 92,5 \times 1,2 + 8,0 = 119,0 L/s$$

5) Vazão afluyente à ETE relativa à hora de maior consumo:

$$Q_{afl} = Q_m \times k_1 \times k_2 + Q_i = 92,5 \times 1,2 \times 1,5 + 8,0 = 174,5 L/s$$

3 – COMPOSIÇÃO DO ESGOTO

Um esgoto pode ser de origem doméstica ou industrial, sendo a composição do último extremamente variada ao longo do ano, meses, dias e horas. O **Esgoto Doméstico** é composto basicamente de água (99,9%); assim, todas as propriedades físicas desta, como densidade, solubilidade, calor específico etc., são preservadas.

O restante (0,1%) é composto de matéria orgânica, sabões, alvejantes, papel, plástico, detergentes, desinfetantes, areia etc., que podem ser divididos em compostos poluidores e não-poluidores, biodegradáveis e não-biodegradáveis. Como não se pode separá-los, são tratados conjuntamente na estação de tratamento de esgotos (ETE).

A Figura 2 ilustra as frações que compõem o esgoto sanitário:

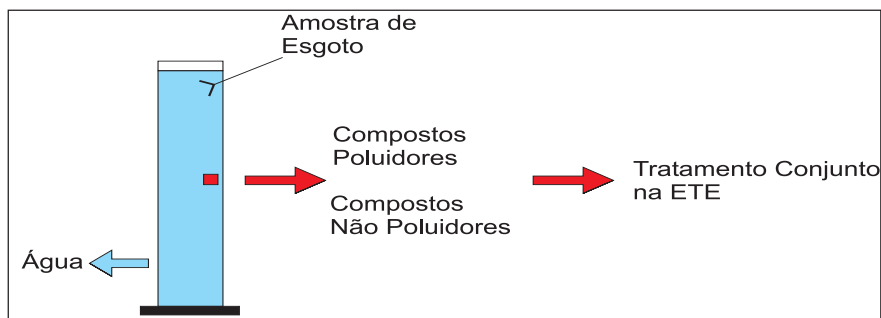


Figura 2 – Ilustração da Composição de uma Amostra de Esgoto Sanitário

Fonte: Elaboração do autor

As substâncias presentes no esgoto são originadas nas fezes, urina, e nas diversas atividades domésticas, conforme é mostrado no Quadro 3.

Já os Esgotos Industriais são constituídos de água mais uma variedade de componentes, dependendo do tipo de produto a ser fabricado, tipo de processo industrial aplicado e matéria-prima utilizada. Eventualmente, os esgotos sanitários podem conter esgotos industriais, os quais são introduzidos na rede através de ligações clandestinas, ou através da concessão pelas Companhias de Saneamento, como é o exemplo de efluentes de lavanderias.

Tipo de substância	Origem					
Sabões	Lavagem de roupas e louças					
Detergentes	Lavagem de roupas e louças					
Cloreto de sódio	Cozinha e na urina humana					
Fosfatos	Detergentes e na urina humana					
Sulfatos	Urina humana					
Carbonatos	Urina humana					
Uréia, amoníaco e ácido úrico	Urina humana					
Gorduras	Cozinha e fezes humanas					
Substâncias córneas, ligamentos da carne e fibras vegetais não digeridas	Fezes humanas					
Porções de amido (glicogênio, glicose) e de protéicos (aminoácidos, proteínas e albumina)	Fezes humanas					
Vermes, bactérias, vírus, leveduras etc.	Fezes humanas					
Mucos, células de descamação epitelial	Fezes humanas					
Outros materiais e substâncias: areia, plásticos, cabelos, sementes, fetos, madeira, absorventes femininos etc.	Areia: infiltrações nas redes de coleta, banhos em cidades litorâneas, parcela de águas pluviais etc. Demais substâncias são indevidamente lançadas nos vasos sanitários					
Em termos elementares, o esgoto doméstico contém:						
C	H	O	N	P	S	Etc.
Carbono	Hidrogênio	Oxigênio	Nitrogênio	Fósforo	Enxofre	Outros micro- elementos

Quadro 3 – Composição do esgoto Sanitário

Fonte: Adaptado de Nuvolari *et al.* (2003)

4 – DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUA

4.1 – Características Físicas

Dentre as características físicas do esgoto sanitário, são de fácil percepção a cor, turbidez, odor, presença de sólidos em suspensão e temperatura, os quais são detalhados no Quadro 4.

Sólidos	• Matéria que permanece como resíduo após a temperatura ser elevada entre 103 e 105°C. • Apresentam-se → dissolvidos ou em suspensão, podendo ser fixos ou voláteis. • Tipos de sólidos - <i>Sólidos Totais</i> (ST) → toda matéria remanescente após a evaporação da água presente; - <i>Sólidos Sedimentáveis</i> (SSed) → materiais em suspensão que se sedimentam; - <i>Sólidos Suspensos</i> (SS) → sólidos retidos por filtração em membrana com porosidade predeterminada; - <i>Sólidos Dissolvidos</i> (SD) → moléculas orgânicas, inorgânicas ou íons que não são retidos em membrana com porosidade predeterminada; - <i>Sólidos Fixos</i> (SF) → compostos inorgânicos presentes após calcinação a 500°C; - <i>Sólidos Voláteis</i> (SV) → parcela orgânica (compostos orgânicos e células), obtida pela diferença entre sólidos totais e fixos. De um modo geral, pode-se comentar que, dos sólidos totais, 700mg/L em média, parte é de sólidos suspensos (200mg/L) e o restante de sólidos dissolvidos (500mg/L). Nos sólidos suspensos, encontram-se, em proporções mais ou menos iguais, sólidos sedimentáveis e não-sedimentáveis, dos quais 75% são voláteis e 25%, fixos. Entretanto, quanto aos sólidos dissolvidos, têm-se 30% de voláteis contra 70% de fixos.
Odor	Geralmente é produzido pela decomposição da matéria orgânica com a formação de H_2S , CH_4 , mercaptanas e ácidos orgânicos voláteis.
Temperatura	Influi na manutenção da vida aquática, nas reações químicas, na cinética das reações e na diminuição da concentração do oxigênio dissolvido.
Cor e turbidez	Causam aspecto desagradável, além de dificultarem a penetração da luz no corpo d'água. Cor → proveniente de compostos orgânicos naturais dissolvidos (principalmente substâncias húmicas) e inorgânicos (ferro e manganês), além de pigmentos e diversos corantes industriais. Turbidez → provocada por partículas em suspensão, pode indicar poluição.

Quadro 4 – Principais Parâmetros Físicos de Qualidade de Água

Fonte: Adaptado de Pessoa e Jordão (2005)

4.2 – Características Químicas

4.2.1 – Matéria orgânica

Nas águas residuárias, encontra-se presente uma grande variedade de compostos orgânicos, que podem estar suspensos ou dissolvidos. Estes compostos são constituídos de matéria orgânica carbonácea e microrganismos

(vivos ou mortos). As principais categorias de matéria orgânica encontradas nos esgotos sanitários são proteínas, carboidratos e lipídios. Proteínas são grandes complexos moleculares compostos de aminoácidos. Carboidratos são compostos polihidroxilados tais como açúcares, celulose e amidos. Os lipídios são substâncias orgânicas à base de óleos, graxas e gorduras. O volume de matéria orgânica biodegradável presente em uma amostra de esgoto doméstico típico deverá apresentar 40% a 60% de proteínas, 25% a 50% de carboidratos e cerca de 10% de lipídios.

A utilização do material orgânico pelos microrganismos chama-se metabolismo. No metabolismo o consumo do material orgânico para obtenção de energia é denominado de catabolismo, enquanto que a síntese de material celular a partir do material orgânico é denominada de anabolismo. Portanto, da energia liberada nas reações, uma parcela é consumida na respiração e mobilidade das bactérias, enquanto outra parcela é usada no crescimento de novas células. O restante é perdido na forma de calor.

Os processos aeróbios removem a matéria orgânica trabalhando predominantemente na fase anabólica, enquanto que os processos anaeróbios trabalham mais na fase catabólica. A transformação ou eliminação da matéria orgânica no interior dos esgotos pelos diversos tipos de microrganismos pode ser descrita como mostrado no Quadro 5.

Matéria Orgânica	+	O ₂	+	Bactérias aeróbias	→	CO ₂ + H ₂ O +	Energia + novas células + produtos mineralizados
	+	NO ₃ ⁻	+	Bactérias anaeróbias (desnitrificantes)	→	CO ₂ + N ₂ +	
	+	SO ₄ ²⁻	+	Bactérias anaeróbias (redutoras de sulfato)	→	CO ₂ + H ₂ S +	
			+	Microrganismos anaeróbios (bactérias e archaea metanogênicas)	→	CO ₂ + CH ₄ +	

Quadro 5 – Formas de Transformação ou Eliminação da Matéria Orgânica Presente no Esgoto

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2003)

4.2.1.1 – *Quantificação da matéria orgânica*

Sabe-se que, devido à vasta variedade de compostos orgânicos em esgotos sanitários, é impraticável uma identificação individual de todos eles. Assim, a determinação quantitativa dos diversos componentes da matéria orgânica nas águas residuárias seria extremamente difícil ou mesmo impossível. Por outro lado, para que se descrevam os processos metabólicos, faz-se necessário que se caracterize quantitativamente o material orgânico, o qual pode se basear em duas propriedades:

- a) o material orgânico pode ser oxidado;
- b) o material orgânico contém carbono orgânico.

Em laboratório, um desses métodos indiretos empregados é a medição do consumo de oxigênio na oxidação da matéria orgânica, ou seja, pela determinação do consumo de oxigênio na degradação da amostra, calcula-se o conteúdo equivalente de matéria orgânica presente originalmente. Para tanto, são normalmente empregados dois testes padronizados, que se baseiam na oxidação do material orgânico: os testes da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Em ambos os testes, a concentração do material orgânico é determinada a partir do consumo de oxidante para a oxidação. As diferenças essenciais entre os testes estão no oxidante utilizado e nas condições operacionais de cada teste.

É fundamental salientar que os compostos orgânicos avaliados no teste podem ser divididos em dois grupos:

- 1. Biodegradáveis: compostos que podem ser oxidados pelo oxigênio;
- 2. Não-biodegradáveis: determinados tipos de detergentes e de derivados de petróleo, por exemplo.

No teste da DBO, prevalecem as condições de biodegradabilidade, ou seja, a matéria orgânica não-biodegradável não é afetada durante o ensaio. Por outro lado, os compostos orgânicos que não provocam demanda de oxigênio durante o teste da DBO são quantificados no teste da Demanda Química de Oxigênio (DQO). Logo, na DBO, determina-se o material orgânico biodegradável, enquanto no teste da DQO contabiliza-se todo o material orgânico inicialmente presente na amostra. Assim, sempre a DQO da amostra deverá ser superior à DBO.

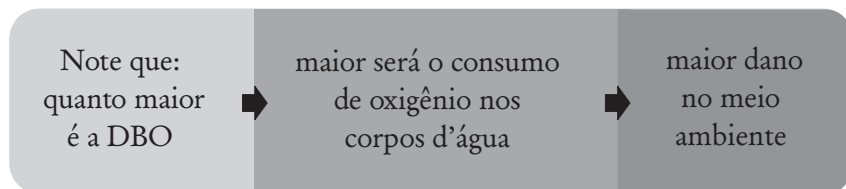
Considerando-se a importância desses dois testes na análise de qualidade de água e esgoto, a DQO em função da simplicidade do teste e a DBO por melhor traduzir o que ocorre na natureza, eles serão estudados a seguir:

Demanda Química de Oxigênio – teste da DQO

Este parâmetro mede o oxigênio equivalente ao conteúdo de matéria orgânica de uma amostra que pode ser oxidada por um forte oxidante químico em meio ácido. No teste da DQO, uma amostra de água residuária é adicionada a uma mistura de dicromato de potássio e ácido sulfúrico, um forte oxidante. Considerando que alguns componentes do esgoto são de mais lenta oxidação (gorduras, por exemplo), adiciona-se sulfato de prata como catalisador (aceleração da oxidação). A mistura esgoto-oxidante-ácido é aquecida até seu ponto de ebulição e, após um período de duas horas nesta condição, a oxidação das substâncias orgânicas estará praticamente completa (mais de 95%). A DQO é expressa em mgO_2/L .

Demanda Bioquímica de Oxigênio – teste da DBO

É definida como a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) necessária para estabilizar bioquimicamente a matéria orgânica através da ação de bactérias aeróbias. A DBO é normalmente dada em mgO_2/L , cujo teste é realizado sob condições padrões de temperatura (20°C) e tempo de desencubação de 5 dias. Portanto, a DBO é a diferença de OD entre o tempo zero e tempo de cinco dias.



4.2.2 – Nitrogênio

Dentre os componentes inorgânicos presentes no esgoto, o nitrogênio merece especial atenção nas análises de qualidade de água, não somente por ser um nutriente indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela depuração biológica, como também por possibilitar o desen-

volvimento de algas e plantas aquáticas (eutrofização) e subsequente comprometimento da qualidade dos corpos receptores.

No meio aquático, o nitrogênio pode-se encontrar nas formas molecular (gasosa), orgânica (dissolvida ou em suspensão), amoniacal como amônia livre (NH_3) ou ionizada (NH_4^+), de nitritos (NO_2^-) e de nitratos (NO_3^-). Um resumo das principais formas de nitrogênio é apresentado no Quadro 6.

Formas de nitrogênio	Abreviação	Definição
Amônia livre	NH_3	NH_3
Amônia ionizada	NH_4^+	NH_4^+
Nitrogênio total amoniacal	NTA	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Nitrito	NO_2^-	NO_2^-
Nitrato	NO_3^-	NO_3^-
Nitrogênio total inorgânico	NTI	$\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$
Nitrogênio total Kjeldahl	NTK	N orgânico + $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$
Nitrogênio orgânico	N orgânico	$\text{NTK} - (\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+)$
Nitrogênio Total	NT	N orgânico + $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$

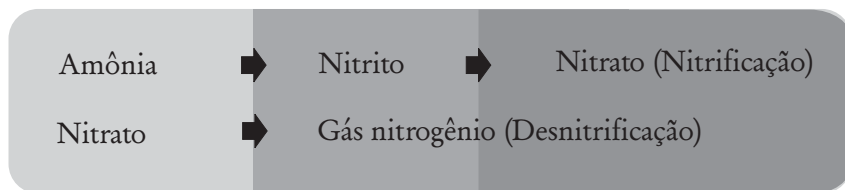
Quadro 6 – Principais Formas de Nitrogênio Presentes nos Esgotos

Fonte: Metcalf e Eddy (2003)

Pelo fato de o nitrogênio ser um constituinte natural de proteínas, clorofila e muitos outros compostos biológicos, é um componente sempre presente nos esgotos sanitários. Nestes, as formas predominantes são o orgânico e o amoniacal (cerca de 99% do nitrogênio total). Para o nitrogênio amoniacal, a forma NH_3 (amônia livre) é predominante em valores de pH superiores a 11, sendo a forma ionizada NH_4^+ predominante em pH inferior a 8. Saliente-se que a presença de amônia livre, mesmo em pequenas concentrações, é prejudicial aos peixes. O nitrogênio aparece nos esgotos na forma orgânica (5 a 40mg/L) ou de amônia (10 a 50mg/L).

O nitrito e nitrato podem ser formados através da oxidação da amônia, em um processo chamado nitrificação, o qual é realizado por bactérias autotróficas (não necessitam de carbono presente na matéria orgânica carbonácea para o seu crescimento, mas do carbono presente no CO_2) na presença de oxigênio. Em um outro processo chamado de desnitrificação, o nitrato formado é convertido em gás nitrogênio, o qual é realizado por bactérias heterotróficas (necessitam de carbono presente na matéria orgânica

carbonácea) na ausência de oxigênio. A nitrificação ocorre nas estações de tratamento, consumindo oxigênio dissolvido e alcalinidade e subsequente redução do pH, o que, se não for controlado, pode trazer sérios problemas de eficiência da estação.



Nos cursos de água, a presença de compostos de nitrogênio pode ser um indicador de despejos de esgotos a montante e da “idade” destas ocorrências. Por exemplo, a presença excessiva de nitrogênio amoniacal indicará poluição recente, e a predominância de nitratos é um indício de uma descarga mais antiga ou mais distante.

4.2.3 – Fósforo

O fósforo, assim como o nitrogênio, é um nutriente essencial para os microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica, além de também contribuir para o crescimento de algas (eutrofização). Normalmente, este nutriente está presente em concentrações suficientes em despejos domésticos. Entretanto, certos despejos industriais que serão tratados por processos biológicos podem requerer adição de fósforo.

O fósforo presente nos esgotos sanitários (5 a 20mg/L) tem origem principalmente dos excretas e do emprego de detergentes, apresentando-se principalmente nas formas inorgânicas (80%) de ortofosfato, poli ou pirofosfatos, e fósforo orgânico (20%).

Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de conversões a formas mais simples. As formas em que os ortofosfatos se apresentam na água (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) dependem do pH, sendo a forma HPO_4^{2-} a mais comum na faixa usual de pH.

4.2.4 – pH e Alcalinidade

O termo pH expressa a intensidade da condição ácida ou básica de um determinado meio. É definido como o cologaritmo decimal da concentra-

ção efetiva ou atividade dos íons hidrogênio ($\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$). Os esgotos sanitários apresentam-se de um modo geral neutros ou ligeiramente alcalinos (pH de 6,7 a 7,5).

A determinação do pH é uma das mais comuns e importantes no contexto do tratamento de águas residuárias por processos químicos ou biológicos. Nestas circunstâncias, o pH deve ser mantido em faixas adequadas ao desenvolvimento das reações químicas ou bioquímicas do processo. No tratamento de lodos de ETE, especificamente através da digestão anaeróbia, o pH se constitui num dos principais parâmetros de controle do processo.

Alcalinidade, que é a medida da capacidade do líquido em neutralizar ácidos, é resultante da presença de ácidos fracos, bases e seus sais derivados. Devido à capacidade de atuar como tampão contra a queda do pH , a alcalinidade é um importante parâmetro físico-químico. Dependendo dos valores de pH , a alcalinidade pode-se encontrar nas formas de carbonato, bicarbonato e hidróxidos.

Os principais parâmetros químicos de qualidade de água são resumidos no Quadro 7.

Matéria Orgânica	Proteínas, carboidratos, óleos e graxas, uréia, moléculas orgânicas naturais ou sintéticas. Quantificação realizada em laboratório: DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio DQO - Demanda Química de Oxigênio COT - Carbono Orgânico Total
Matéria inorgânica	N e P → são nutrientes que podem levar à eutrofização dos corpos receptores; Sais → salinização de solos e água; Chumbo, arsênio, cromo, mercúrio, cianeto, zinco etc. → diferentes níveis tóxicos aos organismos dos ecossistemas. pH e Alcalinidade Gases → N₂, O₂, CO₂, H₂S, CH₄ (mais freqüentes)

Quadro 7 – Principais Parâmetros Químicos de Qualidade de Água

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2003)

Microorganismo	Classificação	Descrição
Bactérias	Procarioto	• Principal grupo de microorganismo na remoção de poluentes em esgotos (matéria orgânica, nutrientes, metais etc.) • Morfologia e tamanho variado • São encontrados na maioria dos ambientes aeróbios, anaeróbios ou anóxicos • Podem ou não serem patogênicas
Archaea	Procarioto	• Dividem o mesmo ancestral das bactérias no processo de evolução, daí possuem propriedades muito parecidas • São predominantes em condições extremas de pH, temperatura, sal etc • Morfologia e tamanho variado • Têm grande importância no processo de formação de metano em condições anaeróbias
Algas	Eucarioto	• Realizam fotossíntese • Principal microorganismo no tratamento de esgotos por lagoas de estabilização • Em ambientes eutrofizados podem liberar toxinas que causam mal aos seres vivos
Fungos	Eucarioto	• Possuem grande importância no processo de estabilização da matéria orgânica • São na maioria das vezes seres aeróbios • Podem crescer em condições ambientais adversas como baixos valores de pH e baixa concentração de nutrientes • Crescimento excessivo em sistemas de lodos ativados pode causar problemas de intumescimento de lodo
Protozoários	Eucarioto	• Alimentam-se de bactérias, algas e outros microorganismos • São na maioria das vezes seres anaeróbios ou facultativos • Sua presença em alguns sistemas de tratamento como os lodos ativados indicam um bom funcionamento do sistema

Quadro 8 – Principais Grupos de Microorganismos Envolvidos no Tratamento Biológico de Esgotos

Fonte: Elaboração do autor

4.3 – Características Biológicas

Está presente nos esgotos sanitários uma variedade de microrganismos, os quais, de forma isolada ou em relações sintróficas (forma de simbiose), desempenham diferentes papéis no tratamento de esgotos. Por exemplo, um grupo de microrganismos é responsável pela estabilização da matéria orgânica, outro é responsável pela eliminação de nitrogênio, outro do fósforo e assim sucessivamente.

Uma parte desses microrganismos, denominados de aeróbios, somente desempenha as suas funções catabólicas e anabólicas na presença de oxigênio e uma outra parte, denominados de anaeróbios, somente na ausência (ou baixíssimas concentrações) de oxigênio. Existe ainda um terceiro grupo de microrganismos, denominados de facultativos, que conseguem realizar metabolismo tanto na presença como na ausência de oxigênio. Quando existe uma condição anaeróbia, mas existe nitrato, depara-se com uma condição anóxica. Os principais grupos de microrganismos são detalhados no Quadro 8.

5 – CONDICIONANTES INICIAIS DO PROJETO DE ETE

5.1 – Generalidades

Existem várias etapas que compõem um projeto de uma ETE, que normalmente se inicia com um relatório de concepção ou preliminar, seguido dos projetos básico (dimensionamento e especificação das unidades/equipamentos) e executivo. Devem ser coletadas informações gerais sobre o município como população a ser atendida pelo sistema coletor de esgoto, estimação do coeficiente de retorno, vazão de infiltração, seleção criteriosa da área destinada à ETE, existência de área disponível, local de descarte do efluente tratado e lodo produzido, existência de energia elétrica e água etc. Um outro questionamento é a definição clara do objetivo do tratamento de esgotos e em que nível ele deve ser processado. Para tanto, devem ser bem caracterizados os seguintes aspectos:

- Objetivos do tratamento (remoção de matéria orgânica, remoção de nutrientes, remoção de patógenos, remoção/recuperação de metais etc.);

- Nível do tratamento;
- Estudos de impacto ambiental no corpo receptor (enquadramento nas normas vigentes).

5.2 – Processos e Níveis de Tratamento

Os processos de tratamento de esgotos podem ser classificados em físicos, químicos ou biológicos. Devido a tais processos não atuarem de forma isolada, a classificação final será função da predominância de um determinado processo unitário, como enumerados abaixo:

1. **Processos físicos:** caracterizam-se principalmente nos processos de remoção das substâncias fisicamente separáveis dos líquidos ou que não se encontram dissolvidas, como a remoção de sólidos grosseiros, sedimentáveis (inclusive remoção de areia) e remoção de sólidos flutuantes. Ex.: gradeamento, mistura, floculação, sedimentação, flotação e filtração;
2. **Processos químicos:** há a utilização de um produto químico, sendo estes processos raramente utilizados de forma isolada e, por via de regra, são selecionados quando apenas os processos físicos e biológicos não atendem. Ex.: coagulação e floculação, precipitação e oxidação química, adsorção, desinfecção e neutralização;
3. **Processos biológicos:** a remoção de contaminantes se dá por meio de atividade metabólica dos microrganismos. Ex.: remoção da matéria orgânica, nitrificação, desnitrificação, remoção de fósforo, redução de sulfato etc.

O Quadro 9 lista os vários tipos de poluentes presentes nos esgotos sanitários e os locais ou formas de remoção na ETE.

A remoção dos diversos poluentes apresentados no Quadro 9 está associada aos conceitos de nível e eficiência do tratamento, podendo ser classificados em:

1. Preliminar;
2. Primário;
3. Secundário;

Poluente	Local ou forma de remoção na ETE
Sólidos grosseiros em suspensão	Crivos, grades ou peneiras
Sólidos sedimentáveis	Caixas de areia, centrifugadores, decantadores, flotores etc.
Óleos, graxas e sólidos flutuantes	Tanques de retenção de gorduras (caixa de gordura), flotores, decantadores com removedores de espuma
Matéria orgânica biodegradável	Lagoas de estabilização, lodos ativados, filtros biológicos, tratamento anaeróbio, disposição no solo etc.
Patogênicos	Lagoas de maturação, disposição no solo, e as várias técnicas artificiais de desinfecção (ozônio, ultravioleta, químicos etc.)
Nitrogênio	Nitrificação e desnitrificação biológica, disposição no solo, processos físico-químicos
Fósforo	Remoção biológica, processos físico-químicos
Compostos orgânicos voláteis	Gás <i>stripping</i> , adsorção em carvão, oxidação avançada etc.
Odor	Gás <i>stripping</i> , adsorção em carvão, biofiltros etc.

Quadro 9 – Operações, Processos e Sistemas de Tratamento Frequentemente utilizados para a Remoção de Poluentes dos Esgotos Domésticos

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

4. Terciário (apenas eventualmente);

5. Avançado (apenas eventualmente).

O tratamento preliminar objetiva apenas a remoção de sólidos grosseiros, enquanto o tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Em ambos os níveis, predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes. O tratamento secundário visa principalmente à remoção de matéria orgânica, podendo eventualmente remover nutrientes (nitrogênio e fósforo). O tratamento terciário (bastante raro no Brasil) objetiva a remoção de poluentes específicos (nutrientes, metais, compostos não-biodegradáveis etc.) ou, ainda, a remoção complementar de poluentes não removidos nas outras unidades de trata-

mento. O tratamento avançado é realizado para remover materiais suspensos e dissolvidos remanescentes, visando à reutilização da água (também bastante raro no Brasil).

Existe também o pré-tratamento, que é o tratamento dado ao esgoto, em qualquer nível, para adequá-lo ao lançamento da rede de esgoto municipal ou coletiva (geralmente feito em indústrias). O Quadro 10 sumariza os níveis de tratamento e os principais poluentes removidos.

Nível	Remoção
Preliminar	Sólidos em suspensão grosseiros que ficam retidos nas grades, areia que fica retida na unidade de desarenação e, eventualmente, gordura (caixas de gordura).
Primário	Sólidos em suspensão. Podem ser removidos pelo uso de decantadores, flotadores e processos físico-químicos de coagulação-floculação.
Primário avançado	Remoção acelerada de sólidos pela adição de químicos ou através de filtração.
Secundário	DBO em suspensão não removida no tratamento primário ou DBO solúvel (sólidos dissolvidos)
Secundário com remoção de nutrientes	Remoção de compostos orgânicos biodegradáveis, sólidos suspensos e nutrientes (nitrogênio, fósforo ou ambos)
Terciário	Nutrientes Patogênicos Compostos não-biodegradáveis Metais pesados Sólidos inorgânicos dissolvidos Sólidos em suspensão remanescentes
Avançado	Remoção de material suspenso e dissolvido remanescentes visando o reúso da água. Ex: Adsorção por carvão, eletrodialise, troca iônica, membranas, etc.

Quadro 10 – Níveis de Tratamentos e os Principais Poluentes Removidos

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2003)

Nota: Pré-tratamento é diferente de Tratamento Preliminar

Para a avaliação da eficiência de uma ETE em termos de remoção de matéria orgânica, nutrientes, patógenos etc., é importante a definição do grau ou porcentagem de remoção do poluente, a qual é dada pela fórmula:

$$E = \frac{C_a - C_e}{C_a} \times 100$$

Onde:

E = eficiência do sistema (%)

C_a = concentração afluente do poluente (mg/L)

C_e = concentração efluente do poluente (mg/L)

Assim, através das análises físico-químicas e microbiológicas obtidas durante o monitoramento de ETE no esgoto bruto e tratado, e em alguns casos em cada etapa do tratamento, pode-se estimar a eficiência unitária e global do tratamento, além de verificar se o esgoto tratado encontra-se dentro dos limites de descarte regulamentados pelo órgão ambiental. Caso esteja abaixo, dever-se-á investigar as causas do comportamento e propor soluções técnicas para a correção do problema. Uma análise detalhada dos padrões de lançamento e padrões de qualidade no corpo receptor são abordados no Capítulo 11.

5.3 – Tratamento Biológico de Esgotos

Como abordado anteriormente, o esgoto pode ser tratado por meios físicos, químicos e biológicos. Devido à vasta quantidade de informação para o detalhamento dos três processos, concentra-se o presente item nos processos biológicos de tratamento de esgotos mais frequentes no Brasil, os quais são resumidos no Quadro 11.

Como visto, os sistemas de tratamento biológico descritos no Quadro 10 podem ser aeróbios (presença de O_2), anaeróbios (ausência de O_2 e nitrato) e anóxicos (ausência de O_2 e presença de nitrato). Os microrganismos podem crescer tanto em suspensão como aderidos em um meio suporte, onde o reator biológico pode ser configurado para a remoção de DBO, remoção de nutrientes, patógenos etc., ou uma combinação destes. Um resumo dos principais processos biológicos e suas finalidades são mostrados no Quadro 12.

Lagoas de estabilização	
Lagoa Facultativa	A DBO solúvel é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente pelos microrganismos no fundo da lagoa. O oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese, em que as bactérias fornecem o CO_2 requerido pelas algas para produzir mais O_2 .
Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa	Parte da DBO (~50%) é estabilizada na lagoa anaeróbia (mais profunda), sendo o restante da matéria orgânica removida na lagoa facultativa. O sistema apresenta baixa remoção de patogênicos.
Lagoa aerada facultativa	Similar a uma lagoa facultativa, com exceção do oxigênio que é fornecido artificialmente por aeradores mecânicos, e não pela realização da fotossíntese. O grau de aeração aplicado faz com que uma parte da profundidade permita a sedimentação dos sólidos do esgoto e subsequente decomposição anaeróbia no fundo da lagoa.
Lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação	A energia introduzida pelos aeradores é elevada, fazendo com que os sólidos (principalmente biomassa) permaneçam dispersos no meio líquido, ou em mistura completa. Devido ao bom contato esgoto-biomassa, é constatado um aumento na remoção de DBO. Como na lagoa aerada não há nenhum dispositivo de separação sólido-líquido, há a necessidade da inclusão de uma lagoa de sedimentação antes do lançamento do efluente no corpo receptor. O lodo que se acumula na lagoa de decantação deve ser removido frequentemente.
Lagoas de alta taxa	As lagoas de alta taxa são concebidas para maximizar a produção de algas, em um ambiente totalmente aeróbio. Para tanto, as lagoas possuem reduzidas profundidades, garantindo a penetração da energia luminosa em toda a massa líquida. Em decorrência, a atividade fotossintética é elevada, proporcionando altas concentrações de oxigênio dissolvido e a elevação do pH. Estes fatores contribuem para o aumento na taxa de mortalidade de microrganismos patogênicos e para a remoção de nutrientes. As lagoas de alta taxa recebem uma elevada carga orgânica por unidade de área superficial. Há usualmente a introdução de uma moderada agitação na lagoa, alcançada por meio de equipamento mecânico de baixa potência.
Lodos Ativados	
Lodos ativados por aeração convencional	O esgoto passa primeiramente por um decantador primário para remoção dos sólidos sedimentáveis, sendo em seguida encaminhado para o reator biológico. Neste, ocorre a remoção da matéria orgânica pela ação de microrganismos aeróbios (principalmente bactérias), em que o oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos ou por ar difuso. Estes últimos também promovem a mistura sólido-líquido, cuja separação ocorre nos decantadores secundários. Uma parte do lodo decantado é recirculado para o tanque de aeração e o excedente encaminhado para o tratamento do lodo. A alta concentração de biomassa no reator e as boas condições de mistura garantem a elevada eficiência do sistema na remoção de matéria orgânica.
Lodos ativados por aeração prolongada	Não incluem o decantador primário e a biomassa permanece mais tempo no sistema (os tanques de aeração são maiores e possuem decantadores secundários). Com isto, há menos DBO disponível para as bactérias, o que faz com que elas se utilizem da matéria orgânica do próprio material celular para a sua manutenção, produzindo assim um lodo já estabilizado.
Lodos ativados de fluxo intermitente	No mesmo tanque ocorrem as etapas de reação (aeradores ligados) e sedimentação (aeradores desligados), sendo variantes apenas de tempos de ciclo preestabelecidos e não de unidades. Podem ser projetados na modalidade convencional ou aeração prolongada.

Quadro 11 – Principais Sistemas de Tratamento de Esgotos Domésticos em Nível Secundário Utilizados no Brasil

Lodos Ativados	
Lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio	O reator biológico incorpora uma zona anóxica (ausência de oxigênio, mas presença de nitratos), podendo ficar a montante e/ou a jusante da zona aerada. Os nitratos formados pela nitrificação na zona aeróbia são transformados em nitrogênio gasoso na zona anóxica.
Lodos ativados com remoção biológica de fósforo	Recirculações internas fazem com que a biomassa esteja sucessivamente exposta a condições anaeróbias e aeróbias. Com esta alternância, um certo grupo de microrganismos absorve o fósforo do meio líquido em quantidades bem superiores às que seriam normalmente necessárias para seu metabolismo. Assim, o fósforo sairá do sistema na forma de lodo biológico.
Sistemas aeróbio com biofilmes	
Filtro de baixa carga	A DBO é estabilizada por bactérias aeróbias que crescem aderidas a um meio suporte (comumente pedras). O esgoto é aplicado na superfície do tanque através de distribuidores rotativos. Os vazios do material-suporte permitem a circulação de ar requerido no processo. O termo baixa carga se refere à pouca disponibilidade da DBO para as bactérias, o que faz com que elas sofram uma autodigestão, saindo estabilizada do sistema. Fazem parte do sistema um decantador primário, que previne a colmatação excessiva do leito filtrante, e um decantador secundário para remover as placas de bactérias que se despregam das pedras.
Filtro de alta carga	Similar ao sistema de baixa carga, a exceção da carga de DBO aplicada, que é maior. As bactérias (lodo excedente) necessitam de estabilização no tratamento do lodo.
Biofiltro aerado submerso	É constituído de um reator preenchido com material poroso (usualmente submerso), através do qual o esgoto e ar fluem permanentemente. O fluxo de ar no biofiltro é sempre ascendente, ao passo que o fluxo do líquido pode ser ascendente ou descendente. Além de servir de meio-suporte para os microrganismos, o material granular constitui-se em meio filtrante. São necessárias lavagens periódicas para a eliminação da biomassa acumulada, reduzindo as perdas de carga hidráulica através do meio.
Biodisco	Discos rotatórios em baixas rotações servem de meio-suporte para a biomassa, submetida a fases de parcial imersão no esgoto e parcial exposição ao ar.
Sistemas anaeróbios	
Filtro anaeróbio	A DBO é estabilizada anaerobiamente por microrganismos (bactérias e arqueas) aderidos a um meio-suporte (usualmente pedras). O reator trabalha submerso com fluxo ascendente. O sistema requer decantação primária (frequentemente, fossas sépticas). A produção de lodo é baixa e ele já sai estabilizado.
Reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB)	Parte da DBO é convertida por microrganismos anaeróbios (bactérias e arqueas) presentes na manta de lodo em biogás, sendo este coletado na parte superior do reator. Devido a um eficiente dispositivo de separação sólido-líquido no reator, permite-se desmembrar o tempo de detenção hidráulica (TDH) do tempo de retenção celular (idade do lodo). Assim, podem-se projetar reatores compactos (baixo TDH) com alta idade do lodo. O sistema dispensa decantação primária. A produção de lodo é baixa e ele já sai estabilizado.
Reator anaeróbio seguido de pós-tratamento	Os reatores UASB, de forma isolada, não produzem efluentes dentro dos limites de descarte em corpo d'água, requerendo para tanto a incorporação de um pós-tratamento, que pode ser biológico (aeróbio ou anaeróbio) ou físico-químico (com adição de coagulantes). A eficiência global do sistema é usualmente similar à que seria alcançada se o processo de pós-tratamento fosse aplicado ao esgoto bruto. No entanto, os requisitos de área, volume e energia, bem como a produção de lodo, são bem menores, fazendo o tratamento mais econômico.

Quadro 11 – Principais Sistemas de Tratamento de Esgotos Domésticos em Nível Secundário Utilizados no Brasil

Disposição no solo	
Infiltração lenta	Os esgotos são aplicados ao solo, fornecendo água e nutrientes requeridos no crescimento das plantas. Parte do líquido é evaporada, parte percola no solo e a maior parte é absorvida pelas plantas. As taxas de aplicação no terreno são bem baixas. O líquido pode ser aplicado segundo os métodos de aspersão, alagamento e da crista e vala.
Infiltração rápida	Os esgotos são dispostos em bacias rasas. O líquido passa pelo fundo poroso e percola pelo solo. A perda por evaporação é menor, em face das maiores taxas de aplicação. A aplicação é intermitente, proporcionando um período de descanso para o solo. Os tipos mais comuns são: percolação para a água subterrânea, recuperação por drenagem subsuperficial e recuperação por poços freáticos.
Infiltração sub-superficial	O esgoto pré-decantado é aplicado abaixo do nível do solo. Os locais de infiltração são preenchidos com um meio poroso, no qual ocorre o tratamento. Os tipos mais comuns são as valas de infiltração e os sumidouros.
Escoamento superficial	Os esgotos são distribuídos na parte superior de terrenos com uma certa declividade, através do qual escoam, até serem coletados por valas na parte inferior. A aplicação é intermitente. Os tipos de aplicação são: aspersores de alta pressão, aspersores de baixa pressão e tubulações ou canais de distribuição com aberturas intervaladas.
Terras úmidas construídas	Terras úmidas construídas, banhados artificiais ou alagados artificiais são denominações equivalentes. Os sistemas consistem de lagoas ou canais rasos que abrigam plantas aquáticas. O sistema pode ser de fluxo superficial (NA acima do nível do solo) ou subsuperficial (NA abaixo do nível do solo). Mecanismos biológicos, químicos e físicos no sistema raiz-solo atuam no tratamento dos esgotos.

Quadro 11 – Principais Sistemas de Tratamento de Esgotos

Domésticos em Nível Secundário Utilizados no Brasil

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

6 – NOVAS CONCEPÇÕES DE PROJETOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

As novas concepções de projetos de tratamento de esgotos concentram-se nos pontos de desenvolvimento tecnológico como valores de eficiências cada vez maiores, sistemas compactos, automatizados, que demandem pouca energia, produzam pouco lodo, que possibilitem o controle dos odores e que busquem sempre o caminho da sustentabilidade. Tais pontos de desenvolvimento de tecnologia das ETE são detalhados a seguir e ilustrados na Figura 3:

1. **Eficiência de tratamento:** busca de sistemas que removam cada vez maiores quantidades de poluentes (matéria orgânica, nutrientes, patógenos etc.) por unidade de reator, como consequência ao atendimento de padrões de lançamento e qualidade no corpo receptor mais restritivos. Busca de processos biológicos que garantam elevadas idades de lodo (quanto maior a idade do lodo mais eficiente é o proces-

Tipo	Nome comum	Uso
Processos aeróbios		
Crescimento suspenso	Lodos ativados	Remoção DBO, nitrificação
	Lagoas aeradas	Remoção DBO, nitrificação
	Digestão aeróbia	Estabilização, remoção DBO
Crescimento aderido	Filtros biológicos	Remoção DBO, nitrificação
	Reatores de contato (biodiscos)	Remoção DBO, nitrificação
	Reatores com leito fixo	Remoção DBO, nitrificação
Híbridos (combinados)	Filtro biológico/lodos ativados	Remoção DBO, nitrificação
Processos Anóxicos		
Crescimento suspenso	Desnitrificação de crescimento suspenso	Desnitrificação
Crescimento aderido	Desnitrificação de crescimento aderido	Desnitrificação
Processos anaeróbios		
Crescimento suspenso	Reatores de contato anaeróbios (biodiscos)	Remoção DBO
	Digestão anaeróbia	Estabilização, destruição de sólidos, remoção de patógenos
Crescimento aderido	Reatores com leito fixo e fluidizado	Remoção DBO, desnitrificação
Manto de lodo	UASB (<i>upflow anaerobic sludge blanket</i>)	Remoção DBO
Híbrido	UASB/crescimento aderido	Remoção DBO
Processos de Lagoas		
Lagoas aeróbias	Lagoas aeróbias	Remoção DBO
Lagoas de maturação	Lagoas de maturação	Remoção de patógenos
Lagoas facultativas	Lagoas facultativas	Remoção DBO
Lagoas anaeróbias	Lagoas anaeróbias	Remoção DBO

Quadro 12 – Principais Processos Biológicos de Tratamento de Esgotos e suas Finalidades

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2003)

so) e efluentes clarificados (boa capacidade de separação sólido-líquido);

- 2. Compacidade:** desafio principalmente para projetos de ETE situados em zonas urbanas, sendo facilmente situáveis em subsolo de áreas públicas ou mesmo edifícios;
- 3. Automação:** redução dos processos mecanizados, visando tanto diminuir a exposição dos operadores de ETE quanto reduzir a possibilidade de falhas. Devido ao maior nível de conhecimento alcançado

com os processos de automação, os custos dos equipamentos têm diminuído, permitindo assim uma maior utilização daqueles e diminuição dos custos com a mão-de-obra da estação;

4. **Economia de energia:** os gastos com energia representam o segundo item das despesas de várias companhias brasileiras de saneamento (o primeiro são as despesas com salários). Entretanto, com o incremento das restrições sobre a qualidade dos efluentes tratados, prevê-se um aumento substancial do consumo energético em ETE que utilizam processos mecanizados convencionais na etapa biológica de tratamento, como os sistemas de lodos ativados. A integração da via anaeróbia de alta taxa como pré-tratamento de outros processos biológicos, além de reduzir boa parte da matéria orgânica com um baixo consumo energético, é ainda capaz de produzir energia pelo uso do metano como combustível para geradores e subsequente utilização em iluminação, motores estacionários, secagem do lodo etc.;
5. **Produção e processamento do lodo:** a alta produção diária de lodo em ETE é objeto de preocupação das operadoras. Logo, deverão ser privilegiados processos que não somente minimizem a produção de lodo como também assegurem a sua higienização e estabilização. O processamento do lodo demandará etapas compactas para reduzir o intervalo de tempo entre a sua produção e a disposição final. O uso do lodo (biossólido) proveniente do tratamento de esgoto sanitário na agricultura é uma prática cada vez mais difundida e aceita;
6. **Controle de odores:** importante quando a ETE é localizada em áreas urbanas. Portanto, devem ser previstos sistemas de tratamento que permitam um controle dos gases odorantes gerados mediante eficiente captação;
7. **Sustentabilidade:** escolha de tecnologias de baixo custo de implantação e manutenção, minimizando o uso de energia e maximizando a recuperação de produtos;
8. **Novos materiais e métodos construtivos:** pesquisa de novos materiais e métodos construtivos que aumentem a vida útil das instalações, sobretudo em face do problema da corrosão. Para estações menores, a possibilidade de utilização de reatores pré-fabricados, em aço ou

concebidos estruturalmente no próprio terreno, sem utilização de concreto, também tem se mostrado viável, reduzindo substancialmente os custos de investimento e implantação;

9. **Modernas práticas de gestão:** programas de qualidade, sistemas de gestão ambiental, manutenção produtiva etc. são cada vez mais difundidos e aceitos pelos tomadores de decisão das companhias de saneamento. Dentro deste conceito, citam-se as próprias normas ISO 9.000 e ISO 14.000 que impulsionaram o setor industrial e as práticas de premiação através de critérios de excelência gerencial.

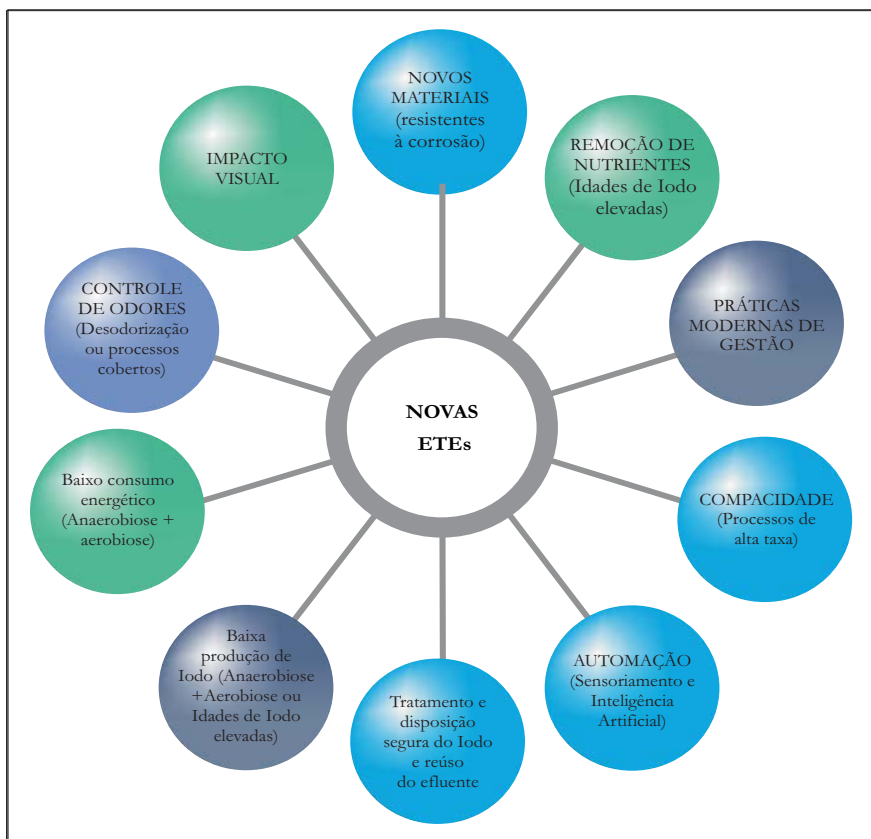


Figura 3 – Novas Conceções de Projetos de Estações de Tratamento de Esgotos

Fonte: Andreoli e Willer (2005)

Capítulo 2

TRATAMENTOS PRELIMINAR E PRIMÁRIO

1 – TRATAMENTO PRELIMINAR

1.1 – Considerações Iniciais

O tratamento preliminar de esgotos visa, basicamente, à remoção de sólidos grosseiros, estando presente em praticamente todas as estações de tratamento de esgotos. Consiste em uma preparação dos esgotos para o tratamento posterior, evitando obstruções, danos em equipamentos eletromecânicos, redução do volume útil do reator biológico ocupado com biomassa etc. e conseqüente problema no tratamento. O tratamento preliminar é constituído de gradeamento, desarenação e medição de vazão, os quais são detalhados a seguir.

1.2 – Gradeamento

O gradeamento objetiva a remoção de sólidos bastante grosseiros, como materiais plásticos, e de papelões constituintes de embalagens. Os dispositivos de remoção destes sólidos (grades) são constituídos de barras paralelas de ferro ou aço carbono, posicionadas transversalmente no canal de chegada dos esgotos na estação de tratamento. As grades devem permitir o escoamento dos esgotos sem produzir grandes perdas de carga, além da necessidade de serem robustas para resistir os impactos e esforços advindos dos procedimentos operacionais.

Classificação e Dimensões das Grades

Podem ser classificadas quanto à capacidade de retenção de sólidos (ou espaçamento entre as barras), quanto ao modelo de instalação e quanto à forma de limpeza. Para a primeira forma de classificação, elas podem ser divididas em gradeamento grosseiro, médio e fino, os quais são detalhadas no Quadro 13.

É conveniente, quando se tem a necessidade de recalque dos esgotos para a estação de tratamento, que o tratamento preliminar seja posicionado a montante da estação elevatória, visando à proteção dos rotores das bombas de corrosão por abrasão. No entanto, é prática mais usual apenas a instalação de uma grade grosseira à entrada da elevatória, posicionando-se uma grade média ou fina já no canal de entrada da ETE, normalmente de 1,5, 1,9 ou 2,5cm de espaçamento entre barras.

Tipo de grade	Material retido e local	Espaçamento (mm)	Seção transversal das barras (mm)
Grosseira	Galhos de árvores, restos de mobília, pedaços de colchão etc. Ingresso do esgoto nas ETE ou a montante das Estações Elevatórias de porte mais avantajado	40-100	9,5 x 50,0 9,5 x 63,5 12,7 x 38,1 12,7 x 50,0
Média	Latinhas de cerveja, refrigerante, plásticos, madeiras, papel, panos etc. Instalado a jusante do gradeamento grosseiro. Objetivam a retenção dos sólidos de porte maior que ingressam no sistema de coleta através dos lançamentos domiciliares de esgoto, ou mesmo através dos poços de visita. Aplicam-se estas grades a todo tipo de ETE ou EEs.	20-40	7,9 x 50,0 9,5 x 38,1 9,5 x 50,0
Fina	Fibras de tecidos, cabelo etc.	10-20	6,4 x 38,1 7,9 x 38,1 9,5 x 38,1

Quadro 13 – Espaçamentos e Seções Transversais Comuns de Grades
Fonte: Adaptado de Nunes (2004)

Inclinações das Grades

As grades podem ser instaladas verticalmente, inclinadas (75° e 45°) ou curvas (segmentais). As grades verticais são usadas preferencialmente com gradeamento grosseiro ou em canais muito profundos, sendo as inclinadas de 45° utilizadas em ETE de pequena capacidade, comumente em lagoas de estabilização e canais de aproximação rasos.

As grades inclinadas de 75° são muito utilizadas com dispositivos mecânicos de limpeza, em que a retirada dos sólidos se efetua com o rastelo

percorrendo a parte frontal das barras ou pela parte posterior (nesse caso os dentes do rastelo devem sobressair no mínimo 10cm além da face frontal das barras).

Nas grades curvas ou segmentais, efetua-se a limpeza por meio de rastelo basculante no eixo horizontal, instalado na frente das barras segmentais. Por sua configuração, este modelo é restrito a canais de pouca profundidade.

Dispositivos de Limpeza das Grades

O material retido na grade deve ser removido o mais rápido possível, de forma a evitar que os esgotos fiquem represados no canal de montante, elevando o nível e a velocidade do líquido entre as barras e causando o arraste de material retido nas grades para dentro do sistema de tratamento. As grades podem ser de limpeza manual ou mecanizada (Foto 1 e 2):

Grades de limpeza manual

- No gradeamento grosseiro, na entrada da ETE;
- Gradeamento para pequenas ETE, constando de gradeamento fino e instalado em canais rasos;
- Grades de reserva destinadas a complementar a operação de um gradeamento mecanizado. Instalam-se em canais paralelos aos principais.

Grades de limpeza mecanizada

- Rastelos acionados por motores redutores, instalados na parte superior do equipamento;
- Ativação automática dos rastelos em função da perda de carga da grade ou com temporizador;
- A retirada do material retido pode se dar com correias transportadoras ou com carrinhos de mão posicionados nas descargas dos rastelos.

Um problema ainda permanece que é quando se deve realizar a limpeza da grade. A prática indica os seguintes modelos:



Foto 1 – Dispositivo de Remoção Manual

Fonte: O autor



Foto 2 – Dispositivo de Remoção Mecanizada

Fonte: Tecnosan

- Comando manual: utilizado em pequenos sistemas de tratamento, o qual depende da percepção e confiabilidade do operador (aproximadamente 50% do total);
- Comando por temporizador: o operador, de acordo com a experiência adquirida, fixa o intervalo de tempo em que o rastelo dará partida para limpeza das grades. Este modelo tem a vantagem de operar independentemente do comando gerado pelos níveis de água;
- Comando pela perda de carga na grade: a diferença dos níveis, a montante e a jusante da grade, emite o sinal de partida quando o volume de sólidos acumulado exige a limpeza do sistema;
- Comando pelo nível de água a montante da grade: a acumulação dos sólidos provoca um remanso a montante das barras. A subida do nível a um determinado ponto fecha o circuito para comandar a limpeza da grade.

O material removido é depositado em tambores ou caçambas possuindo orifícios no fundo para o escoamento da água. A NBR-12.209 obriga a colocação de dispositivo de remoção mecanizada do material retido para vazões de dimensionamento superiores a 250 L/s (ASSOCIAÇÃO..., 1992).

Características, Condicionamento e Destino do Material Removido

Para grades com espaçamento fino a médio, estimam-se 40 a 50 litros de material retido para cada 1000m³ de esgoto, considerando-se a vazão média de cada unidade de gradeamento.

O material removido deverá ser imediatamente afastado das unidades de gradeamento e encaminhado ao seu destino final (normalmente aterro sanitário ou incineração). Antes de ser transportado, o material gradeado poderá sofrer as operações de lavagem, secagem ou adição de substâncias químicas, que visam evitar a emissão de maus odores, proliferação de insetos e facilitar o manuseio do material retido.

1.3 – Desarenação (Caixas de Retenção de Areia)

A desarenação consiste na remoção de sólidos com características de sedimentação semelhantes à da areia, os quais se introduzem no sistema principalmente devido à infiltração de água na rede coletora de esgotos (carreando areia). Esta remoção tem por finalidade eliminar ou atenuar os efeitos adversos ao funcionamento das partes componentes das instalações a jusante e ao meio ambiente, como evitar o assoreamento dos corpos receptores do esgoto tratado. Entre outras finalidades da remoção de areia, destacam-se as seguintes:

- Evitar danos nos equipamentos, tais quais bombas centrífugas de lodo, aeradores nas unidades de digestão aeróbia, maceradores e trituradores instalados a montante das bombas de lodo;
- Evitar danos nas tubulações devido à forte abrasão;
- Reduzir a possibilidade de danos e obstrução nas unidades da ETE, como canalizações, caixas de distribuição ou manobra, poços de elevatórias, tanques, sifões, orifícios, calhas etc.;
- Facilitar o manuseio e transporte das fases líquida e sólida ao longo das unidades componentes da ETE.

A Foto 3 traz um exemplo de uma caixa de areia de canal duplo, onde o fluxo nos canais é controlado pelos *stop-logs* e a areia é retirada manualmente.

Características do Material Removido

A “areia” que se infiltra no sistema de esgotos sanitários e que danifica equipamentos eletromecânicos é constituída de partículas com diâmetro de 0,2 a 0,4mm e massa específica $\rho = 2,54 \text{ ton/m}^3$. Estas partículas sedimentam-se individualmente nas caixas com velocidade média de 2cm/s.

Tipos e Escolha de Desarenadores

Podem ser classificados em diversas formas, como:

- Unidades de limpeza manual ou mecanizada;
- Unidades quadradas, retangulares ou outros;
- Unidades com velocidade controlada (vertedor, fenda retangular e Calha Parshall) ou de sedimentação simples;
- Desarenadores aerados (quando o material retido apresenta alta concentração de material putrescível) ou livres de aeração externa.

Dentre as variáveis que interferem na escolha de um desarenador são destacadas:

- Vazão afluente do esgoto;
- Características físicas dos sólidos presentes;
- Tipo de equipamentos a jusante do tratamento preliminar;
- Orçamento disponível.

Dispositivos de Remoção de Areia

De acordo com a NBR-12.209 (ASSOCIAÇÃO..., 1992), para caixas de areia de sistemas com remoção manual, devem ser projetados dois canais paralelos, utilizando-se um deles enquanto o outro é limpo (Foto 3). Na remoção mecanizada, utilizam-se bandejas de aço removidas por talha e carretilha, raspadores, sistemas de injeção de ar (*air lift*), bombas etc.

A “areia” retida, dependendo das suas características, pode receber diferentes destinos. Areias resultantes de tratamento de esgotos sanitários podem ser dispostas em valas preparadas em locais próximos da ETE ou, em alguns casos, conjuntamente com o lodo dos digestores. Quando a areia contém



Foto 3 – Exemplo de Unidades de Desarenação, em que a Seta Indica os Stop-Logs Instalados para Controle do Fluxo

Fonte: O Autor

alta concentração de material séptico ou proveniente de determinados processos industriais, deve ser encaminhada a aterro sanitário (em alguns casos somente a lavagem resolve o problema).

Para redes de esgotos novas e não imersas no lençol freático a quantidade de areia retida é estimada em 30 L/1000m³ de esgotos. Para situações desfavoráveis, recomenda-se adotar 40 L/1000m³.

Parâmetros de Projeto

Taxa de aplicação superficial (TAS): como mencionado anteriormente, é prática usual projetar o sistema com dois desarenadores operando em paralelo. Cada uma destas unidades deve ser dimensionada para uma TAS de 600m³/m².dia. Assim, quando uma das unidades for retirada para manutenção ou limpeza, a unidade remanescente, ainda em operação, trabalhará com uma taxa nunca superior a 1.200m³/m².dia, portanto, abaixo do limite fixado na NBR.

Velocidade de escoamento: as caixas de areia são projetadas para uma velocidade média dos esgotos de 0,30m/s. Velocidades baixas, notadamente as inferiores a 0,15m/s, provocam depósito de matéria orgânica na caixa, indicado pelo aumento da relação Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)/Sólidos Suspensos Totais (SST) do material retido e que provoca exalação de maus odores devido à decomposição da matéria orgânica sedimentada. Velocidades superiores a 0,40m/s provocam arraste de areia e redução da quantidade retida.

Profundidade: as menores profundidades encontradas nos desarenadores de limpeza manual têm ficado em torno de 0,60m, somadas de uma profundidade adicional para acumulação de areia (frequência de limpeza de 1 a 2 dias). Nas caixas de areia mecanizadas, as profundidades são maiores, chegando mesmo a 2,50m.

Tempo de detenção: para média de final de plano, normalmente varia de 1 a 3 minutos.

1.4 – Medição da Vazão

A medição da vazão da ETE é extremamente importante para se ter uma idéia da evolução temporal deste parâmetro, de forma a estimar se a ETE está trabalhando abaixo ou no seu limite de projeto. Adicionalmente, pode ser utilizado no cálculo do tempo de detenção real dos tratamentos, carga orgânica afluenta (produto da vazão pela concentração do parâmetro, por exemplo DBO) etc.

A medição da vazão pode-se dar através de uma Calha Parshall (o mais utilizado: mede-se a altura da lâmina d'água e entra-se na curva da calha para converter o valor de altura em vazão), vertedores (de forma análoga à Calha Parshall, mas com outra equação hidráulica), sensores eletromagnéticos ou ultrassônicos (mais recentes, os dados podem inclusive ser coletados automaticamente e armazenados). Alguns exemplos de medidores de vazão são mostrados nas Fotos 4 e 5.

Em ETE tratando esgotos industriais, na maioria das vezes, é previsto um tanque de equalização após o tratamento preliminar, que objetiva amortizar as variações de vazão e carga afluenta à ETE, além de regularizar a



Foto 4 – Medição de Vazão Através de Calha Parshall

Fonte: O Autor



Foto 5 – Sensores Ultrassônicos

Fonte: O Autor

vazão para as unidades a jusante. Deve-se impedir a sedimentação de sólidos nesse tanque e conseqüente decomposição anaeróbia para evitar problemas de odor. Tal condição é conseguida com a instalação de misturadores submersos ou artificiais, que podem ou não acumular a função de suprir oxigênio.

2 – TRATAMENTO PRIMÁRIO

2.1 – Introdução

O tratamento primário objetiva a retirada dos sólidos sedimentáveis pelo fornecimento de condições favoráveis para deposição e remoção dos sólidos orgânicos e inorgânicos. Tal condição normalmente é dada nos decantadores primários (Foto 6), em que o esgoto passa inicialmente pelo tratamento preliminar. São obtidas remoções da ordem de 40 a 60% dos sólidos em suspensão presentes nos esgotos sanitários, correspondendo a cerca de 30 a 40% da DBO. Tais eficiências podem ser melhoradas com a



Foto 6 – Vista de um Decantador Primário

Fonte: O Autor

a adição de produtos químicos que

ajudam na sedimentação. Mais recentemente, tem-se estudado o emprego da flotação com ar dissolvido em algumas aplicações, especialmente associada ao tratamento físico-químico. O lodo gerado no tratamento primário não é estabilizado e necessita de posterior estabilização antes de ser encaminhado a um destino final ou reúso agrícola na forma de biossólidos.

2.2 – Tipos de Decantadores

Existem, basicamente, dois tipos de decantadores de esgotos: os de secção retangular (Figura 4; Foto 7) em planta e de escoamento longitudinal e os de secção circular (Figura 5; Fotos 8 e 9), que, mais comumente, são alimentados pelo centro e a coleta do esgoto decantado é feita nas bordas dos decantadores, ao longo da linha da circunferência. Existem também os decantadores circulares de alimentação periférica.

Alguns autores preconizam a utilização de decantadores primários de seção retangular para a melhor assimilação das variações de vazão de esgotos e, como decantadores secundários, os de seção circular, pois são de menor custo de implantação. Por isso, podem-se também empregar decantadores circulares como primários, atribuindo-lhes menor eficiência na remoção de DBO. A escolha do tipo de decantador a ser empregado em uma ETE deverá ser feita baseada na análise econômica.

Os removedores mecanizados de lodo e a estrutura em concreto armado são os principais componentes de custo. Os raspadores mecanizados são equipamentos de custo elevado, tanto os rotativos dos decantadores circulares como, especialmente, os que são movidos por pontes rolantes que transladam ao longo do comprimento do decantador.

Os decantadores retangulares possuem o fundo ligeiramente inclinado, para que o lodo raspado seja direcionado ao poço de lodo, posicionado no início do decantador, de onde é removido através de bombeamento ou pressão hidrostática. No trecho final do decantador estão posicionadas, à superfície, as canaletas de coleta do esgoto decantado, cujas funções são as de reduzir a velocidade dos esgotos na região de saída, evitando-se a ressuspensão de lodo. Nesses decantadores, pode ser observada também uma tubulação transversal de coleta de espuma superficial. As comportas de distribuição dos esgotos no canal de entrada do decantador têm a função de evitar escoamentos preferenciais.

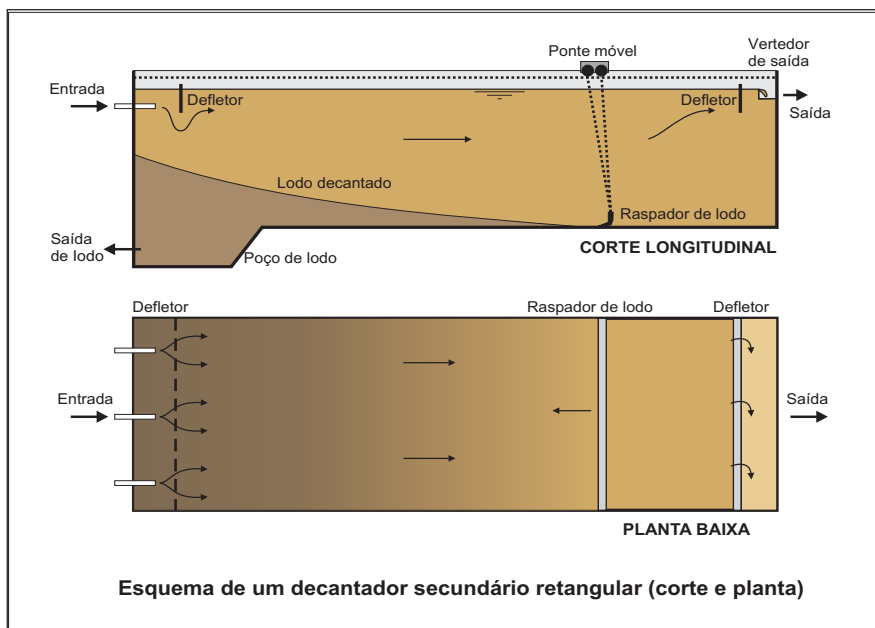


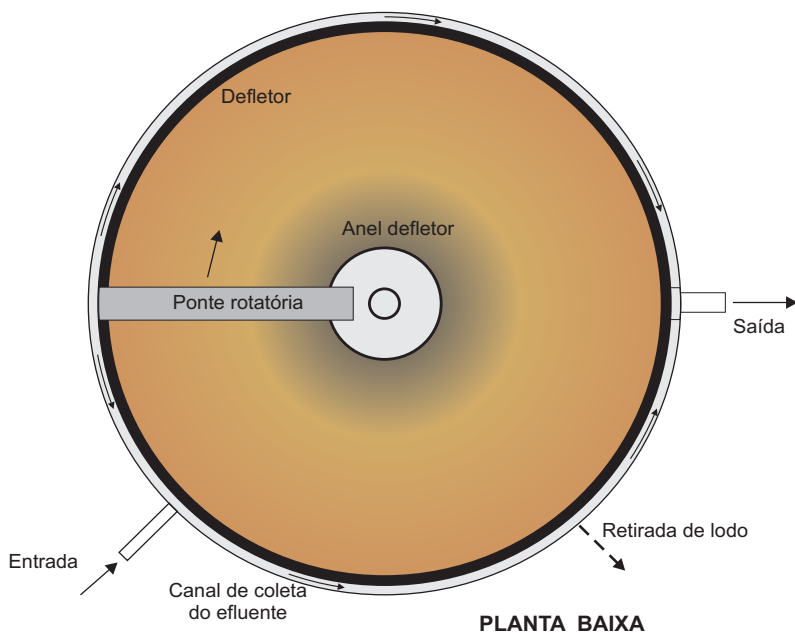
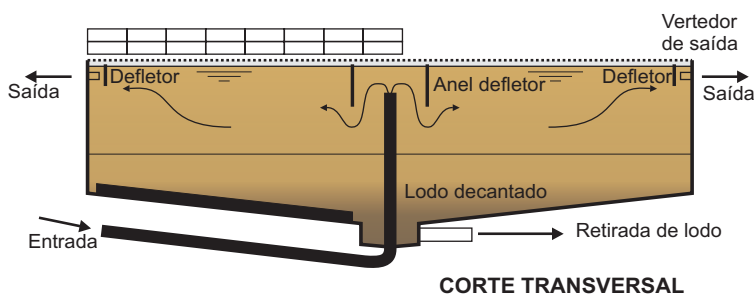
Figura 4 – Planta Baixa e Corte de um Decantador Retangular

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)



Foto 7 – Decantador Retangular

Fonte: O Autor



Esquema de um decantador secundário circular (corte e planta)

Figura 5 – Planta Baixa e Corte de um Decantador Circular

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)



Foto 8 – Decantador Circular

Fonte: O Autor



Foto 9 – Vista da Ponte Móvel de um Decantador Circular

Fonte: O Autor

2.3 – Aspectos de Projeto e Construção

O presente item apresenta detalhes de projeto e aspectos construtivos relacionados ao decantador primário, os quais são baseados na NBR-12.209 (ASSOCIAÇÃO..., 1992). A vazão de dimensionamento deve ser a máxima afluente à ETE, onde o emprego de um único decantador é limitado para vazões inferiores a 250 L/s.

Outro parâmetro importante citado na norma é a taxa de escoamento superficial, cujos valores de projeto são:

- $60\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, quando não precede nenhum processo biológico;
- $80\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, quando precede processo de filtração biológica;
- $120\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, quando precede processo de lodos ativados.

Outras observações importantes são:

- O tempo de detenção hidráulica para a vazão média deve ser inferior a 6h e para vazão máxima horária, superior a 1h;
- A taxa de escoamento através do vertedor de saída não deve exceder a $720\text{m}^3/\text{dia}/\text{m}$ de vertedor (taxa de escoamento laminar);
- A tubulação de remoção de lodo deve ter diâmetro mínimo de 150mm e declividade mínima de 3%;

- A retirada do lodo do decantador primário deve ser feita, na medida do possível, por bombeamento;
- Quando o lodo é retirado por pressão hidrostática, as exigências normativas têm plena validade. Cabe alertar, entretanto, que a perda de carga do lodo primário deve ser considerada 4 a 5 vezes maior do que a perda de carga correspondente à água;
- O transporte de lodo a escoamento livre não é recomendado. Admite-se apenas a transferência do material em canal aberto, em trechos curtos e com facilidade para arrastar o lodo com um rodo;
- O poço de acumulação do lodo no fundo do decantador deve ter paredes com inclinação igual ou superior a 1,5: 1,0 (vertical:horizontal), terminando em base inferior com dimensão horizontal mínima de 0,60m.

Decantador primário com remoção mecanizada de lodo:

- O dispositivo de remoção deve ter velocidade igual ou inferior a 20 mm/s, no caso de decantador retangular, e velocidade periférica igual ou inferior a 40mm/s, no caso de decantador circular;
- A altura mínima de água (parede lateral) deve ser igual ou superior a 2,0m;
- Para decantador retangular, a relação comprimento/altura mínima de água deve ser igual ou superior a 4:1; a relação largura/altura mínima de água deve ser igual ou superior a 2:1; a relação comprimento/largura deve ser igual ou superior a 2:1;
- Para decantador final retangular, a velocidade de escoamento horizontal deve ser igual ou inferior a 20mm/s.
- O decantador final circular, com remoção de lodo por raspagem, deve ter o fundo com inclinação mínima, para o centro, na razão de 1:12 (v:h).
- O decantador final retangular, com remoção por sucção ao longo do tanque, deve ter o fundo horizontal.

Existem ainda alguns critérios, que variam conforme o formato do decantador, os quais são detalhados a seguir:

Decantador retangular (com remoção mecanizada de lodo)

- A distribuição da vazão afluyente deve ser homogênea, de forma a evitar velocidades horizontais excessivas e curtos-circuitos hidráulicos.
- A profundidade útil do tanque deve situar-se entre 3,0 e 4,5m.
- A relação comprimento/largura deve ser igual ou superior a 3,0.
- A relação comprimento/profundidade não deve exceder o valor de 10 a 15.
- Caso a largura de um tanque exceda 6m, podem-se adotar coletores de lodo múltiplos, de forma a permitir uma largura de até 24m.
- O mecanismo coletor de lodo deve possuir uma elevada capacidade, de forma a evitar caminhos preferenciais do líquido pelo lodo, devendo ser também robusto, de maneira a transportar e remover lodos mais densos acumulados durante interrupções da operação.
- Os mecanismos de remoção do lodo mais comuns são: (a) raspador com ponte móvel, (b) raspador com correntes submersas e (c) removedores por sucção. Os mecanismos de raspagem transportam o lodo para um ou mais poços na extremidade de entrada do tanque.

Decantador circular

- A faixa mais usual de diâmetros varia de 10m a 40m.
- A profundidade útil do tanque (parede lateral) deve situar-se entre 3,0 e 4,5m.
- A relação diâmetro/profundidade lateral não deve exceder o valor de 10.
- A remoção do lodo pode ser por raspadores rotatórios, que dirigem o lodo para um poço no centro do tanque, ou por mecanismos de sucção apoiados em pontes rotatórias.
- O fundo do tanque deve possuir uma declividade em torno de 1:12, no caso de remoção do lodo por raspadores, ou ser aproximadamente plano, no caso de remoção por sucção.

Exercício 2:

Dados básicos Para os dados de vazão calculados no Exercício 1 (capítulo 1), dimensione um decantador primário de seção circular, o qual não precede nenhum processo biológico. Vazão média afluyente à ETE: $Q_{afl} = 100,5 \text{ L/s}$ Vazão afluyente à ETE relativa ao dia de maior consumo: $Q_{afl} = 119,0 \text{ L/s} = 10.282 \text{ m}^3/\text{dia}$ Vazão afluyente à ETE relativa à hora de maior consumo: $Q_{afl} = 174,5 \text{ L/s} = 15.077 \text{ m}^3/\text{dia}$

Cálculos

Como a vazão é inferior a 250 L/s , pode-se adotar um único decantador.

Será adotada uma taxa de escoamento superficial (TES) de $60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$.

$$A = \frac{Q}{TES} = \frac{15077}{60} = 251,3 \text{ m}^2$$

Logo, para um decantador circular temos o diâmetro (D) = $18,0 \text{ m}$

Adota-se uma altura (H) de $4,0 \text{ metros}$

Logo, o volume (V) do decantador será de:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H \pi \frac{\pi (18,0)^2}{4} 4 \pi 1.017 \text{ m}^3$$

Devem-se fazer as devidas verificações:

1. Verificação do TDH mínimo para $Q_{máx_h}$
2. Verificação do TDH máximo para $Q_{méd}$
3. Verificação da carga hidráulica sobre o vertedor efluente

$\text{TDH mínimo} = V/Q_{máx_h} = 1.017/15.077 = 1,62 \text{ horas} > 1,0 \text{ horas (okay)}$

$\text{TDH máximo} = V/Q_{méd} = 1.017/8.683 = 2,81 \text{ horas} < 6,0 \text{ horas (okay)}$

Carga hidráulica sobre o vertedor → admitindo-se um vertedor de bordo livre, o comprimento útil (L) do vertedor será: $\pi D = 3,14.18 = 56,52\text{m}$. A taxa de escoamento linear (TEL) sobre o vertedor será então:

$$\text{TEL} = Q_{\text{máx}_h} / L = 15.077 / 56,52 = 266,8 \text{m}^3 / \text{m}^2.\text{dia} < 720 \text{m}^3 / \text{m}^2.\text{dia} \text{ (okay)}$$

Capítulo 3

TRATAMENTO SECUNDÁRIO – LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

1 – LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO CONVENCIONAIS

Sistemas de lagoas de estabilização têm sido amplamente utilizados na prática de tratamento de esgoto sanitário em todo o Brasil, tendo-se observado resultados satisfatórios em termos da qualidade do efluente, sempre quando o projeto é tecnicamente adequado e existe um mínimo de operação e manutenção.

Como diz o próprio nome, o objetivo principal de lagoas de estabilização é estabilizar, ou seja, transformar em produtos mineralizados o material orgânico presente na água residuária a ser tratada. De uma forma mais grosseira as lagoas de estabilização podem ser classificadas quanto ao suprimento de oxigênio em convencional (O_2 é fornecido pelas algas) e aeradas artificialmente (O_2 é fornecido pelo uso de aeradores, item 2). Alguns sistemas de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização são apresentados nas Fotos 10 e 11.



Foto 10 – Vista de um Sistema de Lagoas de Estabilização

Fonte: O Autor



Foto 11 – Detalhes Dispositivo de Saída da Lagoa de Estabilização

Fonte: O Autor

1.1 - Processo

Para atingir a estabilização do material carbonáceo, são utilizados neste sistema de tratamento processos que envolvem a atividade metabólica de microrganismos, particularmente bactérias e algas. As algas, através da fotossíntese, produzem oxigênio, utilizando o CO_2 produzido pelas bactérias. Estas usam o oxigênio formado para oxidar o material orgânico biodegradável, liberando mais CO_2 , dando assim continuidade ao processo. De forma complementar, na ausência de oxigênio, microrganismos anaeróbios podem transformar o material orgânico em biogás, por meio do processo de digestão anaeróbia. O processo de interação entre bactérias e algas presentes em lagoas de estabilização e os demais mecanismos atuantes no tratamento de esgotos são ilustrados na Figura 6.

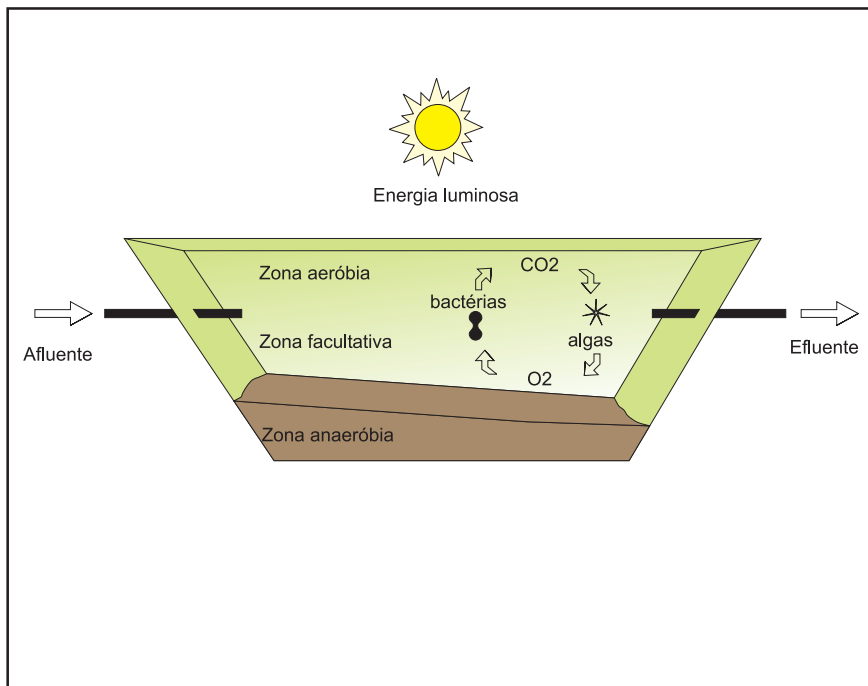


Figura 6 – Processo de Interação Entre Bactérias e Algas Presentes em Lagoas de Estabilização

Fonte: Elaboração do autor

Entretanto, para as algas alcançarem crescimento satisfatório, mesmo no Brasil, onde se têm normalmente condições favoráveis como temperatura elevada, alta incidência de irradiação solar etc., longos tempos de detenção hidráulica (TDH) são requeridos. Conseqüentemente, são sistemas que demandam grandes áreas, limitando assim a sua utilização em áreas densamente povoadas.

O longo TDH, da ordem de 20 a 30 dias, necessário para a estabilização do material orgânico é extremamente benéfico tanto para a remoção dos ovos de helmintos, que se sedimentam no fundo da lagoa, quanto para remoção de coliformes termotolerantes. Assim, produz-se um efluente com boa qualidade sanitária, podendo muitas vezes ser utilizado em irrigação irrestrita. Os principais tipos de lagoas de estabilização convencional são as anaeróbias, facultativas e de maturação (aeróbias), as quais são detalhadas a seguir:

Lagoa Anaeróbia (LA): recebe o esgoto bruto proveniente do tratamento preliminar, suportando elevadas cargas de DBO_5 e sendo construída em grandes profundidades (superiores a 3 metros). A digestão anaeróbia é o mecanismo de remoção predominante do material orgânico, através das suas diversas fases de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese/sulfetogênese, as quais serão abordadas em detalhes no Capítulo 5. Devido aos baixos TDHs, não há praticamente a ocorrência de fotossíntese. As lagoas anaeróbias são normalmente seguidas de lagoas facultativas.

Lagoa Facultativa (LF): representa a segunda lagoa da série (ou primeira lagoa, quando não se inclui a lagoa anaeróbia). Devido a sua menor profundidade (1,5 a 2,5 metros), há um ambiente aeróbio na camada superior, decorrente da produção fotossintetizante das algas, e anaeróbio na camada inferior. Na LF ocorrem os dois processos de remoção do material orgânico: oxidação nas camadas mais próximas da superfície e digestão anaeróbia no fundo da lagoa.

Lagoa de Maturação (LM): construída após as lagoas anaeróbia e facultativa, em profundidades da ordem de 1,0m, para proporcionar um ambiente predominantemente aeróbio. Essas lagoas permitem elevados tempos de detenção dos esgotos e o decaimento dos coliformes devido à incidência da radiação ultravioleta da luz solar, associado às condições mantidas de pH e oxigênio (altos valores).

O sistema de lagoas de estabilização promove boa nitrificação dos efluentes, boa remoção de DBO_5 , eficiências na remoção de coliformes termotolerantes superiores a 99,99%, apresentando efluentes com concentrações de coliformes termotolerantes inferiores a $10^3 \text{CF}/100 \text{ mL}$.

É muito importante salientar que a divisão do sistema de lagoas de estabilização em séries de lagoas é uma providência necessária, quando se deseja um tempo de detenção reduzido. A presença da lagoa anaeróbia não é obrigatória e às vezes é evitada, para não haver problemas de odores que dela emanam. Neste caso, a lagoa facultativa recebe uma carga orgânica muito maior e o TDH nela será muito mais longo. Em áreas densamente habitadas, pode ser difícil a existência de área suficiente para a implantação de lagoas de maturação.

Alguns esquemas de ETE compostas por lagoa facultativa ou lagoa anaeróbia seguida de facultativa são mostrados nas Figuras 7 e 8.

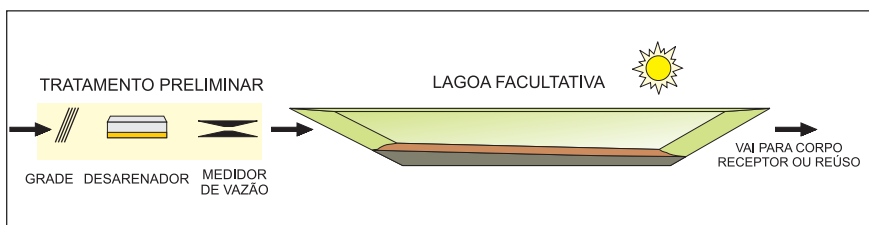


Figura 7 – Esquema de ETE Composta por Lagoas de Estabilização Facultativa

Fonte: Elaboração do autor

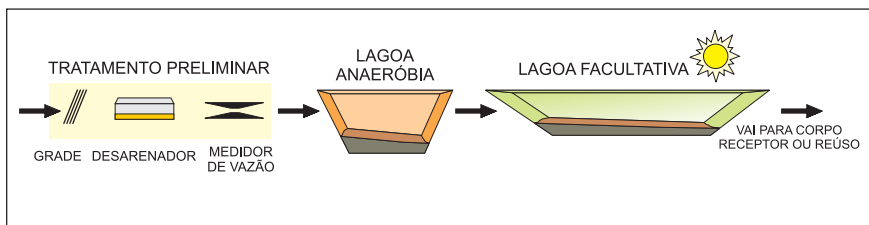


Figura 8 – Esquema de ETE Composta por Lagoa Anaeróbia Seguida de Lagoa Facultativa

Fonte: Elaboração do autor

Lagoas Anaeróbias

Mais profunda e com menor volume, normalmente é usada antes das outras lagoas, para estabilizar rapidamente parte da DBO, diminuindo a área necessária para o sistema. A DBO remanescente é removida na lagoa facultativa ou na aeróbia.

Profundidade ideal → maior que 3 metros

TDH → 2 a 5 dias

Eficiência → 50 a 70% na remoção de DBO

Vantagens →

- ocupa menores áreas
- recebe cargas orgânicas elevadas
- baixo custo

Desvantagens →

- emite maus odores

Lagoas Facultativas

A DBO solúvel é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, com oxigênio fornecido pelas algas, através da fotossíntese. A DBO em suspensão tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa.

Profundidade ideal → 1,5 a 3,0 metros

TDH → maior que 20 dias

Eficiência → 70 a 90% na remoção de DBO

Vantagens →

- não produz mau cheiro
- é eficiente
- recebe carga orgânica elevada
- baixo custo

Desvantagem →

- ocupa grandes áreas

Lagoas Aeróbias ou de Maturação

O objetivo maior é a remoção de patogênicos, que se dá pela radiação solar, elevado pH e elevado OD.

Profundidade ideal → de 0,80 a 1,20 metro

TDH → de 5 a 10 dias

Eficiência → 70 a 90% na remoção de coliformes fecais

Vantagens →

- elevado poder de desinfecção
- baixíssimo custo, quando comparado com os processos convencionais de desinfecção

Desvantagem → alta produção de matéria orgânica em suspensão (proliferação de algas)

Quadro 14 – Comparação Entre as Lagoas Anaeróbia, Facultativa e de Maturação Utilizadas no Tratamento de Esgotos

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996); Jordão e Pessoa (2005)

Nas últimas décadas, proliferou no Brasil um grande número de sistemas de tratamento anaeróbio, particularmente reatores de fluxo ascendente e manta de lodo, ou reatores UASB. Nessas unidades anaeróbias de tratamento, a eficiência de remoção do material orgânico e dos sólidos em suspensão é elevada, embora sempre seja requerido um pós-tratamento, o qual é detalhado no Capítulo 6. As principais diferenças entre as lagoas anaeróbia, facultativa e de maturação são mostradas no Quadro 14.

2 – LAGOAS AERADAS MECANICAMENTE

Em muitos projetos de lagoas de estabilização, a área requerida para se usar um processo convencional de lagoas é superior à disponível. Uma das formas de solucionar o problema do tratamento é aumentar a eficiência do processo de estabilização da matéria orgânica, com a subsequente redução da demanda de área, o que é conseguido com o uso de lagoas com aeração artificial. Os dois sistemas de tratamento mais utilizados são: lagoa aerada facultativa e lagoa aerada de mistura completa.

2.1 – Lagoa Aerada Facultativa

Nas lagoas facultativas aeradas (Figura 9), o mecanismo de tratamento é bem diferente daquele em lagoas facultativas convencionais, onde a sua fonte de oxigênio não é proveniente da fotossíntese, mas, sim, da aeração mecânica fornecida por aeradores de superfície ou ar comprimido.

Nestas lagoas, o nível de energia introduzido pelos aeradores é suficiente apenas para a oxigenação da massa de água, não tendo influência na manutenção dos sólidos (bactérias e sólidos do esgoto) em suspensão, os quais tendem a sedimentar, formando uma camada de lodo que será decomposta anaerobiamente. Apenas a DBO solúvel e finamente particulada permanece na massa líquida, vindo a sofrer decomposição aeróbia. A lagoa se comporta, portanto, como uma lagoa facultativa convencional. Devido à introdução de mecanização, as lagoas aeradas são menos simples em termos de manutenção e operação, comparadas com as lagoas facultativas convencionais.

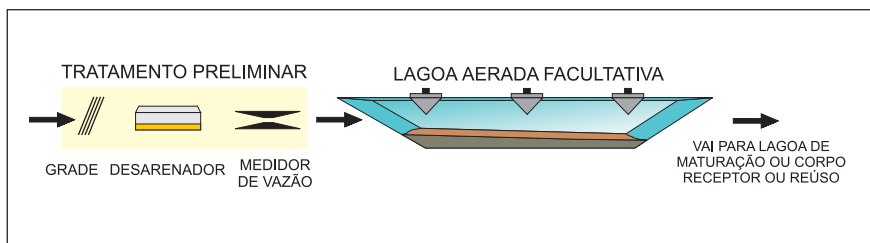


Figura 9 – Esquema de ETE Composta por Lagoas Facultativa Aeradas

Fonte: Elaboração do autor

2.2 – Lagoas Aeradas de Mistura Completa Seguidas de Lagoas de Decantação

Se, mesmo com a adoção de uma lagoa do tipo aerada facultativa, a área disponível ainda é insuficiente, pode-se recorrer ao uso de uma lagoa do tipo Aerada de Mistura Completa (Figura 10). Nestas lagoas, aumenta-se ainda mais o nível de aeração, o que cria uma turbulência que garante a oxigenação da massa de água e mantém todos os sólidos em suspensão. A denominação mistura completa é, portanto, advinda do alto grau de energia aplicado por unidade de volume.

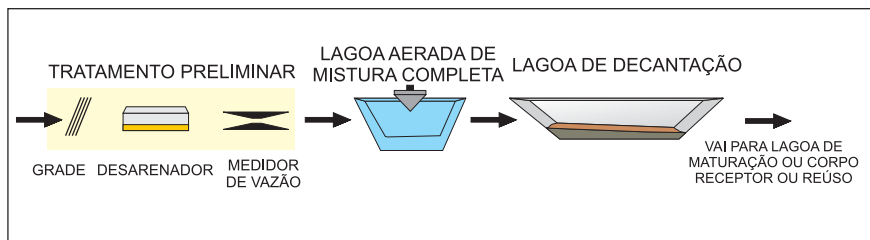


Figura 10 – Esquema de ETE Composta por Lagoas Aeradas de Mistura Completa

Fonte: Elaboração do autor

Entre os sólidos mantidos em suspensão e em mistura completa se incluem, além da matéria orgânica presente no esgoto bruto, os microrganismos (principalmente bactérias) responsáveis pelo tratamento biológico. Devido às condições de mistura, há um maior contato dos microrganismos com a matéria orgânica, fazendo com que a eficiência do sistema aumente

Tabela 2 – Parâmetros de Projeto de Lagoas de Estabilização

Parâmetro de projeto	LA	LF	LAF	LAM	LD	LM
Tempo de detenção (dias)	3-6	15-45	5-10	2-4	~2	A
Taxa de aplicação superficial (kgDBO ₅ /ha.dia)	-	100-350	-	-	-	-
Taxa de aplicação volumétrica (kgDBO ₅ /m ³ .dia)	0,1-0,3	-	-	-	-	-
Profundidade (m)	4,0-5,0	1,5-3,0	2,5-4,5	2,5-4,5	3,0-4,0	0,8-1,5
Relação L/B (comp./larg) usual	~1	2-4	2-4	1-2	-	B
Coef. Remoção DBO (mist.completa) (20° C) (dia) ⁻¹	-	0,30-0,35	0,6-0,8	1,0-1,5	-	-
Coef. Temperatura (mist.completa) (20° C) (dia) ⁻¹	-	1,05-1,085	1,035	1,035	-	-
Número de dispersão (L/B=1)	-	0,4-1,3	-	-	-	0,4-1,1
Número de dispersão (L/B=2 a 4)	-	0,1-0,7	-	-	-	0,1-0,5
Número de dispersão (L/B > 5)	-	0,02-0,3	-	-	-	0,03-0,23
Coef. rem. DBO (fluxo disperso) (20° C) (dia) ⁻¹	-	0,13-0,17	-	-	-	-
Coef. Temperatura (fluxo disperso) (20° C)	-	1,035	-	-	-	-
Requisitos médios de O ₂ (kgO ₂ /kgDBO ₅ remov)	-	-	0,8-1,2	1,1-1,4	-	-
Densidade de potência (W/m ³)	-	-	< 2,0	>3,0	-	-
Coef. Decaim. Bacter. (mist.completa) (20° C) (dia) ⁻¹	-	0,4-1,0	-	-	-	0,5-2,5
Coef. Temp. (mist.completa) (20° C)	-	1,07	-	-	-	1,07
Coef. Decaim. Bacter. (fluxo disperso) (20° C) (dia) ⁻¹	-	0,2-0,4	-	-	-	0,3-0,8
Coef. Temp. (fluxo disperso) (20° C)	-	1,07	-	-	-	1,07

Fonte: Adaptado de Von Sperling (1996)

A: Função do formato da lagoa e da eficiência requerida

B: Relação L/B incluindo chicanas em célula única > 10; relação L/B em cada lagoa de uma série de mais de 3 lagoas ~ 1.

Legenda: LA (lagoa anaeróbia); LF (lagoa facultativa); LAF (lagoa aerada facultativa); LAM (lagoa aerada de mistura completa); LD (lagoa de decantação); LM (lagoa de maturação)

bastante. No entanto, cria-se um novo problema, que é o de separar as frações líquidas das sólidas. Como não há na lagoa de mistura completa um dispositivo de separação sólido-líquido, é necessária uma unidade que permita tal separação, em que os sólidos em suspensão possam vir a sedimentar e o efluente clarificado saia do sistema. Essa unidade é denominada de lagoa de decantação.

A lagoa de decantação é dimensionada para um TDH bem reduzido, em torno de 2 dias. Nela, os sólidos vão para o fundo, onde são armazenados por um período de alguns anos, após o qual são removidos. Há também as lagoas de decantação com remoção contínua do lodo de fundo, através de bombas acopladas em balsas.

Os principais parâmetros de projeto de lagoas de estabilização são descritos na Tabela 2 e uma comparação entre os tipos de lagoas é apresentada no Quadro 15.

3 – CONSTRUÇÃO DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

O presente item visa abordar alguns dos pontos mais relevantes da construção do sistema de lagoas de estabilização, os quais exigem conhecimento de várias áreas da engenharia.

Seleção da área: como esse sistema de tratamento demanda muita área, normalmente a construção fica impossibilitada em grandes aglomerações. Entretanto, deve-se situar o mais próximo possível da cidade para reduzir o custo do emissário de recalque e o custo com energia elétrica das estações elevatórias. Além disso, é interessante que fique situada próxima de um corpo receptor, para a minimização da extensão do emissário de esgoto tratado.

Serviços de topografia: na fase de projeto, é necessário fazer um levantamento planialtimétrico da área selecionada, o qual pode ser feito com a topografia convencional (uso de teodolito e nível), ou mais recentemente com o uso de estação total. O levantamento começa com a locação da linha de base, com espaçamento entre piquetes de 20m, sendo seguido da abertura das seções (também 20m), de forma a cobrir toda a área da lagoa. Pode-se tanto trabalhar com uma cota verdadeira, através do transporte da referência de nível (RN), como com cota arbitrária, adotando-se uma RN em um ponto conhecido e fazendo-se todos os cálculos das cotas em relação a ela. Durante a construção, as cotas de fundo e coroamento das lagoas, bem como dos seus demais dispositivos, deverão ser cuidadosamente verificadas. A partir das curvas de nível e das cotas de fundo e coroamento, pode-se fazer um estudo de otimização do movimento de terra (corte e aterro), minimizando o custo com transporte de material.

Tipo de sistema	Subtipo	Características	TDH	Eficiência	Custo	Vantagens	Desvantagens
Lagoas de estabilização	Lagoas facultativas	profundidade de 1,5 a 3 metros	maior que 20 dias	70 a 90%	baixo	não produzem mau cheiro, são eficientes, recebem carga orgânica elevada, baixo custo, resistentes a variações de carga orgânica, remoção de todo necessária somente após 20 anos	ocupam grandes áreas, possibilidade de crescimento de insetos
	Lagoas anaeróbias	profundidade maior que 3m	2 a 5 dias	50 a 70%	baixo	ocupam menor área, recebem cargas orgânicas elevadas, baixo custo	emitem maus odores, baixa eficiência
	Lagoas aeróbias	profundidade 0,8 a 1,2m. atualmente são lagoas de maturação (desinfecção)	3 a 5 dias	70 a 90% na remoção de coliformes	alto	o elevado poder de desinfecção, eficiência na remoção de patogênicos, baixo custo	alta produção de matéria orgânica em decomposição (algas)
Lagoas aeradas mecanicamente	Lagoas aeradas facultativa	aeradores fornecem oxigênio para a camada superficial	5 a 10 dias	70 a 90%	alto	recebem alta carga orgânica, maior eficiência, menor TDH, requer menor área, independem das condições climáticas	introdução de equipamentos propiciam aumento no custo de manutenção e operação, remoção mais frequente de sólidos
	Lagoas aeradas de mistura completa	aeradores fornecem oxigênio para toda a massa de líquido	2 a 4 dias	70 a 90%	alto	possuem menor TDH, requerem menor área dentre todos os tipos de lagoas e maior eficiência	alto custo de operação, precisam de lagoa de decantação, necessidade de remoção periódica (2 a 5 anos) do lodo da lagoa de decantação

Quadro 15 – Comparação Técnica e Financeira dos Vários Tipos de Lagoas de Estabilização

Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (2005)

Serviços de geotecnia: este tipo de estudo visa determinar a inclinação dos taludes de montante e jusante, posto que solos mais argilosos permitem taludes mais inclinados e solos arenosos, taludes mais suaves. Define-se também se o material utilizado nos diques e selos serão locais ou transportados. Quando o material é proveniente de empréstimo, os serviços de geotecnia compreendem a busca por jazidas de materiais. O selo é o material do fundo da lagoa, que é responsável pela sua estanqueidade, normalmente possuindo uma espessura de 30 a 40cm. Todo o movimento de terra deve ter controle de compactação, com camadas inferiores a 20cm, e seguindo rigorosamente o grau de compactação estabelecido pelas análises de caracterização do solo.

Acessórios das lagoas: normalmente, nos projetos de lagoas de estabilização, é prevista a colocação de placas de concreto na área de contato entre a lâmina de esgoto e o talude de montante. São previstos dois ou mais dispositivos (partidores) de entrada e saída, de maneira a evitar o acúmulo da matéria orgânica apenas em uma parte da lagoa e subsequente exalação de maus odores. Normalmente, uma folga de 0,50m é adicionada à altura útil da lagoa. São previstos também dispositivos de drenagem para águas pluviais e colocação de gramas ou pedriscos no talude de jusante, para evitar erosão.

4 – PROBLEMAS OPERACIONAIS EM LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Odores desagradáveis	
Causas ✓ Sobrecarga de esgotos ✓ Presença de substâncias tóxicas nos esgotos ✓ Queda brusca da temperatura dos esgotos	Prevenção/Recuperação ✓ Se existir uma lagoa facultativa após a lagoa anaeróbia → recircular o líquido da LF para entrada do esgoto na LA ✓ Quimicamente, pela adição de nitrato de sódio em vários pontos da LA ✓ Adição de cal para elevar o pH e assim cessar a fase de fermentação ácida responsável para produção de H_2S
Proliferação de insetos	
Causas ✓ Material gradeado ou areia removida não enterrados convenientemente ou mesmo deixados expostos em algum ponto da área externa da lagoa. ✓ Crescimento de vegetais no talude interno da lagoa, na parte em que o nível de água está em contato com o talude ✓ A origem de grandes quantidades de moscas poderá também ser proveniente da película da escuma e óleo sempre presente nas lagoas anaeróbias, bem como sua disposição inadequada, quando removida.	Prevenção/Recuperação ✓ Havendo grade ou caixa de areia junto à lagoa, o material deverá ser enterrado em valas previamente abertas. ✓ Os vegetais deverão ser cortados tão logo ocorra o seu aparecimento. Cuidado para que os vegetais não caiam na massa líquida. ✓ Quando ocorrerem moscas junto às LA, é sempre conveniente revolver, com o auxílio de um rastelo ou jato d'água, a camada de material flutuante que cobre as lagoas anaeróbias
Crescimento de vegetação	
Causas ✓ Manutenção Inadequada	Prevenção/Recuperação ✓ Vegetais aquáticos (crescem no talude interno) → remoção total evitando a sua queda na lagoa ✓ Vegetais terrestres (arbustos, ervas, capins etc.), que crescem no talude externo, → capinar o terreno; aplicar algum produto químico.

Quadro 16 – Problemas Operacionais em Lagoas Anaeróbias

Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

Nota: Outros problemas detectados em lagoas anaeróbias são relacionados ao entupimento das tubulações de entrada e aparecimento de uma camada espessa de escuma

Presença de Escuma	
Causas ✓ Superflorescimento de algas que chegam a formar uma nata esverdeada sobre a superfície líquida. ✓ Lançamento de material estranho na lagoa. ✓ Placas de lodo desprendidas do fundo ✓ Pouca circulação e atuação do vento	Prevenção/Recuperação ✓ O bloqueio da passagem da luz prejudica a fotossíntese. A escuma deverá ser removida de imediato pelo uso de um rastelo. ✓ A escuma de algas, se não for destruída ou removida, certamente produzirá odores desagradáveis devido à morte dessas algas. ✓ A escuma proveniente das placas de lodo que se desprendem do fundo deve ser removida de imediato.
Odores desagradáveis	
Causas ✓ Sobrecarga de esgotos que causa um abaixamento de pH, queda do nível de O ₂ mudança na cor do efluente de verde para amarelado, aparecimento de zonas cinzentas junto à alimentação do afluente ✓ Presença de substâncias tóxicas no esgoto ✓ Formação de caminhos preferenciais associados à má distribuição do afluente pela forma geométrica da lagoa ou à presença de vegetação aquática no interior da lagoa; ✓ Presença de massas flutuantes de algas na superfície líquida ✓ Associados às más condições atmosféricas	Prevenção/Recuperação 1. no caso de existirem duas células facultativas, aquela que apresenta o problema deverá ser retirada de operação até que se recupere, enquanto que se coloca em operação a segunda célula; 2. no caso de existir apenas uma única célula ➔ recircular o ambiente 3. havendo aeradores superficiais flutuantes, estes poderiam ser instalados; 4. verificar a possibilidade de expandir o número de tubulações de distribuição do afluente de forma a evitar curtos-circuitos. ✓ Recomenda-se: 1. colocar uma segunda lagoa em operação paralela, se possível, isolando a primeira lagoa; 2. instalar aeradores superficiais na segunda lagoa que entrou em operação; 3. tentar descobrir a origem do composto causador de toxicidade. ✓ Recomenda-se: 1. em caso de entradas múltiplas de afluente ➔ regularizar a sua distribuição uniforme; 2. em caso de entrada única de esgotos ➔ aumentar o número de entradas ✓ Instalar aeradores próximos à entrada da lagoa

Quadro 17 – Problemas Operacionais em Lagoas Facultativas

Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

Crescimento de vegetais	
Causas	Prevenção/Recuperação
✓ Primeiramente diferenciar entre vegetais aquáticos (aparecem no talude interno) e terrestres. Os vegetais aquáticos são associados a ciclos de problemas: vegetais → insetos e larvas → ratos → cobras. Estes vegetais caso não sejam removidos poderão prejudicar seriamente a estabilidade e estanqueidade do talude.	✓ Os vegetais da margem interna deverão ser cortados, evitando-se que eles caiam dentro da lagoa ✓ Nos novos projetos, deve-se prever a proteção interna do talude na região do nível d'água com uma camada de concreto magro ou material equivalente. ✓ Os vegetais que crescem no interior da lagoa deverão ser removidos com um auxílio de uma canoa ou dragas.

Quadro 17 – Problemas Operacionais em Lagoas Facultativas

Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

Capítulo 4

TRATAMENTO SECUNDÁRIO – LODOS ATIVADOS

1 – INTRODUÇÃO

O sistema de lodos ativados é amplamente utilizado, em nível mundial, para o tratamento de águas residuárias domésticas e industriais, em situações em que uma elevada qualidade do efluente é necessária e a disponibilidade de área é limitada (elevadas vazões). No entanto, o sistema de lodos ativados inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando operação mais sofisticada. Outras desvantagens são o consumo de energia elétrica para aeração e a maior produção de lodo. A Foto 12 ilustra uma ETE composta de sistema de lodos ativados.



Foto 12 – Vista de uma ETE Composta de Sistema de Lodos Ativados

Fonte: Roseville City Hall

Até o presente, a maior aplicação do sistema de lodos ativados tem sido como tratamento direto de efluentes domésticos ou industriais. Os seguintes itens são partes integrantes e a essência de qualquer sistema de lodos ativados de fluxo contínuo:

Tratamento preliminar	 Função do espaço nas diversas unidades
Decantador primário (lodos ativados convencional)	
Tanque de oxidação ou reator aerado (todas as modalidades)	
Decantador secundário e recirculação de parte do lodo para o tanque de oxidação	
Retirada do efluente clarificado Retirada de lodo excedente	

Após o tratamento preliminar, o esgoto segue para o decantador primário, que é responsável pela remoção dos sólidos sedimentáveis presentes no esgoto bruto, e em seguida para o tanque de aeração (Foto 13). Neste tanque é onde ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica (eventualmente N e P), em que os microrganismos convertem o substrato orgânico presente no esgoto em CO_2 e lodo biológico, assim removendo-os do líquido. Tal tarefa é acelerada e otimizada pelo fornecimento de condições favoráveis às atividades metabólicas dos microrganismos, como o suprimento de oxigênio (Figura 11), nutrientes (principalmente com esgotos industriais, onde normalmente eles estão ausentes) e mistura.

Após o tanque de aeração, o esgoto misturado com os sólidos biológicos se dirige ao decantador secundário (Foto 14). É interessante atentar que o decantador primário é responsável pela remoção dos sólidos sedimentáveis presentes no esgoto bruto, ao passo que o decantador secundário é responsável pela separação dos sólidos produzidos no reator biológico. Neste, ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. Parte dos sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário é recirculada para o tanque de aeração, de forma a manter uma elevada concentração de biomassa nele, sendo este fator o responsável pela elevada eficiência do sistema.



Foto 13 – Vista de um Tanque de Aeração de um Sistema de Lodos Ativos

Fonte: O Autor

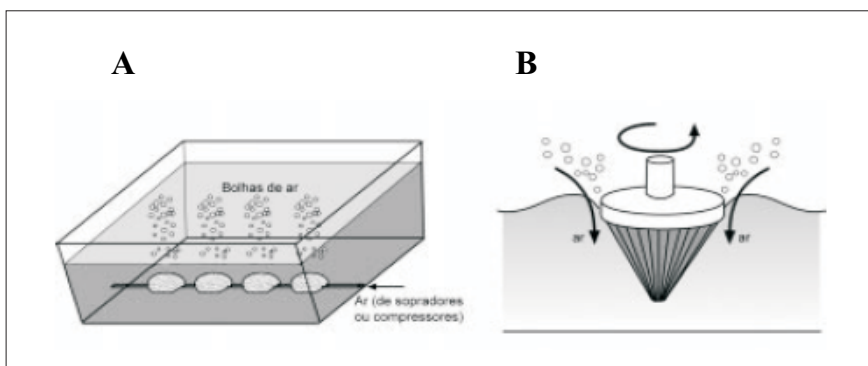


Figura 11 – Suprimento de Oxigênio por Meio de Difusores de Ar (Sopradores) (A) ou Aeradores de Superfície (B)

Fonte: Von Sperling *et al.* (2001)

A biomassa é separada no decantador secundário devido à sua propriedade de flocular e de sedimentar. Tal se deve à produção de uma matriz gelatinosa, que permite a aglutinação das bactérias, protozoários e outros microrganismos, responsáveis pela remoção da matéria orgânica, em flocos



Foto 14 – Vista de um Decantador Secundário de um Sistema de Lodos Ativados

Fonte: O Autor

macroscópicos. Os flocos possuem dimensões bem superiores às dos microrganismos, individualmente, o que facilita sua sedimentação.

Nos sistemas de lodos ativados, o tempo de detenção do líquido (tempo de detenção hidráulica – TDH) é baixo, da ordem de horas, implicando que o volume do reator seja bem reduzido. No entanto, devido à recirculação dos sólidos, estes permanecem no sistema por um tempo superior ao do líquido. O tempo de retenção dos sólidos é denominado tempo de retenção celular ou idade do lodo, sendo definido como a relação entre a quantidade de lodo biológico existente no reator e a quantidade de lodo biológico removida por dia. É esta maior permanência dos sólidos no sistema que garante a elevada eficiência dos sistemas de lodos ativados, já que a biomassa tem tempo suficiente para metabolizar praticamente toda a matéria orgânica dos esgotos.

Caso fosse permitido que a sua população crescesse indefinidamente, eles tenderiam a atingir concentrações excessivas no tanque de aeração, dificultando a transferência de oxigênio para todas as células. Ademais, o decantador secundário ficaria sobrecarregado, e os sólidos não teriam mais condições de sedimentar satisfatoriamente, vindo a ser arrastados no efluente final, deteriorando a sua qualidade. Para manter o sistema em equilíbrio, é necessário que se retire aproximadamente a mesma quantidade de biomassa que é aumentada por reprodução. Este é, portanto, o lodo biológico excedente, que pode ser extraído diretamente do reator ou da linha de recirculação. No sistema de lodos ativados convencional, o lodo excedente deve sofrer tratamento adicional, usualmente compreendendo adensamento, digestão e desidratação.

Um outro parâmetro utilizado, na prática, no processo de lodos ativados é a relação Alimento/Microrganismos (A/M), definida como a quantidade de alimento (DBO) fornecida por dia por unidade de biomassa do reator (representada pelos Sólidos Suspensos Voláteis no Tanque de Aeração-SSVTA), e expressa em kgDBO/kgSSVTA.dia.

Com relação à remoção de coliformes e organismos patogênicos, tem-se que a eficiência é baixa e usualmente insuficiente para atender aos requisitos de qualidade dos corpos receptores, devido aos reduzidos tempos de detenção nas unidades do sistema de lodos ativados, sendo comum em sistemas de tratamento que operam com baixo TDH.

2 – VARIANTES DO PROCESSO

2.1 – Preliminares

Idade do lodo	Fluxo	Objetivos do tratamento
✓ Lodos ativados convencional	✓ Contínuo	✓ Remoção de carbono (DBO)
✓ Aeração prolongada	✓ Intermitente (batelada)	✓ Remoção de carbono e nutrientes (N e/ou P)

Quadro 18 – Formas de Classificação dos Sistemas de Lodos Ativados
Fonte: Adaptado de Von Sperling (1997)

Um sistema de lodos ativados pode ser classificado de diversas formas, conforme mostradas no Quadro 18.

2.2 – Lodos Ativados Convencional (Fluxo Contínuo)

No sistema de lodos ativados convencional, ilustrado na Foto 15, parte da matéria orgânica dos esgotos com capacidade de sedimentação é retirada no decantador primário, com subsequente economia de energia para a aeração e redução do volume do reator biológico. Na Figura 12, a parte de cima corresponde ao tratamento da fase líquida (esgoto), ao passo que a parte de baixo exemplifica as etapas envolvidas no tratamento da fase sólida (lodo).

No sistema convencional, a idade do lodo é usualmente da ordem de 4 a 10 dias, relação A/M na faixa de 0,25 a 0,50 kgDBO₅/kgSSVTA.dia, e o TDH da ordem de 6 a 8 horas. Com esta idade do lodo, a biomassa retirada do sistema no lodo excedente não se encontra estabilizada, requerendo portanto uma etapa de estabilização, a qual ocorre normalmente nos digestores (primário e secundário). De forma a reduzir o volume dos digestores, o lodo é previamente submetido a uma etapa de adensamento, operação que consiste na retirada de parte da umidade para diminuir o volume de lodo a

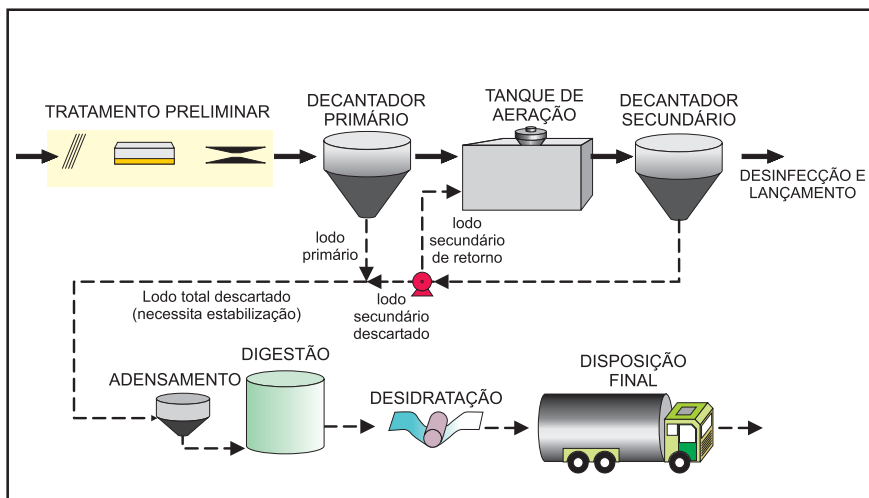


Figura 12 – Fluxograma de uma ETE de Lodo Ativado Convencional

Fonte: Elaboração do autor

ser tratado. Os aspectos mais importantes do tratamento do lodo são detalhados no Capítulo 8.

2.3 – Lodos Ativados por Aeração Prolongada (Fluxo Contínuo)

O principal parâmetro que diferencia um sistema de aeração prolongada do sistema convencional é o tempo de aeração, como sugere o próprio nome. Assim, a biomassa irá permanecer no sistema por um período de aeração mais longo, da ordem de 18 a 30 dias (alta idade de lodo), recebendo a mesma carga de DBO do esgoto bruto que o sistema convencional.

Tanto a quantidade de biomassa (kgSSVTA) quanto o volume do reator biológico são maiores quando comparados ao sistema de lodos ativados convencional, em que o TDH é em torno de 16 a 24 horas. Portanto, há menos matéria orgânica por unidade de volume do tanque de aeração e também por unidade de biomassa do reator. Como consequência desta condição de carência de alimento, baixa relação A/M, as bactérias passam a utilizar o próprio carbono das suas células para a realização de seus processos metabólicos, conhecida como respiração endógena. Esta matéria orgânica celular, de forma análoga à oxidação da matéria orgânica carbonácea do esgoto, é convertida em gás carbônico e água por meio da respiração celular. Com isso, a biomassa é estabilizada aerobiamente no próprio tanque de aeração. O consumo adicional de oxigênio para a estabilização de lodo (respiração endógena) é significativo e, inclusive, pode ser maior que o consumo para metabolizar o material orgânico do afluente (respiração exógena).

Não são projetados decantadores primários em sistemas de aeração prolongada, no intuito de evitar a geração de alguma outra forma de lodo, que venha a requerer posterior estabilização, já que o lodo do reator biológico se encontra estabilizado. Além da eliminação dos decantadores primários, eliminam-se as unidades de digestão de lodo (Figura 13).

Deve-se destacar, no entanto, que a eficiência de qualquer variante do processo de lodos ativados está intimamente associada ao desempenho

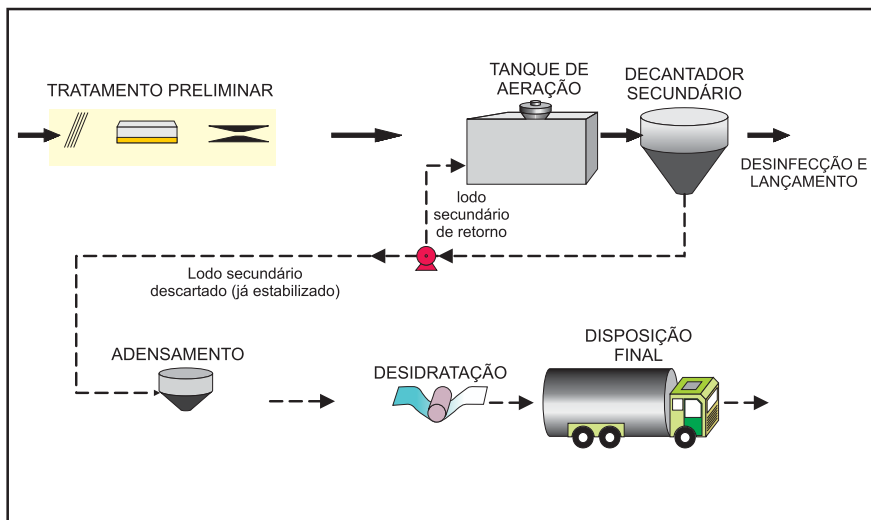


Figura 13 – Fluxograma de uma ETE de Lodos Ativos por Aeração Prolongada

Fonte: Elaboração do autor



Foto 15 – Vista de um Reator de Lodos Ativos em Batelada

Fonte: Pjhannah

do decantador secundário. Caso haja perda de sólidos no efluente final, haverá uma grande deterioração na qualidade do efluente, independentemente do bom desempenho do tanque de aeração na remoção da DBO.

2.4 – Lodos Ativados de Fluxo Intermitente (Batelada)

Os sistemas de lodos ativados descritos anteriormente são de fluxo contínuo com relação ao afluente, ou seja, o esgoto está sempre entrando e saindo do reator. Há, no entanto, uma variante do sistema, com operação em fluxo intermitente ou em batelada.

O princípio do processo de lodos ativados em batelada consiste na incorporação de todas as unidades, processos e operações normalmente associados ao tratamento tradicional de lodos ativados: decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária, em um único tanque (Foto 15). Os processos e operações passam a ser simplesmente seqüências no tempo (ciclos de operação) com durações definidas, e não unidades separadas, como ocorre nos processos de fluxo contínuo.

Os ciclos normais de tratamento são:

Enchimento (entrada de esgoto bruto, decantado ou anaeróbico no reator)	 Função do tempo para as diversas operações
Reação (aeração e/ou mistura da massa líquida contida no reator)	
Sedimentação (sedimentação e separação dos sólidos em suspensão do esgoto tratado)	
Descarte do efluente tratado (retirada do esgoto tratado do reator)	
Repouso (ajuste de ciclos e remoção do lodo excedente)	

Logo, a massa biológica permanece no reator durante todos os ciclos, eliminando, dessa forma, a necessidade de decantadores primários ou secundários (Figura 14). O processo de lodos ativados em batelada pode ser projetado nas modalidades convencional e aeração prolongada. Nesta última, o tanque único passa a incorporar também a unidade de digestão (aeróbia) do lodo. A duração usual de cada ciclo pode ser alterada em função das varia-

ções da carga afluyente, dos objetivos operacionais do tratamento e das características do esgoto e da biomassa no sistema.

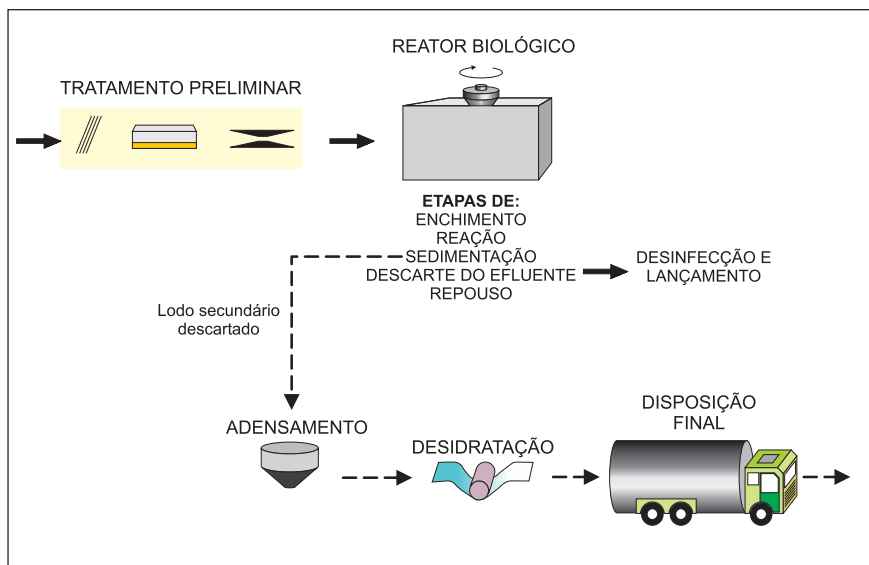


Figura 14 – Fluxograma de uma ETE de Lodos Ativos Batelada

Fonte: Elaboração do autor

No sistema de aeração prolongada por batelada, as únicas unidades de todo o processo de tratamento (líquido e lodo) são: grade, desarenador, medição de vazão, reatores, adensador do lodo (opcional) e sistema de desidratação do lodo.

Há algumas variantes nos sistemas de fluxo intermitente, relacionadas tanto à forma de operação (alimentação contínua e esvaziamento descontínuo), quanto à sequência e duração dos ciclos associados a cada fase do processo. Estas variantes permitem simplificações adicionais no processo ou a remoção biológica de nutrientes.

A Tabela 3 traz as principais características dos sistemas de lodos ativados usados no tratamento de esgotos sanitários.

3 – ASPECTOS CONSTRUTIVOS

O presente item apresenta detalhes de projeto e aspectos construtivos relacionados ao tanque de aeração:

Tabela 3 – Principais Características dos Sistemas de Lodos Ativados Usados no Tratamento de Esgotos Sanitários

Item geral	Item específico	Modalidade	
		Convencional	Aer. prolongada
Idade do lodo	Idade do lodo (dias)	4-10	18-30
Relação A/M	Relação A/M (kgDBO/kgSSVTA.dia)	0,25-0,50	0,07-0,15
Eficiência de remoção	DBO (%)	85-95	93-98
	DQO (%)	85-90	90-95
	Sólidos em suspensão (%)	85-95	85-95
	Amônia (%)	85-95	90-95
	Nitrogênio (%)	25-30	15-25
	Fósforo (%)	25-30	10-20
	Coliformes (%)	60-90	70-95
Área Requerida	Área (m2/hab)	0,2-0,3	0,25-0,35
Volume Total	Volume (m3/hab)	0,10-0,15	0,10-0,15
Energia	Potência instalada (W/hab)	2,5-4,5	3,5-5,5
	Consumo energético (kWh/hab.ano)	18-26	20-35
Volume de lodo	A ser tratado (L lodo/hab.dia)	3,5-8,0	3,5-5,5
	A ser disposto (L lodo/hab.dia)	0,10-0,25	0,10-0,25
Massa de lodo	A ser tratado (g ST/hab.dia)	60-80	40-45
	A ser disposto (g ST/hab.dia)	30-45	40-45
Custos	Implantação (R\$/hab)	100-160	90-120
	Operação (R\$/hab.ano)	10-20	10-20

Fonte: Von Sperling (2005)

1 US\$ = R\$ 2,70 (2º semestre de 2004)

Área total da ETE

- O comprimento e a largura do reator devem permitir uma distribuição homogênea dos aeradores na superfície do tanque;
- Os tanques devem ser preferencialmente retangulares;

- A profundidade útil do reator encontra-se dentro da seguinte faixa: 3,0 a 4,5m (aeração mecânica) e 4,5 a 6,0m (ar difuso);
- A profundidade do reator deve ser estabelecida em conformidade com o aerador a ser adotado (consultar catálogo do fabricante);
- A borda livre do tanque deve ser em torno de 0,5m;
- As dimensões em planta devem ser estabelecidas em função do regime hidráulico selecionado e devem ser compatíveis com as áreas de influência dos aeradores;
- Caso a estação tenha vazão máxima superior a 250 L/s, deve-se ter mais de um reator;
- Usualmente, os tanques são de concreto armado com paredes verticais, mas, sempre que possível, deve-se analisar a alternativa de tanques taludados (paredes mais delgadas ou argamassa armada);
- Caso haja mais de uma unidade, podem-se utilizar paredes comuns entre elas;
- Os aeradores mecânicos de baixa rotação devem ser apoiados em passarelas e pilares (dimensionados para resistir à torção). Os aeradores mecânicos de alta rotação são ancorados nas margens;
- Os aeradores mecânicos podem ter a capacidade de oxigenação controlada por meio de variação da submersão dos aeradores (variação do nível do vertedor de saída ou do eixo do aerador), da velocidade dos aeradores, ou por liga-desliga dos aeradores;
- A aeração por ar difuso pode ter a capacidade de oxigenação controlada por meio de ajuste das válvulas de saída dos sopradores ou das válvulas de entrada nos reatores;
- A entrada do afluente submersa evita o desprendimento do gás sulfídrico presente no efluente do reator anaeróbio;
- A saída do tanque é por vertedores colocados na extremidade oposta à da entrada;
- Caso haja mais de uma unidade, os arranjos de entrada e saída devem permitir o isolamento de uma unidade para eventual manutenção;

- Devem-se dar condições de quebra da espuma eventualmente formada, por meio de mangueiras ou aspersores, e de seu encaminhamento para caixas de espuma ou para os decantadores secundários;
- Deve-se prever a possibilidade de drenagem do tanque para eventual esvaziamento, por meio de bombas submersíveis (mais simples e confiáveis) ou por descargas de fundo;
- No caso de interferência com o NA do lençol freático, deve-se possibilitar algum meio de alívio da subpressão, quando o tanque estiver vazio.

Para o projeto de decantadores secundários, as principais informações e critérios de projeto já foram abordados no Capítulo 2.

Capítulo 5

TRATAMENTO ANAERÓBIO

1 – INTRODUÇÃO

O tratamento anaeróbio de esgoto vem sendo utilizado há muito tempo na forma de fossas sépticas ou de lagoas de estabilização. Além disso, registra-se o emprego de digestores anaeróbios de lodo, principalmente tratando excesso de lodos ativados. Todos os supracitados reatores eram desprovidos de mecanismo de retenção de biomassa, o que significa que eram necessários grandes volumes para se obter boa eficiência.

Para solucionar tal problema, surgiu o chamado reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket* – UASB), que previa além de um dispositivo de retenção de biomassa, realizada na zona de sedimentação do reator, a coleta e queima do biogás produzido. Tal configuração não somente permite que se mantenha uma alta concentração de lodo no reator, como também que se desmembre a dependência do tempo de retenção celular (idade do lodo) do tempo de detenção hidráulica (TDH). Essa relação de dependência é encontrada nos sistemas de lodos ativados, por exemplo. Com isso, consegue-se ter uma alta idade de lodo com o reator operando com um reduzido TDH.

Atualmente, sabe-se que o reator UASB é capaz de promover redução de DBO de cerca de 65%, com TDH da ordem de 6 horas para esgotos sanitários. O reator UASB vem sendo bastante utilizado no Brasil e em outros países, como pré-tratamento e digestor de lodo de outros processos biológicos e até físico-químicos. As principais vantagens e desvantagens dos sistemas anaeróbios são apresentadas no Quadro 19.

Existem variantes do tratamento anaeróbio cuja escolha dependerá de vários fatores, como tipo de esgoto, características físicas, químicas e biológicas do esgoto, custo, experiência do projetista etc. O Quadro 20 detalha os diversos tipos de processos anaeróbios, além de apresentar as maiores apli-

Vantagens	Desvantagens
Baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios, além de que o lodo já se encontra estabilizado	Os microrganismos anaeróbios, pelo seu baixo crescimento, são mais susceptíveis a problemas de toxicidade
Baixo consumo de energia e impacto positivo nos custos operacionais da estação	A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semeadura adaptado
Baixa demanda de área	Alguma forma de pós-tratamento é usualmente requerida
Baixos custos de implantação, da ordem de R\$ 20 a 40 <i>per capita</i>	A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas
Produção de metano, um gás combustível de elevado poder calorífico	Possibilidade de geração de maus odores quando mal projetados e operados
Tolerância a elevadas cargas orgânicas	Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável
Aplicabilidade em pequena e grande escala	Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória
Baixo consumo de nutrientes	

Quadro 19 – Principais Vantagens e Desvantagens dos Sistemas Anaeróbios

Fonte: Adaptado de Van Haandel e Lettinga (1994); Lettinga, Hulshoff Pol e Zeeman (1995).

cações do tratamento anaeróbio tanto com esgotos de origem doméstica como de origem industrial.

Uma visualização mais clara de algumas das vantagens da digestão anaeróbia em relação ao tratamento aeróbio, notadamente no que se refere à produção de gás metano e à baixíssima produção de sólidos, pode ser visualizada na Figura 15. Nos sistemas aeróbios, ocorrem somente cerca de 40 a 50% de degradação biológica, com a conseqüente conversão em CO₂. Verifica-se uma enorme incorporação de matéria orgânica, como biomassa microbiana (cerca de 50 a 60%), que vem a se constituir no lodo excedente do sistema, o qual ainda necessita de estabilização. O material orgânico não convertido em gás carbônico, ou em biomassa, deixa o reator como material não-degradado (5 a 10%).

Nos sistemas anaeróbios, verifica-se que a maior parte do material orgânico biodegradável presente no despejo é convertida em biogás (cerca

Sistemas de baixa taxa	Digestores de lodo Tanques sépticos Lagoas anaeróbias	
Sistemas de alta taxa	Com crescimento aderido	Reatores de leito fixo Reatores de leito rotatório Reatores de leito expandido/fluidificado
	Com crescimento disperso	Reatores de dois estágios Reatores de chicanas Reatores de manta de lodo Reatores de leito granular expandido Reatores com circulação interna
Tipos de esgotos tratados por processos anaeróbio		
Destilaria de álcool	Chorume	
Cervejarias	Indústria farmacêutica	
Indústrias químicas	Indústria de papel	
Indústrias de laticínios	Frigoríficos	
Esgoto doméstico	Bebidas	
Processamento de pescados e comidas marinhas	Processamento de açúcar	

Quadro 20 – Processos Anaeróbios de Tratamento de Esgotos e Principais Aplicações

Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997)

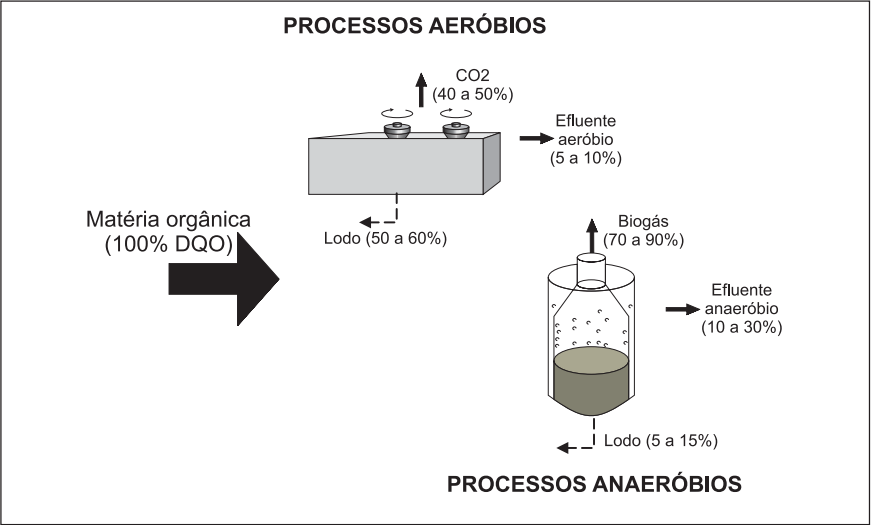


Figura 15 – Fluxo do Carbono em Processos Aeróbios e Anaeróbios

Fonte: Elaboração do autor

de 70 a 90%), que é removido da fase líquida e deixa o reator na forma gasosa. Apenas uma pequena parcela do material orgânico é convertida em biomassa microbiana (cerca de 5 a 15%), vindo a se constituir no lodo excedente do sistema, o qual se encontra estabilizado. Além da pequena quantidade produzida, o lodo excedente apresenta-se, por via de regra, mais concentrado e com melhores características de desidratação. O material não convertido em biogás, ou em biomassa, deixa o reator como material não degradado (10 a 30%).

Para o balanço de massa de DQO tem-se que:

DQO total	DQO_{CH_4} (parcela de DQO convertida em gás metano)
	DQO_{cel} (parcela de DQO utilizada para crescimento celular)
	DQO_{ret} (parcela de DQO não convertida, mantida no lodo do reator)
	DQO_{efl} (parcela de DQO não convertida, perdida no efluente)

Um dos parâmetros que mais têm merecido a atenção dos órgãos de controle ambiental é a DBO, cujos valores efluentes para alguns processos anaeróbios, são mostrados na Tabela 4:

Tabela 4 – Valores Comuns de DBO do Efluente e de Remoção em Sistemas Anaeróbios

Sistema anaeróbio	DBO do efluente (mg/L)	Eficiência de remoção de DBO (%)
Lagoa anaeróbia	70-160	40-70
Reator UASB	60-120	55-75
Fossa séptica	80-150	35-60
Tanque Imhoff	80-150	35-60
Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio	40-60	75-85

Fonte: Chernicharo (2001)

O reator UASB é composto de várias partes, como sistema de distribuição do afluente (para evitar curtos-circuitos hidráulicos), separador de fases (sólida, líquida e gasosa), defletores, coletor de gás e coletor do efluente, ilustrados na Figura 16. Uma ETE composta por reatores UASB de formato retangular, tratando efluentes de uma indústria de papel, é mostrada na Foto 16.

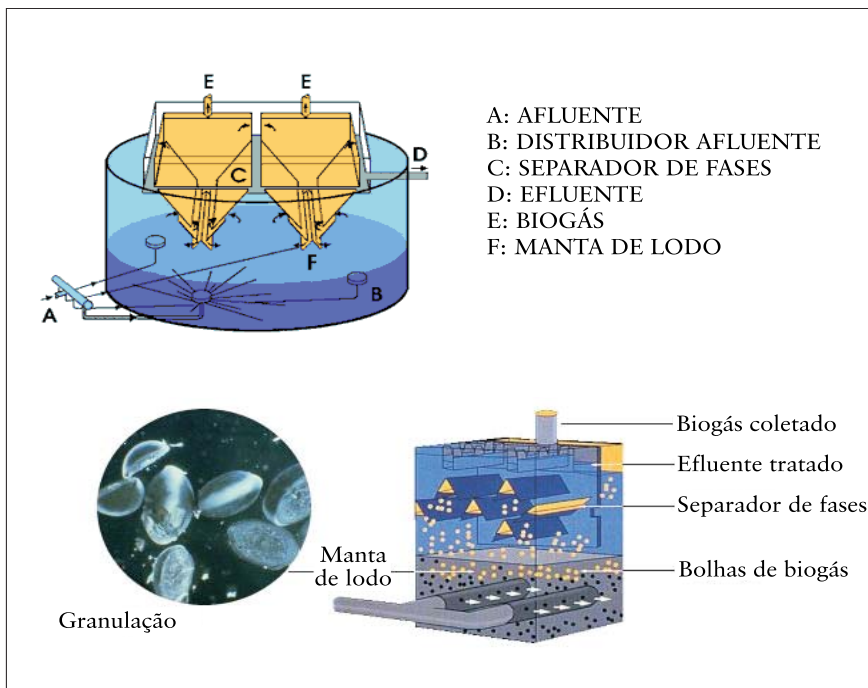


Figura 16 – Partes Integrantes de um Reator UASB

Fonte: LeAF



Foto 16 – Reator UASB e Sistema de Queima do Biogás

Fonte: LeAF

2 – TRATAMENTO AERÓBIO *VERSUS* TRATAMENTO ANAERÓBIO

Os reatores anaeróbios para o tratamento de esgotos possuem boa possibilidade de uso no Brasil, que apresenta temperatura elevada ou moderada em grande parte de seu território, durante quase todos os meses do ano. Mesmo na região Sul, mais fria, são encontradas várias estações com processos anaeróbios. Quanto maior a temperatura ambiente, maiores são as taxas de decomposição de matéria orgânica. Para países frios, cujas temperaturas são muito baixas em boa parte do ano, há a necessidade do aquecimento dos reatores. O aquecimento, mesmo recorrendo-se ao próprio metano resultante da digestão anaeróbia, não é simples de se viabilizar, pela necessidade de implantação de uma usina para a purificação do metano.

Os custos de implantação dos reatores anaeróbios podem ser considerados baixos, mas é nos custos de operação que reside a principal vantagem devido à não-necessidade de aeração. A produção de lodo é mais baixa do que a das que decorrem de processos aeróbios, como lodos ativados ou filtros biológicos. A produção de gás pode ser considerada um benefício, pela possibilidade de purificação e emprego do metano como fonte de energia, mas isto não se viabiliza facilmente. Ao contrário, o gás resultante do processo anaeróbio constitui uma das principais limitações operacionais, devido à produção de gás sulfídrico, H_2S , que, mesmo em pequenas concentrações, pode produzir grandes incômodos pela proliferação de mau odor. Além disso, o gás sulfídrico provoca corrosão das instalações.

A eficiência na remoção da DBO dos esgotos é mais baixa do que a dos processos aeróbios, demandando tratamento complementar, sendo a nitrificação e remoção de patogênicos praticamente nulos. As associações com processos aeróbios como pós-tratamento são vantajosas, podendo-se empregar lagoas de estabilização, lodos ativados, filtros biológicos etc.

3 – MICROBIOLOGIA E BIOQUÍMICA BÁSICA DO TRATAMENTO ANAERÓBIO

A matéria orgânica é inicialmente hidrolisada (Figura 17), ou seja, as enzimas produzidas pelas bactérias fermentativas hidrolisam moléculas complexas como as proteínas, carboidratos e gorduras para os seus correspondentes monômeros,

os quais são os aminoácidos, açúcares e ácidos graxos voláteis de cadeia longa, respectivamente. Em seguida esses monômeros são fermentados em compostos orgânicos reduzidos, como ácidos graxos voláteis de cadeia curta, álcool e lactato em uma etapa chamada de acidogênese. Subseqüentemente, esses ácidos podem ser convertidos tanto em H_2/CO_2 pelos microrganismos formadores de hidrogênio, quanto em acetato (acetogênese) pelos microrganismos formadores de acetato. O acetato também pode ser formado pela rota

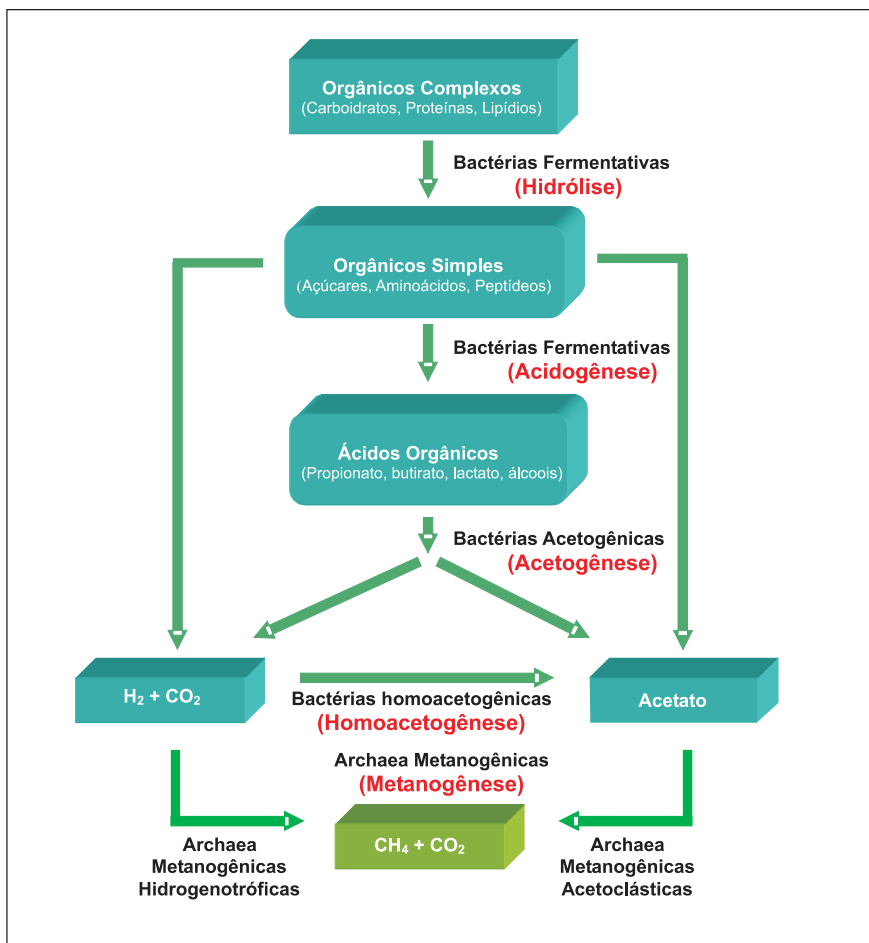


Figura 17 – Conversão da Matéria Orgânica em Reatores Anaeróbios Metanogênicos

Fonte: Adaptado de Van Haandel e Lettinga (1994)

do H_2/CO_2 em uma etapa chamada de homoacetogênese. Finalmente, o produto final metano/ CO_2 pode ser formado na etapa da metanogênese. As archaea metanogênicas são somente capazes de utilizar substratos como H_2/CO_2 , acetato, formiato e compostos metilados para produzir metano. Tem-se que cerca de 70% do metano são formados pela rota do acetato e 30% pela rota do H_2/CO_2 .

4 – CONDIÇÕES AMBIENTAIS E CONTROLE DOS REATORES

Uma condição ambiental de grande importância no tratamento anaeróbico de esgotos é a temperatura, sendo a faixa mesófila (temperatura ótima em torno de 35°C) a mais comumente utilizada. A faixa termófila (temperatura ótima em torno de 60°C), também é utilizada para efluentes industriais, principalmente aqueles que já se encontram em temperaturas elevadas. Além da faixa de temperatura em que ocorre o processo anaeróbico, também as variações bruscas de temperatura podem afetar negativamente o processo, devido à sensibilidade dos microrganismos anaeróbios (principalmente das archaea metanogênicas).

O pH no interior do reator é uma condição ambiental de extrema relevância. A faixa ótima de pH para o processo anaeróbico situa-se entre 6,6 e 7,6; idealmente entre 7,0 e 7,2. Isto não significa que não seja possível o tratamento anaeróbico de efluentes industriais fora da faixa neutra; entretanto, devem-se conduzir estudos em escala-piloto que garantam tal aplicação. É bastante provável que, no mínimo, o tratamento seja menos estável pela menor diversificação de grupos de microrganismos que se adaptam a tal condição desfavorável.

A condição de pH, além de influir decisivamente no funcionamento do processo, representa importante indicador do desequilíbrio. Por exemplo, quando o pH do reator cai bruscamente, significa dizer que os ácidos formados não estão sendo neutralizados pela ausência de alcalinidade no meio, ou não transformados em metano, indicando algum tipo de problema com as archaea metanogênicas, principalmente as acetoclásticas. Isso é mais conhecido como azedamento do reator, podendo levar o processo ao colapso.

A presença dos principais macronutrientes (nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio etc.) nos despejos deve ser garantida para o equilíbrio do processo anaeróbio. Costuma-se indicar a relação mínima DQO/N/P de 350/7/1, embora esse valor possa ser alterado em função das características dos despejos que influenciam na configuração do sistema biológico. Alguns autores consideram que o enxofre é necessário em quantidades tão grandes quanto o fósforo. Entretanto, se o enxofre estiver na forma de sulfato, este se reduz a sulfeto por via de redução de sulfato, que pode ser tóxico para as archaea metanogênicas, além de causar problemas de odores.

Além dos macronutrientes, são necessários micronutrientes (elementos traços) para a eficiência do processos, já que são essenciais a várias enzimas. São exemplos de elementos traços: níquel, cobalto, molibdênio, ferro, selênio etc. Entretanto, concentrações elevadas desses compostos podem inibir o processo.

5 – CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

No tratamento de esgotos sanitários, os reatores UASB são normalmente empregados a jusante apenas do tratamento preliminar, o que os torna desprotegidos das variações de vazão de esgotos, uma vez que os TDH utilizados são relativamente pequenos. Desta forma, costuma recomendar-se que o reator apresente condições de atender uma situação um pouco mais desfavorável, isto é, vazão máxima diária de esgotos. Quando precedido de um tanque de equalização, o que acontece em algumas das aplicações industriais, o reator pode ser dimensionado para a vazão média.

Tempo de detenção hidráulica (TDH) no reator. De acordo com os estudos recentes, TDH da ordem de apenas 6 horas, com base na vazão máxima diária de esgotos, são suficientes para garantir uma eficiência média na remoção de DBO dos esgotos em torno de 65%. Alguns autores sugerem a adoção de tempo de detenção hidráulica de 8 horas, com base na vazão média de esgotos sanitários.

Taxa de aplicação de substrato. Como os esgotos sanitários são relativamente diluídos, os reatores UASB têm o seu limite de capacidade definido pela taxa de aplicação hidráulica, que resulta em determinada velocidade que poderá ou não ser suficiente para provocar o arraste de parte

da manta de lodo, descontrolando o processo. No tratamento de efluentes industriais mais concentrados, os reatores UASB são limitados pela aplicação de matéria orgânica, em geral na faixa de 5 a 10kg DQO/m³.dia, embora tenham sido registradas taxas de até 20kg DQO/m³.dia, com bons resultados no tratamento.

Velocidade ascensional na zona da manta de lodo. A manutenção de determinada faixa de velocidade ascensional dos esgotos ao longo do corpo do reator é importante para garantir grau adequado de expansão da manta de lodo, sem que haja arraste excessivo para a zona de sedimentação. Recomenda-se a faixa de 0,7 a 1,0m/h para reatores UASB tratando esgoto sanitário.

Velocidade de passagem na zona de sedimentação. Lodos bem granulados resistem ao arraste com velocidades de passagem de até 10m/h. Mas, como ocorrem situações em que o lodo não granula, apenas flocula, e mesmo assim o reator mantém boa eficiência na remoção de DQO, recomenda-se limitar a velocidade ascensional em 4m/h.

Distribuição do esgoto à entrada (fundo) do reator. Fundamental para garantir um funcionamento integral da zona de manto de lodo, sem escoamentos preferenciais ou curtos-circuitos que venham a interferir no TDH e contato dos esgotos com o lodo ativo (Fotos 17 e 18). Recomenda-se uma área de influência de 2-3m², ou seja, divide-se a área do reator pela área de influência para se determinar o número de dispositivos de distribuição do afluente. As extremidades dos tubos de alimentação deverão distar cerca de 30cm do fundo do reator.

Taxa de escoamento superficial na zona de sedimentação. A parte superior do reator UASB, externa ao “chapéu” coletor de gás (Figura 17), funciona como decantador, permitindo a recuperação de grânulos escapados da zona de manta de lodo. Recomendam-se taxas de escoamento superficial inferiores a 1,25m³/m².dia para a garantia de retenção do lodo no reator. A inclinação das abas do chapéu (ângulo com a horizontal) deverá ser superior a 55°.

Produção de lodo nos reatores UASB. Pode ser esperada uma produção de lodo de 0,1-0,2 kgSST/kg DQO_{aplicada}.



Foto 17 – Sistema de Distribuição do Afluente em um Reator Circular

Fonte: UFMS



Foto 18 – Saída do Afluente

Fonte: USP

Produção e aproveitamento do biogás. Pode ser esperada uma produção de $0,12\text{Nm}^3$ gás/kgDQO_{aplicada}. O biogás possui cerca de 70 a 80% de metano, juntamente com outros gases, conforme mostrados na Tabela 5.

Não há dúvidas de que os gases gerados em reatores anaeróbios devem ser considerados como emissão poluidora. Assim, restam três alternativas para evitar tal problema ambiental: tratamento (queima, Foto 19), combustão ou reúso controlado. Em relação ao reúso do biogás (sempre que comprovado adequado sob os aspectos técnico, econômico e ambiental), pode-se pensar nas seguintes alternativas:

Tabela 5 – Composição Típica do Biogás produzido no Reator UASB Tratando Esgoto Sanitário

Gás	%
Metano, CH ₄	70-80
Dióxido de carbono, CO ₂	15-25
Monóxido de carbono, CO	0-0,3
Nitrogênio, N ₂	1-5
Hidrogênio, H ₂	0-3
Gás sulfídrico, H ₂ S	0,1-0,5
Oxigênio, O ₂	Traços

Fonte: Campos (1999)

- Uso em motores de combustão interna;
- Uso direto do biogás;
- Distribuição em rede, após tratamentos adequados;
- Alimentação de caldeiras;
- Geração de energia elétrica. Geralmente a eficiência de geradores alimentados com biogás tratado varia na faixa de 15 a 30%, envolvendo aspectos positivos que devem ser avaliados criteriosamente caso a caso.



**Foto 19 – Vista de um Queimador de Biogás
Coletado no Reator UASB**

Fonte: Adaptado de Campos (1999)

O poder calorífico do biogás tratado é da ordem de 0,60 do que é possível com gás natural, demonstrando assim potencialidade de uso controlado. Seu poder calorífico é muito variável, porém em torno de 5,9 kWh/m³, quando seco e previamente tratado. Contudo, deve-se levar em conta sua agressividade, em termos de corrosão, o que exige especial cuidado na concepção de sistemas de aproveitamento e na vida útil dos equipamentos utilizados.

Os principais parâmetros de projeto de reatores UASB são sumarizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Principais Parâmetros de Projeto de Reatores UASB

Critério/parâmetro	Faixa de valores, em função da vazão	
	Para Q _{med}	Para Q _{max}
Carga hidráulica volumétrica (m³/m³.dia)	< 4,0	< 6,0
Tempo de detenção hidráulica (h)	6-9	4-6
Velocidade superficial do fluxo (m/h)	0,5-0,7	0,9-1,1
Velocidade nas aberturas para o decantador (m/h)	2,0-2,3	< 4,0-4,2
Taxas de aplicação superficial no decantador (m/h)	0,6-0,8	< 1,2
Tempo de detenção hidráulica no decantador (h)	1,5-2,0	> 1,0
Distribuição do afluente		
Diâmetro do tubo de distribuição do afluente (mm)	75-100	
Diâmetro do bocal de saída do tubo de distribuição (mm)	40-50	
Área de influência de cada tubo de distribuição (m²)	2,0-3,0	
Coleta de biogás		
Taxa mínima de liberação de biogás (m³/m².h)	1,0	
Taxa máxima de liberação de biogás (m³/m².h)	3,0-5,0	
Concentração de metano no biogás (%)	70-80	
Compartimento de decantação		
Inclinação das paredes do decantador (graus)	> 45	
Profundidade do compartimento de decantação (m)	1,5-2,0	
Coleta do efluente		
Submergência do retentor de espuma ou do tubo de coleta do efluente (m)	0,20-0,30	
Número de vertedores triangulares (unidades/m² reator)	1-2	
Produção e amostragem do lodo		
Coeficiente de produção de sólidos (kgSST/kgDQOapl)	0,10-0,20	
Coeficiente de produção de sólidos em termos de DQO (kgDQOlodo/kgDQOapl)	0,11-0,23	
Concentrações esperadas do lodo de descarte (%)	2-5	
Densidade do lodo (kgSST/m³)	1020-1040	
Diâmetro das tubulações de descarte de lodo (mm)	100-150	
Diâmetro das tubulações de amostragem de lodo (mm)	25-50	

Fonte: Chernicharo (1997)

Nota: Para temperatura do esgoto na faixa de 20 a 26°C

6 – CRITÉRIOS PARA A PARTIDA E OPERAÇÃO DE REATORES ANAERÓBIOS

Lodo de inóculo. Havendo possibilidade de obtenção de lodo de inóculo (para compor a manta de lodo do reator), a partida do reator ocorrerá mais rapidamente. É preferível lodo granulado proveniente de outro reator UASB tratando efluente semelhante. Quanto maior a quantidade de inóculo, mais

rápida será a partida do reator. Porém, há que se considerarem os custos com o transporte de lodo.

Caracterização dos efluentes. Os efluentes deverão ser caracterizados, principalmente, em termos de vazão e concentrações de DQO, Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK), Fósforo Total, pH, alcalinidade e temperatura. Estas características deverão ser corrigidas, caso seja necessário. A presença de substâncias potencialmente inibidoras ao tratamento deverá ser previamente investigada.

Controle analítico do reator. Deverá ser empreendido um controle analítico sobre os esgotos à entrada e à saída do reator, com a amostragem do lodo em diferentes profundidades. A verificação do pH e temperatura deve ser feita pelo menos uma vez por dia, enquanto as demais características devem ser analisadas pelo menos uma a duas vezes por semana. Do lodo, é importante o controle da concentração de sólidos em suspensão voláteis ao longo da profundidade da zona de manto, o qual será usado na determinação da idade do lodo.

7 – MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Considerando que a degradação anaeróbia de determinados compostos pode levar à formação de subprodutos altamente agressivos, aliados às próprias características dos esgotos, os materiais utilizados na construção de reatores anaeróbios devem preencher também o requisito básico de resistir à corrosão. A resistência à corrosão pode ser intrínseca ao próprio material (Ex.: PVC, fibra de vidro) ou pode ser-lhe conferida através de aditivos e revestimentos especiais (Ex.: concreto, aço). Por questões construtivas e de custo, o concreto e o aço têm sido os materiais mais empregados, sendo normalmente feita uma proteção interna à base de epóxi. No caso do emprego do aço como material de construção dos reatores, os cuidados para se evitar a corrosão devem ser ainda maiores, incluindo a utilização de aços especiais (como o SAC 41) e o controle rigoroso dos revestimentos empregados.

O separador de gás e sólidos, situado na parte superior do reator e, portanto, mais exposto ao processo de corrosão, deve ser confeccionado em material mais resistente ou revestido com maior rigor. O concreto tem sido o material mais utilizado, mas as experiências nem sempre são satisfatórias, devido a problemas de vazamento de gases, corrosão, além de se constituir em

uma estrutura pesada e volumosa. Materiais não-corrosivos e menos volumosos, como o PVC, plástico, fibra de vidro e cimento amianto, são opções mais atrativas.

8 – CUSTOS DE REATORES ANAERÓBIOS

Os custos de construção de reatores UASB têm sido na faixa de 30 a 50 reais *per capita*, excluindo o valor de aquisição do terreno. Com relação aos custos de operação e manutenção de reatores UASB, os valores reportados são na faixa de 2,5 a 3,5 reais *per capita*.

9 – CORREÇÃO DE EVENTUAIS PROBLEMAS DURANTE A OPERAÇÃO DE REATORES UASB

Continua

Problemas	Sintomas	Comentário
Aumento da carga orgânica volumétrica (kg DQO / m ³ .dia)	✓ Formação de maus odores ✓ Queda temporária da eficiência do reator, pelo acúmulo de AGV ✓ Queda do pH caso a alcalinidade não seja suficiente	Se possível, diminuir a carga.
Aumento da carga orgânica volumétrica (kgDQO/ m ³ .dia)	Queda temporária da eficiência do reator Aumento dos sólidos em suspensão efluente Diminuição do TDH com risco de varrimento das metanogênicas	Se possível, diminuir a vazão afluente à unidade com problemas.
Presença de substâncias tóxicas	Formação de maus odores Queda da eficiência do reator Diminuição da produção de biogás	Eliminar as fontes de contaminação

Quadro 21 – Eventuais Problemas Durante a Operação de Reatores UASB

Problemas	Sintomas	Comentário
Diminuição da temperatura	Queda temporária da eficiência do reator, podendo inclusive comprometer a digestão anaeróbia	Caso o reator não seja coberto, avaliar a possibilidade de cobri-lo
Elevadas concentrações de sulfato no esgoto	Formação de maus odores	Localizar fonte de poluição
Baixa eficiência do tratamento preliminar	Elevada concentração de areia na manta de lodo	Implantar um dispositivo mais eficiente de remoção de areia ou esvaziar os desarenadores com mais frequência
Queda de pH no reator	Acúmulo de AGV e possível azedamento do reator	Dosar agente alcalinizante
Dosagem elevada de cal hidratada	Excesso de sólidos inertes na manta de lodo	Dosar com cautela para não prejudicar a qualidade do lodo

Quadro 21 – Eventuais Problemas Durante a Operação de Reatores UASB

Fonte: Elaboração do autor

Capítulo 6

PÓS-TRATAMENTO DE REATORES ANAERÓBIOS

1 – INTRODUÇÃO

São presentemente aceitas no meio técnico-científico as inúmeras vantagens do tratamento anaeróbio como pré-tratamento de esgotos sanitários. Entretanto, tais sistemas sempre requerem um tratamento complementar (pós-tratamento) para atender aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira. Apesar da boa remoção de matéria orgânica alcançada, outros poluentes são pouco afetados no tratamento anaeróbio, como nutrientes (N e P) e patógenos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos), conforme mostrado na Figura 18.

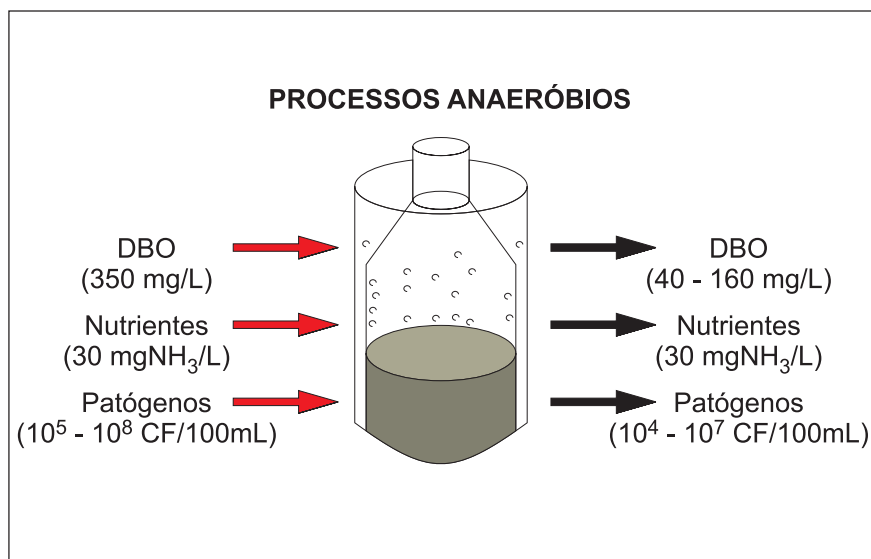


Figura 18 – Principais Aspectos Positivos e Negativos do Tratamento Anaeróbio

Fonte: Elaboração do autor

Atualmente, é vasta a quantidade de informação acerca de pós-tratamentos de efluentes de reatores anaeróbios tratando esgotos sanitários, sendo, no presente capítulo, abordados tipos mais frequentemente utilizados no Brasil, como as lagoas de polimento, biofiltros e lodos ativados.

2 – REATORES ANAERÓBIOS SEGUIDOS POR LAGOAS DE POLIMENTO

O pós-tratamento de efluentes anaeróbios em lagoas de polimento (lagoa de estabilização) vem sendo amplamente utilizado, principalmente, no Nordeste do Brasil. Ele tem como principal vantagem a excelente remoção de patógenos e o baixo custo de implantação e operação. Na Tabela 7, observa-se a composição típica de esgoto bruto, do esgoto digerido num reator UASB, do efluente de uma lagoa de polimento.

Tabela 7 – Composição Típica do Esgoto Sanitário Bruto, Efluente do Reator UASB e Efluente da Lagoa de Polimento

Parâmetro	Unidade	Esgoto		
		Bruto	Efluente do reator UASB	Efluente da lagoa de polimento
DQO	mg/L	500-800	150-200	60-120
DBO ₅	mg/L	200-350	50-100	30-50
SST	mg/L	300-400	60-120	40-80
NTK	mg N/L	35-50	30-45	10-40
P	mg P/L	6-10	6-10	5-8
Coliformes fecais	CF/100mL	10 ⁷ -10 ⁹	10 ⁶ -10 ⁸	10 ² -10 ⁴
Ovos de helmintos	Nº/L	10-200	5-50	~0
pH		7,0-8,0	6,8-7,2	7,5-9,0
Sólidos sedimentáveis	mL/L	10-20	1-2	~0,1

Fonte: Cavalcanti *et al.* (2001)

Normalmente, os efluentes anaeróbios apresentam baixas concentrações de material orgânico e sólidos em suspensão, motivo pelo qual se pode projetar uma lagoa de polimento com um TDH muito mais reduzido. Portanto, o fator limitante que determinará o TDH mínimo será a re-

moção de patógenos e não a estabilização da matéria orgânica. A lagoa a jusante do reator anaeróbico é chamada de lagoa de polimento (LP). As Figuras 19 e 20 apresentam os fluxogramas destas duas principais variantes: sistemas convencionais de lagoas compostos por lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoas de maturação (sistema australiano) e sistemas compostos por lagoa facultativa + lagoas de maturação; sistemas recentes, compostos por reatores UASB + lagoas de polimento.

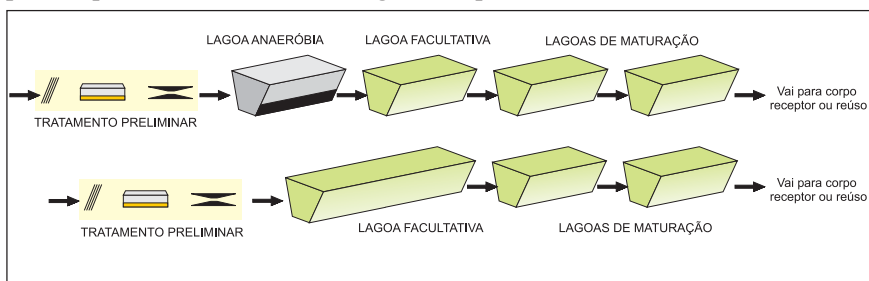


Figura 19 – Fluxograma de Sistemas Convencionais de Lagoas de Estabilização

Fonte: Elaboração do autor

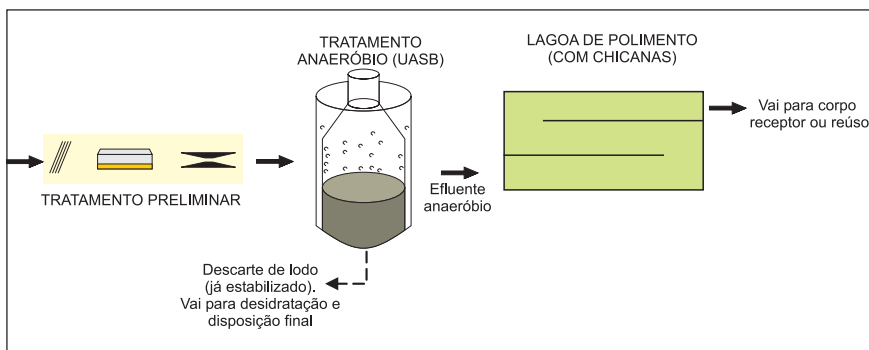


Figura 20 – Fluxograma de Sistemas Recentes Compostos por Reatores UASB Seguidos de Lagoas de Polimento

Fonte: Elaboração do autor

Na descrição da configuração de lagoas de polimento, é oportuna uma comparação com sistemas convencionais de lagoas de estabilização. Por esta razão, apresentam-se no Quadro 22 as principais diferenças entre lagoas de estabilização e lagoas de polimento.

Parâmetro	Lagoa de estabilização	Lagoa de polimento
Afluentes	Esgoto bruto	Esgoto proveniente de reator anaeróbio
Principal objetivo	Remoção da matéria orgânica e sólidos em suspensão	Remoção de patógenos e/ou nutrientes
Configuração	Lagoas em série (LA+LF+LM...)	Lagoa unitária, em série ou em paralelo (LP)
Área necessária	Muito grande (cerca de 3m ² /hab)	Considerável (cerca de 1 a 2 m ² /hab)
Lodo no fundo	Acumulação rápida (250 mg/L)	Acumulação lenta (70 mg/L)
Regime de escoamento desejável	Mistura completa	Pistão
Odor	Maus e ocasionalmente terríveis	Sem problemas
Remoção de nutrientes	Baixa	Remoção elevada de NH ₃ e PO ₄ sob condições favoráveis
Área de aplicação	Longe de regiões urbanas	Proximidade da população não é problema

Quadro 22 – Diferenças Básicas entre Lagoas de Estabilização e Lagoas de Polimento

Fonte: Adaptada de Cavalcanti *et al.* (2001)

O aspecto de maior importância da presença de um reator anaeróbio antes da lagoa de polimento é a substituição da lagoa anaeróbia (LA). Estas exalam freqüentemente um odor muito desagradável, devido à geração de sulfeto, e ausência de um dispositivo apropriado de coleta de gás. Já no reator anaeróbio, pelo fato de este ser coberto, o gás é captado, podendo ser queimado, aproveitado ou tratado, impedindo assim a liberação de maus odores.

Um outro aspecto importante é a disponibilidade de área, que pode ser o limitante do processo em áreas urbanas. Os sistemas de lagoas de estabilização convencionais requeiram maiores áreas, cerca de duas vezes mais do que na concepção de reatores anaeróbios seguidos de lagoas de polimento.

Um fator indesejável nas lagoas convencionais é a acumulação relativamente rápida de lodo no fundo da lagoa. Este lodo deve ser removido periodicamente, numa operação complicada e cara (dragagem). Em

contrapartida, a remoção de lodo no reator UASB é feita com maior frequência, numa operação bem mais simples.

Nas lagoas de polimento, haverá uma maior atividade fotossintetizante e, conseqüentemente, um maior consumo de CO₂, elevando-se o pH. Com isto, o íon amônia (NH₄⁺) tende a se transformar em amônia molecular livre (NH₃), um gás que irá se desprender da fase líquida. Desta maneira, haverá remoção de nitrogênio da massa líquida pela dessorção de amônia e, portanto, dando possibilidade de remover nutrientes mais eficientemente. Em lagoas de estabilização convencionais, a remoção de nutrientes será muito mais difícil, devido a se ter mais material orgânico para se degradar e, conseqüentemente, maior formação de CO₂, o que limita o aumento no valor de pH em níveis de possibilitar o desprendimento da amônia.

É importante salientar que nem sempre é desejável remover nutrientes, só sendo indicado quando o efluente for lançado em corpos d'água, causando riscos de eutrofização. No caso de se usar o efluente para irrigação, deseja-se o inverso, ou seja, conservar os nutrientes, uma vez que estes poderão substituir os fertilizantes químicos.

A Tabela 8 mostra o balanço de massa de um afluente contendo uma DQO de 600mg/L, o qual foi transformado na lagoa de estabilização em: fração no efluente (20%), fração no lodo de fundo (40%) e fração digerida (40%). Fazendo a mesma análise para um sistema constituído de reator

Tabela 8 – Divisão Típica do Material Orgânico em Sistemas de Lagoas de Estabilização (LE) e Sistemas UASB + LP

Material orgânico	Concentração de DQO (mg/L)	
	Lagoa de estabilização (LE)	Reator UASB + LP
Digerido no pré-tratamento	-	330
No lodo do pré-tratamento	-	60
Digerido na lagoa	240	30
No lodo da lagoa	240	60
No efluente	120	120
Total	600	600

Fonte: Cavalcante *et al.* (2001)

anaeróbio (UASB, por exemplo) seguido de lagoa de polimento (LP), percebe-se que a DQO se reduz cerca de 65 a 80%, de maneira que a DQO lançada na lagoa de polimento representa menos do que 1/3 da DQO do esgoto bruto. Apesar disso, a DQO no efluente final (UASB + LP) é próxima do valor encontrado no sistema de lagoas de estabilização (~ 20% da DQO do esgoto bruto). Por outro lado, a acumulação de lodo no fundo da lagoa de polimento (~ 10% da DQO afluente) é muito menor que numa lagoa de estabilização.

3 – REATORES ANAERÓBIOS SEGUIDOS POR BIOFILTROS

Sistemas de tratamento de efluentes associando reatores anaeróbios do tipo UASB a biofiltros (BFs) já estão sendo operados com sucesso no Brasil. Há a eliminação da decantação primária, substituindo-a por reatores UASB, que removem cerca de 70% da DBO presente no esgoto. O pós-tratamento do efluente anaeróbio é realizado nos biofiltros, objetivando a remoção de matéria orgânica e de sólidos suspensos remanescentes. Um tipo de biofiltro que vem sendo utilizado com sucesso é do tipo biofiltro aerado submerso (BF), o qual será objeto do presente item. Um fluxograma típico de reator UASB seguido por BF é mostrado na Figura 21.

Inúmeras simplificações foram introduzidas nos biofiltros operados no Brasil. Três tipos de britas comerciais (dois, um e zero), de baixo custo e grande disponibilidade no mercado, foram utilizadas na composição do meio suporte nos biofiltros. O sistema de aeração envolve tubos Venturi, através dos quais uma bomba succiona o efluente aeróbio, capta ar nas imediações dos orifícios e injeta água e ar dissolvido na base dos biofiltros. O ar é captado nas imediações dos principais pontos de emissão de compostos odorantes (caixa de areia, elevatória, leito de secagem) e reintroduzido nos BFs, onde ocorre a biodesodorização, com aproximadamente 95% de remoção do H_2S .

Os BFs são interligados na sua parte superior, o que permite a utilização do efluente tratado na operação de lavagem, que é realizada em fluxo descendente sem a injeção de ar. No sistema proposto, o lodo de excesso produzido nos biofiltros é recirculado para o reator UASB, onde ocorre a digestão e adensamento pela via anaeróbia. O excesso de lodo

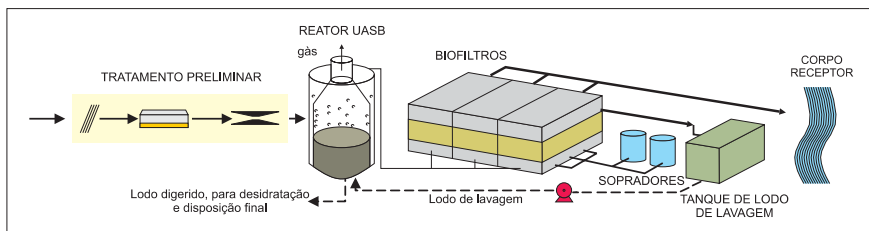


Figura 21 – Fluxogramas de Sistemas de Tratamento por Biofiltro Aerado Submerso

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2005)

produzido no reator UASB, que apresenta elevado grau de estabilização e adensamento, é descartado por gravidade e disposto em leitos de secagem, para desidratação.

Assim, o reator UASB é a única fonte de emissão de lodo. O lodo desidratado pode ainda ser reutilizado, após passar por etapas de estabilização e higienização com cal. Após a higienização, este lodo adquirirá características de um lodo classe “A”, podendo ser utilizado na agricultura sem restrições.

Existem vários critérios importantes no projeto de biofiltros aerados submersos, os quais serão descritos adiante:

Sentido de fluxo hidráulico (ar e água). O sentido de fluxo hidráulico (ar e água) determina as principais características operacionais de um BF, influenciando diretamente nos seguintes pontos: retenção de SS, transferência gás – líquido de O_2 , evolução da perda de carga hidráulica, tipo de lavagem, gastos energéticos e a produção de odores. O fluxo de ar nos BFs só é viável no sentido ascendente, devido ao estado de permanente imersão do meio suporte. A corrente descendente de ar só é possível em meios granulares que não sejam submersos (caso dos filtros biológicos percoladores), o que limita as opções para o fluxo hidráulico em BFs a duas possibilidades:

1. Co-corrente: com fluxos de ar e líquido ascendentes;
2. Contracorrente: com fluxo de líquido descendente e ar ascendente.

Material suporte. O meio suporte deve cumprir duas funções: servir de suporte para a fixação dos microrganismos e reter fisicamente os sólidos em suspensão (SS) presentes no esgoto. Quanto menor for a superfície específica disponível para a fixação das colônias de microrganismos, menor será também a capacidade de retenção de SS por filtração. Por outro lado, materiais com elevada superfície específica favorecem a rápida evolução da perda de carga, demandando maior frequência na lavagem do BF. A escolha das características do meio suporte deve, portanto, atender a um compromisso entre a qualidade do efluente tratado e a frequência de lavagem.

A forma dos grãos não influencia diretamente no desempenho dos processos, sendo mais importantes as características de superfície, que facilitam a adesão da biomassa (principalmente a superfície específica e a rugosidade). Os materiais granulares de origem mineral são os mais utilizados no presente. Meios granulares com peso específico variando entre 0,03 e 0,9g/cm³ têm sido utilizados, compostos por materiais tais como poliestireno, polipropileno, poliuretano, PVC e plástico. O preço destes materiais é mais elevado do que os de origem mineral, embora uma parte do custo adicional possa ser compensado por uma menor demanda energética para fluidização durante a lavagem.

Sistema de aeração – Demanda de oxigênio. A maioria dos BFs dispõe de um sistema direto de aeração artificial, composto por sopradores e tubulações para o transporte de ar. Testes com oxigênio puro não produziram resultados marcantes que justificassem a sua utilização com esgoto doméstico.

Lavagem do meio filtrante. A lavagem periódica do meio filtrante é uma etapa obrigatória na operação dos BFs, para controlar a colmatção progressiva do leito pelo crescimento do biofilme (microrganismos e SS retidos). A duração destes ciclos depende da granulometria do material, da carga aplicada, das características do esgoto e da natureza da biomassa fixa. A maioria dos biofiltros é dimensionada para operar durante períodos de tempo de 24 a 48 horas, entre duas lavagens consecutivas. O volume de água de lavagem utilizado em BFs ascendentes varia entre 3 a 8% do volume tratado e de 5 a 10% nos BFs descendentes. O volume de água necessá-

ria à lavagem de um BF pode ser estimado em 3 vezes o volume do leito filtrante. No caso da associação de reatores UASB com BFs, a lavagem pode ser realizada de 3 em 3 dias, utilizando-se menos de 2% do volume de esgoto tratado no período de tempo entre 2 lavagens.

Consumo de energia. O consumo de energia nos BFs é representado pela aeração ($\sim 85\%$), suprimento de ar para lavagem e no bombeamento de água de lavagem.

Os principais critérios e parâmetros utilizados para dimensionamento de ETE associando reatores UASB a BFs encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros de Dimensionamento de ETE do Tipo UASB + BF

Parâmetro	Unidade	UASB	BFs	UASB+ BFs
Carga orgânica volumétrica	g DBO/m ³ .dia	0,85-1,2	3,0-4,0	-
Carga orgânica superficial	g DQO/m ² .dia	15,0-18,0	55-80	-
Eficiência de remoção de DBO	%	65-75	60-75	85-95
Eficiência de remoção de SS	%	65-75	60-75	85-95
Eficiência de remoção de DQO	%	60-70	55-65	80-90
Taxa de aeração	N m ³ /kgDBOrem	-	25-40	-
Produção de lodo	kgST / kgDQOrem	0,15-0,20	0,25-0,40	-
Teor de SV no lodo	% SV/ST	0,50-0,60	0,55-0,80	-
Eficiência de digestão do lodo aeróbio no UASB	%SV	0,15-0,25	-	-

Fonte: Gonçalves *et al.* (2001)

Aspectos Construtivos. Levando-se em consideração as ETE atualmente em operação tratando esgotos sanitários, os BFs são os mais compactos processos de tratamento aeróbio. Podem ser construídos em concreto, fibra de vidro ou aço com revestimento contra corrosão. No caso destes dois últimos materiais, dependendo da capacidade de tratamento, as unidades podem ser pré-fabricadas e transportadas para o local da ETE.

O Quadro 23 apresenta os principais problemas operacionais e as possíveis soluções a serem adotadas para BF com leito granular composto de pedras.

Problemas	Possíveis causas	Possíveis soluções
Elevadas concentrações de sólidos suspensos no efluente	Perda de biofilme / deficiência da lavagem	Lavagens prolongadas do BF, lavar com mais frequência, aumentar cargas hidráulicas de ar e água durante lavagem
	Elevadas concentrações de sólidos suspensos no afluente	Avaliar a possibilidade de remoção de sólidos a montante do reator
	Sobrecarga orgânica ou hidráulica	Localizar e eliminar as fontes de contribuição de matéria orgânica em excesso, ou reduzir cargas mediante diminuição da vazão afluente
Aumento excessivo da perda de carga hidráulica	Lavagem deficiente	Prolongar as lavagens do BF, aumentar a frequência de lavagem, aumentar cargas hidráulicas de ar e água durante lavagem
	Distribuição de ar deficiente	Avaliar funcionamento do sistema dedistribuição de ar (possível entupimento)
	Sobrecarga orgânica	Localizar e eliminar as fontes de contribuição de matéria orgânica em excesso ou reduzir cargas, mediante diminuição da vazão afluente
Baixa eficiência de remoção de matéria orgânica (DBO, DQO, SS)	Sobrecarga hidráulica	Limitar vazões afluentes ao reator ou equalizar vazões em indústrias
	Presença de compostos tóxicos no esgoto	Localizar e eliminar as fontes de emissão de compostos tóxicos
	Baixas temperaturas no esgoto	Avaliar a possibilidade de cobrir o reator

Quadro 23 – Principais Problemas e as Possíveis Soluções a Serem Adotadas por Ocasão da Operação de BF com Leito Granular Composto por Pedras

Fonte: Adaptado de Gonçalves *et al.* (2001)

4 – REATORES ANAERÓBIOS SEGUIDOS POR LODOS ATIVADOS

O sistema de lodos ativados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios tipo UASB parece ser uma alternativa bastante promissora, inclusive já implantada em escala real. Neste caso, o reator anaeróbio substitui o decantador primário presente no sistema de lodos ativado convencional. O lodo aeróbio proveniente do decantador secundário, a jusante do tanque de aeração, o qual ainda não se apresenta estabilizado, é enviado ao reator UASB, onde sofre adensamento e digestão, juntamente com o lodo anaeróbio.

Como esta vazão de retorno do lodo aeróbio excedente é bem baixa, comparada com a vazão afluyente, não há distúrbios operacionais introduzidos no reator UASB. O tratamento do lodo é bastante simplificado, visto que não há necessidade de adensadores e digestores, havendo apenas a etapa de desidratação. O lodo misto retirado do reator anaeróbio, digerido e com concentrações similares às de um lodo efluente de adensadores, possui ainda ótimas características para desidratação.

Como resultado destas simplificações, o sistema composto de reator UASB seguido de lodos ativados possui grandes vantagens comparado à concepção convencional de lodos ativados, destacando-se a redução do custo de implantação e manutenção e a menor produção de lodo (Quadro 24). A Figura 22 apresenta o fluxograma desta configuração no caso de fluxo contínuo.

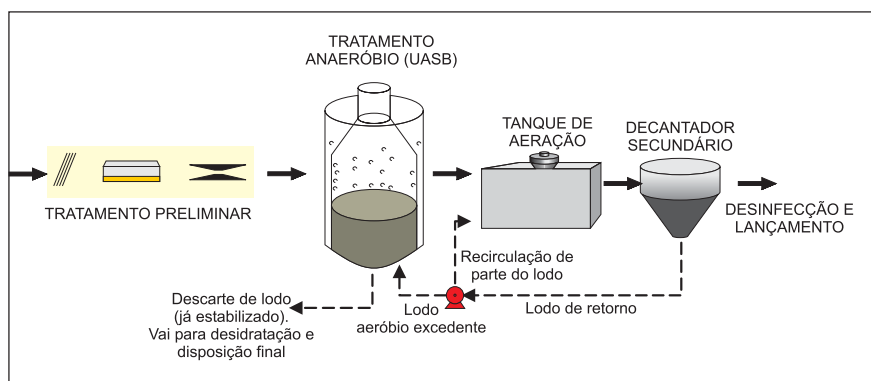


Figura 22 – Sistema Composto por Reator UASB Seguido de Lodos Ativados Convencional

Fonte: Elaboração do autor

No Quadro 24, são comparados os principais parâmetros de projeto entre o sistema UASB, seguido de lodos ativados, com os sistemas de lodos ativados convencional e aeração prolongada. Como pode ser observado, os fatores principais de separação entre as variantes são a idade do lodo, caracterizando as idades do lodo convencional e de aeração prolongada, e a existência ou não de pré-tratamento (ex.: reator UASB).

Uma lista completa de parâmetros de projeto para o sistema UASB seguido de lodos ativados é mostrada na Tabela 9.

Vantagens	Redução da produção de lodo	✓ A massa de lodo produzido e a ser tratado é da ordem de 40 a 50% do total produzido na concepção tradicional do sistema de lodos ativados convencional e 50 a 60% do total produzido na aeração prolongada ✓ A massa a ser encaminhada para disposição final é da ordem de 60 a 70% das concepções tradicionais ✓ A redução no volume de lodo é ainda maior, pelo fato de o lodo anaeróbio misto ser mais concentrado e possuir ótima condição para desidratação
	Redução no consumo de energia	✓ Como aproximadamente 70% da DBO é previamente removida no UASB, o consumo de oxigênio é apenas para a DBO remanescente e para a nitrificação, que, neste caso, é o fator preponderante do consumo (em torno de 2/3 do consumo total)
	Redução no volume total das unidades	✓ O volume total das unidades (reator UASB, reator de lodos ativados, decantador secundário e sistema de desidratação do lodo) é inferior ao volume total das unidades dos lodos ativados convencional (decantador primário, reator de lodos ativados, decantador secundário, adensador de lodo, digestor de lodo e desidratação do lodo)
	Redução no consumo de produtos químicos para desidratação	✓ A redução ocorre em função da menor produção de lodo e das melhores características para desidratação
	Menor número de unidades a serem implementadas	✓ Não há necessidade de decantadores primários, adensadores e digestores, os quais são substituídos pelo reator UASB
	Menor necessidade de equipamentos	✓ O reator UASB não possui equipamentos eletromecânicos, diferentemente dos decantadores primários, adensadores e digestores do sistema de lodos ativados convencional
	Maior simplicidade operacional	✓ Comparado com o sistema de lodos ativados convencional, há menor número de unidades e equipamentos eletromecânicos, resultando em operação mais simples
Desvantagem	Menor capacidade para remoção biológica de nutrientes (N e P)	✓ A remoção de nitrogênio só é possível a partir de uma proporção mínima entre a concentração de material nitrogenado e o material orgânico ✓ Similarmente, também há uma razão mínima P/DQO para a remoção de fósforo ✓ Uma vez que o reator UASB retira grande parte do carbono orgânico e quase não afeta a concentração dos nutrientes, em geral, a concentração de material orgânico no efluente anaeróbio é menor que a mínima necessária à desnitrificação e à desfosfatação
Similaridade entre os processos	Eficiência similar à concepção tradicional de lodos ativados convencional	✓ A eficiência do sistema na remoção dos principais poluentes (com exceção de N e P) é similar à do sistema de lodos ativados convencional

Quadro 24 – Comparação Entre o Sistema UASB + Lodos Ativados com o Tradicional Sistema de Lodos Ativados

Fonte: Adaptado de Von Sperling *et al.* (2001)

Tabela 10 – Principais Características dos Sistemas de Lodos ativados Usados no Tratamento de Esgotos Sanitários

Item geral	Item específico	Modalidade		
		Convencional	Aeração prolongada	UASB-lodos ativados
Idade do lodo	Idade do lodo (dias)	4-10	18-30	6-10
Relação A/M	Relação A/M (kgDBO/kgSSVTA.dia)	0,25-0,50	0,07-0,15	0,25-0,40
Eficiência de remoção	DBO (%)	85-95	93-98	85-95
	DQO (%)	85-90	90-95	83-90
	Sólidos em suspensão (%)	85-95	85-95	85-95
	Amônia (%)	85-95	90-95	75-90
	Nitrogênio (%)	25-30	15-25	15-25
	Fósforo (%)	25-30	10-20	10-20
	Coliformes (%)	60-90	70-95	70-95
Área Requerida	Área (m2/hab)	0,2-0,3	0,25-0,35	0,2-0,3
Volume Total	Volume (m3/hab)	0,10-0,15	0,10-0,15	0,10-0,12
Energia	Potência instalada (W/hab)	2,5-4,5	3,5-5,5	1,8-3,5
	Consumo energético (kWh/hab.ano)	18-26	20-35	14-20
Volume de lodo	A ser tratado (L lodo/hab.dia)	3,5-8,0	3,5-5,5	0,5-1,0
	A ser disposto (L lodo/hab.dia)	0,10-0,25	0,10-0,25	0,05-0,15
Massa de lodo	A ser tratado (g ST/hab.dia)	60-80	40-45	20-30
	A ser disposto (g ST/hab.dia)	30-45	40-45	20-30
Custos	Implantação (R\$/hab)	100-160	90-120	70-110
	Operação (R\$/hab.ano)	10-20	10-20	7-12

Fonte: Von Sperling *et al.* (2001); Von Sperling (2005)

1 US\$ = R\$ 2,70 (2º semestre de 2004)

Área total da ETE

5 – REATORES ANAERÓBIOS SEGUIDOS POR TRATAMENTO FÍSICO-QUÍMICO

Tratamentos físico-químicos com o uso de coagulantes e mesmo auxiliares de coagulação (polieletrólitos), com separação dos flocos por decantação ou flotação com ar dissolvido, são normalmente eficientes na remoção da matéria em suspensão e coloidal do esgoto e na remoção de fósforo. Todavia, a eficiência destes tratamentos em relação à matéria orgânica solúvel é nula. Para esgoto bruto, a eficiência de tais tratamentos não ultrapassa os 60–65%, em relação à DBO e DQO. Ao se utilizar o tratamento biológico anaeróbio a montante de unidades de tratamento físico-químico, tem-se

Tabela 11 – Parâmetros de Projeto Para Sistema de Lodos Ativados Como Pós-Tratamento de Efluentes Provenientes de Reatores Anaeróbios

Continua

Item	Parâmetro	Valor
Tanque de aeração	Idade do lodo (dias)	6-10
	Relação A/M (kgDBO/kgSSVTA.dia)	0,25-0,40
	Tempo de detenção (dias)	3-5
	Concentração de SSVTA (mg/L)	1100-1500
	Concentração de SSTA (mg/L)	1500-2000
Sistema de aeração	Relação SSV/SS no reator	0,75-0,77
	Requisitos médios de O ₂ – demanda carbonácea (kgO ₂ /kgDQO aplicada ao LA)	0,35-0,50
	Requisitos médios de O ₂ – demanda carbonácea (kgO ₂ /kgDBO aplicada ao LA)	0,80-1,10
	Requisitos médios de O ₂ – demanda para nitrificação (kgO ₂ /kgDQO aplicada ao LA)	3,8-4,3
	Requisitos médios de O ₂ – demanda para nitrificação (kgO ₂ /kgDBO aplicada ao LA)	4,6
	Relação consumo máximo O ₂ / consumo médio O ₂	1,2-1,5
	Eficiência de oxigenação padrão (kgO ₂ /kWh)	1,5-2,2
	Fator de correção: consumo O ₂ padrão / consumo O ₂ campo	1,5-1,8
	Produção de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB) (kgSS/kgDQO aplicada ao LA)	0,3-0,4
	Produção de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB) (kgSS/kgDBO aplicada ao LA)	0,55-0,70
Produção de lodo	Produção <i>per capita</i> de lodo aeróbio excedente (retornado ao UASB) (gSS/hab.dia)	8 a 14
	Concentração de SS no lodo retornado ao UASB (mg/L)	3000 a 5000
	Eficiência de remoção de SSV do lodo aeróbio no reator UASB	0,20 a 0,30
	Produção de lodo anaeróbio (kgSS/kgDQO aplicada ao UASB)	0,14 a 0,18
	Produção de lodo anaeróbio (kgSS/kgDBO aplicada ao UASB)	0,28 a 0,36
	Produção <i>per capita</i> de lodo anaeróbio (gSS/hab.dia)	14 a 18
	Produção de lodo misto total (a ser tratado) (kgSS/kgDQO aplicada ao sistema)	0,20 a 0,30
	Produção de lodo misto total (a ser tratado) (kgSS/kgDBO aplicada ao sistema)	0,40 a 0,60
	Produção <i>per capita</i> de lodo misto total (a ser tratado) (gSS/hab.dia)	20 a 30
	Produção volumétrica <i>per capita</i> de lodo misto total (a ser tratado) (L/hab.d)	0,5 a 1,0
	Concentração do lodo misto (aeróbio + anaeróbio) retirado do UASB (%)	3,0 a 4,0
	Taxa de escoamento superficial (Q/A) (m3/m2.dia)	24 a 36
	Taxa de aplicação de sólidos [(Q+Qr).X/A] (kgSS/m2.dia)	100 a 140
Decantador secundário	Altura da parede lateral (m)	3,0 a 4,0

Tabela 11 – Parâmetros de Projeto Para Sistema de Lodos Ativados Como Pós-Tratamento de Efluentes Provenientes de Reatores Anaeróbios

		Conclusão
Item	Parâmetro	Valor
Decantador secundário	Razão de recirculação (Qr/Q)	0,6 a 1,0
	Concentração de SS no lodo recirculado ao tanque de aeração (mg/L)	3000 a 4000
Tratamento de lodo	Produção <i>per capita</i> de SS no lodo a ser disposto (gSS/hab.dia)	20 a 30
	Produção <i>per capita</i> de SS no lodo a ser disposto (gSS/hab.dia)	20 a 30
	Produção volumétrica <i>per capita</i> de lodo a ser disposto (L lodo/hab.dia)	0,05 a 0,15
	Teor de sólidos (centrífuga, filtro prensa de correias) (%)	20 a 30
	Teor de sólidos (filtro prensa) (%)	25 a 40
	Teor de sólidos (leito de secagem) (%)	30 a 45

Fonte: Von Sperling *et al.* (2001)

uma boa redução da matéria orgânica solúvel do esgoto, permitindo que o sistema combinado tenha uma boa eficiência final em relação à matéria orgânica e também em relação ao fósforo.

6 – REATORES ANAERÓBIOS SEGUIDOS POR DISPOSIÇÃO CONTROLADA NO SOLO

A aplicação de esgotos no solo constitui a forma mais simples e econômica para tratamento e disposição final de efluentes líquidos. É também um dos mais eficientes sistemas de tratamento por processos naturais. Pode-se entender a aplicação de esgotos no solo como um conjunto de processos naturais, físicos, químicos e biológicos, ocorrendo no meio solo-planta-esgoto. Embora muito econômico, com muito baixo custo de investimento e de operação, tem a desvantagem de exigir grandes áreas e a forma intermitente de utilização, obrigando a períodos de aplicação e de descanso, o que limita este método de depuração a pequenas comunidades e a áreas isoladas. Os métodos de disposição controlada no solo podem ser encontrados no Capítulo 1, onde a seguir são apresentadas as eficiências globais do tratamento composto por reator UASB como pré-tratamento:

- Escoamento superficial: remoção de DBO de 91 e 94%, com taxas de aplicação de 0,10 e 0,20 m³/h.m., para o sistema filtro anaeróbio-rampa de escoamento.

- Escoamento subsuperficial em área com cobertura vegetal: remoção de DQO média, no “tabuleiro”, de 53%, e de nutrientes de 94% para nitrogênio amoniacal e de 91% para fósforo.
- Banhado artificial (*wetlands*): remoção da DQO, no sistema UASB + *wetland*, de 79 a 83%, de NTK de 59 a 87%, e de fósforo variando de 66 até 100%.

A opção para utilizar de qualquer forma de aplicação do efluente de um reator UASB ou filtro anaeróbio no solo deve levar em conta a capacidade de recebimento e depuração do sistema a ser usado, bem como os aspectos relativos à proteção ambiental e à saúde pública, em particular os que implicam eventual contaminação dos aquíferos. Com estas considerações, as técnicas próprias de irrigação, associadas com as de engenharia sanitária, deverão compor uma solução econômica, simples e aplicável a pequenas contribuições.

Capítulo 7

PROCESSOS DE DESINFECÇÃO

1 – INTRODUÇÃO

A desinfecção de esgotos sanitários objetiva destruir patógenos presentes no efluente tratado e garantir a água receptora segura para uso posterior quanto ao aspecto sanitário, cujos limites são fixados pelos órgãos ambientais. Os mecanismos envolvidos na desinfecção de microrganismos patogênicos podem ser reunidos em três grupos:

- a) Destruição ou danificação da parede celular, do citoplasma ou do núcleo celular. O agente desinfetante atua sobre os componentes dessas estruturas celulares, impedindo que desenvolvam suas funções elementares adequadamente;
- b) Alteração de importantes compostos envolvidos no catabolismo, como enzimas e seus substratos, alterando o balanço de energia na célula;
- c) Alteração nos processos de síntese e crescimento celular, mediante alteração de funções como a síntese de proteínas, de ácidos nucleicos e coenzimas.

Os microrganismos patogênicos de maior preocupação são as bactérias, vírus entéricos e parasitas intestinais. Uma grande variedade destes organismos está sempre presente em esgotos sanitários, podendo chegar ao homem através das seguintes vias:

- Ingestão direta de água não-tratada;
- Ingestão direta de água tratada. Nesse caso, pressupõe-se alguma falha no sistema de tratamento ou de distribuição de água;
- Ingestão de alimentos infectados com patógenos presentes em águas contaminadas;
- Penetração resultante do contato da pele com a água contaminada.

2 – QUALIDADE MICROBIOLÓGICA DOS ESGOTOS SANITÁRIOS

A desinfecção de esgotos exige um conhecimento dos aspectos físico-químicos (pH, alcalinidade, DBO, sólidos suspensos, nitrogênio etc.), e, principalmente, em relação aos parâmetros microbiológicos de avaliação das concentrações de organismos patogênicos ou de organismos indicadores.

No Brasil, é prática comum a identificação e quantificação de organismos indicadores de contaminação, notadamente coliformes totais e fecais (ou termotolerantes) e estreptococos fecais, que se deve às dificuldades e custos inerentes à identificação dos diversos organismos patogênicos.

Vale lembrar que os organismos indicadores de contaminação, mais especificamente os coliformes e estreptococos fecais, são utilizados como parâmetros de monitoramento porque estes, além de fáceis de identificar, estão sempre presentes, em grandes quantidades nas fezes de origem humana e de outros animais de sangue quente. Assim, a presença de coliformes e estreptococos fecais em uma amostra de água torna-se um forte indicativo de que aquela água foi contaminada pelo lançamento de esgotos e deve, muito possivelmente, conter organismos patogênicos. Trata-se, portanto, de uma determinação indireta da presença de organismos causadores de doenças, uma vez que os organismos indicadores são, em sua vasta maioria, habitantes do trato intestinal do homem e não são causadores de doenças. As composições microbiológicas típicas de esgotos brutos são apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Embora as eficiências de remoção de microrganismos patogênicos e microrganismos indicadores pareçam elevadas, de acordo com a Tabela 14, deve-se ressaltar que, em se tratando de coliformes, estes estão presentes em quantidades muito elevadas (Tabela 13) e, portanto, são necessárias eficiências de remoção também muito altas, usualmente na faixa de 99,99 a 99,999%, para o atendimento aos padrões de qualidade microbiológica.

Esses aspectos de requisitos e padrões de qualidade são tratados por legislações específicas, conforme resumido na Tabela 14, para as águas doces.

Tabela 12 – Ocorrência Típica de Microrganismos Patogênicos e Microrganismos Indicadores em Esgotos Brutos

Microrganismo	Contribuição <i>per capita</i> (org/hab.dia)	Concentração (org/100 mL)
Coliformes totais	10^9 - 10^{12}	10^6 - 10^9
Coliformes fecais	10^8 - 10^{11}	10^5 - 10^8
Estreptococos fecais	10^8 - 10^9	10^5 - 10^6
Cistos de protozoários	$< 10^6$	$< 10^3$
Ovos de helmintos	$< 10^6$	$< 10^3$
Vírus	10^5 - 10^7	10^2 - 10^4

Fonte: Bastos (2003)

Tabela 13 – Remoções Típicas de Microrganismos Patogênicos e Microrganismos Indicadores em Sistemas Convencionais de Tratamento de Esgotos

Microrganismo	Tratamento primário (%)	Tratamento secundário (%)
Coliformes totais	< 10	90-99
Coliformes fecais	35	90-99
<i>Shigella sp.</i>	15	91-99
<i>Salmonella sp.</i>	15	96-99
<i>Escherichia coli</i>	15	90-99
Vírus	< 10	76-99
<i>Entamoeba histolytica</i>	10-50	10
Ovos de helmintos	50-90	70-99

Fonte: Bastos (2003)

Tabela 14 – Padrões de Qualidade Microbiológica de Águas de Consumo Humano e de Corpos D'Água

Parâmetro	Padrão de potabilidade (Portaria nº 518/04)	Águas Doces (CONAMA nº 357/2005)				
		Esp	1	2	3	4
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes	Ausência em 100 mL	-	200	1000	1000 ^a 2500 ^b 4000 ^c	-

Fonte: BRASIL (2005) e BRASIL (2004).

a: dessedentação de animais; b: recreação de contato secundário; c: demais usos.

Além dos padrões de lançamento em corpos d'água, os processos de desinfecção podem ser específicos para outros fins como atendimento aos padrões de balneabilidade (Quadro 25), e no reúso do esgoto tratado em irrigação (detalhado no Capítulo 11).

Balneabilidade/categoria		Padrões para o corpo de água
Própria	Excelente	Máximo de 250 CF/100 mL ou 200 <i>E.coli</i> /100mL ou 25 enterococos/100mL, em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores;
	Muito boa	Máximo de 500 CF/100 mL ou 400 <i>E.coli</i> /100mL ou 50 enterococos/100mL, em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores;
	Satisfatória	Máximo de 1.000 CF/100 mL ou 800 <i>E.coli</i> /100mL ou 100 enterococos/100mL, em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
Imprópria		a) não-atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias; b) valor obtido na última amostragem for superior a 2.500 CF (termotolerantes) ou 2.000 <i>E.coli</i> ou 400 enterococos por 100 mL; c) incidência elevada ou anormal, na região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicada pelas autoridades sanitárias; d) presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação; e) pH < 6,0 ou pH > 9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais; f) floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana; g) outros fatores que contra-indiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato primário.

Quadro 25 – Padrões de Balneabilidade Definidos Pela Resolução Conama N° 274/2000

Fonte: Brasil (2000)

3 – MÉTODOS DE DESINFECÇÃO

A desinfecção pode ser realizada por meio de processos artificiais ou naturais (Figura 23).

Tanto os processos artificiais como os naturais utilizam, isoladamente ou de forma combinada, agentes físicos e químicos para inativar os microrganismos patogênicos. Entre os agentes físicos, podem-se citar a transferência de calor (aquecimento ou incineração), as radiações ionizantes, a radiação UV e a filtração em membranas.

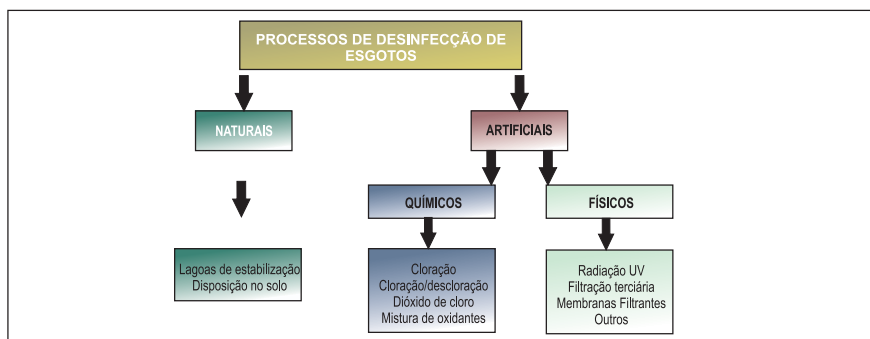


Figura 23 – Processos de Desinfecção de Esgotos Sanitários

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2003)

O aquecimento é uma técnica eficiente na desinfecção de águas, mas o fator econômico desencoraja sua aplicação nos esgotos, até mesmo em pequena escala, de forma análoga às radiações ionizantes do tipo gama. No tocante à radiação ultravioleta, suas aplicações experimentam aceitação crescente, tanto pelo uso da luz solar para a potabilização de águas em pequena escala, quanto por reatores que geram artificialmente a radiação ultravioleta. A filtração em membranas já integra o fluxograma de algumas ETE, representando um grande potencial futuro pela redução de preço das membranas.

A desinfecção química é realizada pela aplicação de compostos do grupo fenólico, álcoois, halogênios e metais pesados. Os agentes químicos mais utilizados na desinfecção de esgotos são cloro, dióxido de cloro e ozônio. Nos processos naturais, além dos agentes químicos e físicos naturalmente presentes, a ação de predação ou competição de outros organismos resulta na inativação de patógenos.



Foto 20 – Vista de um Sistema de Desinfecção por Cloração

Fonte: O Autor

No que se refere aos processos artificiais de desinfecção, as principais opções disponíveis são:

Cloração – O cloro é largamente o desinfetante mais utilizado para águas e esgotos. É uma tecnologia mundialmente conhecida, normalmente aplicada nas formas de cloro gasoso, hipoclorito de sódio ou cálcio e outros compostos na forma líquida ou sólida. A ação desinfetante do cloro deve-se principalmente ao mecanismo de oxidação do material celular. Entretanto, trabalhos científicos relatam inibição enzimática e danificação do material genético como outros mecanismos da desinfecção com cloro. Os compostos de cloro, ao serem adicionados à água, reagem formando ácido hipocloroso (HOCl) que se dissocia em OCl^- e H^+ . A quantidade de HOCl e OCl^- em solução depende do pH e é chamado de cloro residual livre disponível. O cloro também reage com a matéria orgânica presente no esgoto, formando compostos organoclorados e cloraminas, conhecidos como cloro residual combinado. O cloro livre reage com substâncias diluídas ou suspensas na água por três processos: oxidação, adição e substituição. Nas reações em que ocorre oxidação, o cloro livre é sempre reduzido a cloreto (Cl^-). A Foto 20 mostra um sistema de desinfecção por cloração.

Cloração/descloração – As desvantagens da cloração estão na formação de compostos organoclorados carcinogênicos (trihalometanos – THM), bem como na toxicidade do cloro residual à biota aquática. O cloro, quando empregado em águas que contêm compostos orgânicos, como efluentes de ETE, pode levar à formação de compostos potencialmente prejudiciais à saúde humana, como: trihalometanos, haloacetônitrilas etc. Adicionalmente, baixas concentrações de residuais de cloro são tóxicas a várias espécies aquáticas. A descloração antes do lançamento, geralmente com dióxido de enxofre, tem sido a opção utilizada para reduzir os impactos da disposição de efluentes desinfetados com cloro no meio ambiente e adequar-se à legislação. As etapas integrantes do fluxograma de um sistema de cloração/descloração incluem: armazenagem, medição de vazão, dosagem de cloro, tanque de contato, dosagem de dióxido de enxofre e disposição final.

Ozonização – O ozônio é um oxidante extremamente reativo, altamente bactericida. A maioria das estações de desinfecção de esgoto gera ozônio, impondo alta voltagem (6 a 20kV) em uma câmara de gás. A geração *in loco* deve-se a sua instabilidade, uma vez que ele se decompõe em oxigênio elementar em

curto espaço de tempo após a geração. O mecanismo de desinfecção do ozônio inclui: destruição parcial ou total da parede celular, levando à lise das células; reações com radicais livres (peróxido de hidrogênio e íon hidroxila) da decomposição do ozônio; e danos a constituintes do material genético. O interesse na utilização do ozônio tem por principal motivo o impacto benéfico ao meio ambiente, pois não há formação de trihalometanos. Contudo, pouco se sabe sobre a possível formação de subprodutos. A maioria das aplicações tem sido em ETE de médio e grande porte, devido à complexidade da tecnologia e aos custos de operação e manutenção. As etapas integrantes do fluxograma de um sistema de ozonização incluem: armazenagem (oxigênio), geração do ozônio, dosagem, tanque de contato, destruição do ozônio excedente e disposição final do efluente. A aplicação do ozônio no tratamento de efluentes sempre é realizada pela dispersão do gás neles. Várias formas de difusão são utilizadas, sendo as mais comuns: difusão de ar ozonizado, hidroejetores, emulsantes e misturadores estáticos.

Ultravioleta – A utilização da radiação ultravioleta (UV) mostra-se muito competitiva quando comparada à cloração/descloração, devido à não-geração de subprodutos tóxicos, como os do cloro (ex.: organoclorados, trihalometanos e outros). O mecanismo primário da inativação de microrganismos consiste no dano direto aos ácidos nucleicos celulares. Sua eficiência depende principalmente das características do afluente, da concentração de colóides e partículas no esgoto, da intensidade da radiação UV aplicada, do tempo de exposição dos microrganismos à radiação e da configuração do reator. Os principais componentes de um sistema de desinfecção UV são as lâmpadas tipo arco de mercúrio, o equipamento de acionamento e o reator. Há dois tipos de configurações de reatores de desinfecção UV: tipo de contato e tipo de não-contato. Em ambos, o esgoto pode fluir de forma perpendicular ou paralela às lâmpadas. No reator de contato, as lâmpadas de mercúrio podem ser colocadas em tubos de quartzo para minimizar o efeito de resfriamento pelo esgoto. Em reatores de não-contato, as lâmpadas UV são suspensas externamente a um condutor transparente que conduz o esgoto para desinfecção. Em ambas as configurações, o equipamento de acionamento (reator, *starter*) controla a voltagem de partida das lâmpadas e mantém a continuidade da corrente.

Dentre os processos naturais de desinfecção podem ser citados:

Lagoas de estabilização – As lagoas de estabilização são processos de tratamento de esgotos utilizados principalmente para remoção de matéria orgânica. No entanto, com algumas adaptações no fluxograma, no número e na geometria das lagoas, pode ser alcançada elevadíssima eficiência de remoção de organismos patogênicos (lagoas de maturação). Têm-se, ainda, as lagoas de polimento, conceitualmente similares às lagoas de maturação, mas que recebem essa nomenclatura específica por realizarem o polimento de efluentes de reatores anaeróbios, principalmente os reatores tipo UASB (reator anaeróbio com manta de lodo e fluxo ascendente). Os principais fatores naturais que atuam como agente desinfetante nessas lagoas são: temperatura, insolação, pH, escassez de alimento, organismos predadores, competição, compostos tóxicos e elevada concentração de oxigênio dissolvido. No caso de cistos de protozoários e ovos de helmintos, o principal mecanismo é a sedimentação.

Disposição controlada no solo – A disposição controlada de efluentes secundários no solo resulta na remoção dos nutrientes absorvidos pelas plantas e incorporados ao solo; dos sólidos suspensos; e dos patógenos, que são inativados por ação de raios ultravioleta, pela dessecação e pela ação dos predadores biológicos no solo. Trata-se de uma técnica de pós-tratamento e reúso, visto que ele fornece os nutrientes e a matéria orgânica para o conjunto solo-planta e pode promover a recarga do aquífero. O bom desempenho de processos dessa natureza depende do tipo e das características do solo, bem como da taxa e da frequência de alimentação do processo. Os principais processos de disposição controlada no solo são o escoamento superficial, a infiltração/percolação e a irrigação. Atualmente são utilizados em larga escala o escoamento superficial, a infiltração/percolação e a irrigação.

As principais vantagens e desvantagens dos processos de desinfecção de esgotos sanitários mais utilizados são listadas no Quadro 26 e uma comparação detalhada entre os processos é resumida nos Quadros 27, 28 e 29.

Agentes	Processos	Vantagens	Desvantagens
Processos Naturais Químicos, Físicos e Biológicos	Lag. Estab.	✓ Processo natural, sem mecanização ✓ Não gera efeitos residuais prejudiciais ✓ Operação simples ✓ Desinfecção paralela à estabilização da MO	✓ Necessita de muita área ✓ TDH muito longo (vários dias) ✓ Desempenho depende das condições climáticas ✓ Produz muitas algas
	Disp. no solo	✓ Processo natural, sem mecanização ✓ Não gera efeitos residuais prejudiciais ✓ Operação simples ✓ Desinfecção paralela à estabilização da MO	✓ Necessita de muita área ✓ Desempenho depende das condições climáticas ✓ Sensível à quantidade de sólidos suspensos no afluente
Processos Artificiais Químicos	Cloração	✓ Tecnologia amplamente conhecida ✓ Menor custo ✓ Cl residual prolonga a desinfecção e indica a eficiência do processo ✓ Efetiva e confiável para uma grande variedade de patógenos ✓ Oxida certos compostos orgânicos e inorgânicos	✓ Cl residual é tóxico ✓ Todas as formas de cloro são altamente corrosivas e tóxicas ✓ As reações com Cl geram compostos potencialmente perigosos (trihalo-metanos) ✓ Aumenta os sólidos totais dissolvidos ✓ Alguns patógenos são resistentes
	Cloração / Descloração	✓ Tecnologia amplamente conhecida ✓ Efetiva e confiável para uma grande variedade de patógenos ✓ Oxida certos compostos orgânicos e inorgânicos	✓ Requer adição de produtos químicos para eliminar cloro residual ✓ Elimina o efeito residual da desinfecção com cloro ✓ Gera subprodutos potencialmente tóxicos ✓ Aumenta os sólidos totais dissolvidos ✓ Alguns patógenos são resistentes
	Ozonização	✓ Mais efetivo na destruição de vírus e bactérias que o cloro ✓ Utiliza curto tempo de contato (de 10 a 30 minutos) ✓ Não gera residuais perigosos ✓ Normalmente não resulta em recrescimento das bactérias ✓ É gerado <i>in situ</i> com fácil armazenamento e manuseio ✓ Eleva o oxigênio dissolvido (OD) no efluente tratado	✓ Baixas doses podem não inativar alguns vírus, esporos ou cistos ✓ Tecnologia mais complexa que a desinfecção com cloro ou UV ✓ O₃ é muito mais reativo e corrosivo ✓ Não é econômico para esgotos com muito SS, DBO ou DQO ✓ O₃ é extremamente irritante e potencialmente tóxico ✓ O custo do tratamento pode ser relativamente alto

Quadro 26 – Vantagens e Desvantagens dos Processos de Desinfecção mais Utilizados

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2003)

Agentes	Processos	Vantagens	Desvantagens
Processos Artificiais Físicos	Ultravioleta	✓ Efetiva na inativação de vírus e esporos ✓ Não necessita de geração, manuseio, transporte ou estocagem de produtos químicos ✓ Não gera efeitos residuais prejudiciais ✓ Operação simples ✓ Tempo de contato muito curto (20-30 segundos) ✓ Menor demanda de espaço do que os outros processos	✓ Baixas doses podem não inativar alguns vírus, esporos ou cistos ✓ Os microrganismos podem se multiplicar por fotoreativação ou recuperação no escuro ✓ Necessita de controle da formação de biofilmes nos reatores de contato ✓ É sensível à turbidez e aos sólidos suspensos totais no esgoto ✓ É mais caro do que a cloração e mais barato do que a cloração/descloração
	FiltraçãoTerciária	✓ Melhora significativamente a qualidade físico-química do efluente ✓ Realiza a remoção complementar de fósforo do esgoto ✓ Eficiente na remoção de ovos e larvas de helmintos e cistos de protozoários	✓ Eficiência variável e inespecífica em relação aos patógenos ✓ Requer produtos químicos de coagulação/floculação ✓ Funcionamento intermitente devido à lavagem dos filtros ✓ Demanda operacional com nível intermediário

Quadro 26 – Vantagens e Desvantagens dos Processos de Desinfecção mais Utilizados

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2003)

Consideração	Cloração	Cloração/descloração	Ozônio	UV	Lagoas de estabilização	Tratamento no solo
Tamanho da ETE	Todos os tamanhos	Todos os tamanhos	Médio a grande	Todos os tamanhos	Pequeno a médio	Pequeno
Nível de tratamento antes da desinfecção	Todos os níveis	Todos os níveis	Secundário	Secundário	Secundário	Primário ou secundário
Complexidade relativa da tecnologia	Simple a moderada	Moderada	Complexa	Simple a moderada	Muito simples	Simple
Confiabilidade	Muito boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Regular
Controle do processo	Bem desenvolvido	Desenvolvido	Em desenvolvimento	Em desenvolvimento	Desenvolvido	Em desenvolvimento
Sensibilidade à operação e manutenção	Mínima	Moderada	Alta	Moderada	Muito pouca	Muito pouca

Quadro 27 – Nível de Desenvolvimento, Aspectos de Operação e Manutenção dos Processos de Desinfecção de Esgotos

Fonte: Gonçalves (2003)

Consideração	Cloração	Cloração/ descloração	Ozônio	UV	Lagoas de estabilização	Tratamento no solo
Efeito bactericida	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom	Bom
Efeito virucida	Ruim	Ruim	Bom	Bom	Bom	Desconhe- cido
Efeito sobre protozoários	Regular	Regular	Regular	Pouco	Bom	Bom
Efeito sobre helmintos	Regular	Regular	Regular	Pouco	Bom	Bom

Quadro 28 – Efetividade do Processo de Desinfecção Sobre os Organismos Patogênicos do Esgoto Sanitário

Fonte: Gonçalves (2003)

Consideração	Cloração	Cloração/ descloração	Ozônio	UV	Lagoas de estabilização	Tratamento no solo
Tempo de detenção	Longo Não	Longo Não	Moderado Sim	Curto Não	Muito longo Sim	Longo Sim
Incremento de OD	Sim	Sim	Sim (pH alto)	Não	Moderada	Sim
Reação com amônia	Moderada	Moderada	Sim	Não	Moderada	Moderada
Remoção de cor Sólidos dissolvidos	Aumento	Aumento	Não atua	Não atua	Prov. Diminui	Prov. Diminui
Sólidos suspensos	Diminui	Diminui	Diminui	Não atua	Variável	Diminui
Dependente de pH	Sim	Sim	Pouco		Sim	Sim

Quadro 29 – Tempo de Detenção Hidráulica, Outras Reações e Impactos na Qualidade do Efluente Tratado

Fonte: Gonçalves (2003)

Capítulo 8

TRATAMENTO DE LODO

1 – INTRODUÇÃO

O destino final dos resíduos produzidos nos sistemas de tratamento de água e esgotos é uma preocupação mundial. As ETE geram um resíduo sólido em quantidade e qualidade variável, denominado genericamente de lodo de esgoto. Este resíduo, a exemplo do lodo proveniente das estações de tratamento de água, exige também um correto destino final, de forma a não apresentar problemas de saúde pública e causar impactos no meio ambiente.

Embora a gestão do resíduo seja bastante complexa e represente entre 20% e 60% dos custos operacionais de uma estação de tratamento, o planejamento e a execução do destino final têm sido freqüentemente negligenciados nos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil. O destino final do lodo é, portanto, uma atividade de grande importância e complexidade, pois freqüentemente extrapola os limites das estações de tratamento e exige a integração com outros setores da sociedade.

Segundo a legislação de diversos países, e mesmo a brasileira, a responsabilidade pelos problemas que podem ser causados pelo destino inadequado é sempre dos produtores do resíduo, que podem ser enquadrados na própria Lei n. 9.605/1998, lei de crimes ambientais (BRASIL, 1998). Neste sentido, alguns órgãos ambientais estão exigindo o detalhamento da alternativa de disposição final no processo de licenciamento das ETE, o que representa um grande avanço na gestão ambiental do nosso país. Nos Estados Unidos, a produção de lodos no ano 2000 foi estimada em 7,1 milhões de toneladas, devendo chegar a 8,2 milhões em 2010. Na Europa, a produção anual deve ter alcançado 10,1 milhões de toneladas já em 2005, decorrente dos grandes investimentos na expansão desses serviços.

Mais de 90% do lodo produzido no mundo tem sua disposição final por meio de três processos: incineração, disposição em aterros e uso agrícola. A forma predominante de disposição final desses resíduos é o chamado uso benéfico, predominantemente por intermédio do uso agrícola, adotado para, aproximadamente, 55,5% do lodo produzido nos Estados Unidos, devendo alcançar 61,5% até 2010. Na Europa, a reciclagem e a disposição em aterros sanitários são as alternativas predominantes, e são direcionados, para cada uma delas, cerca de 40% do lodo produzido.

A disposição em aterros requer cuidados especiais em relação à seleção de local, características de projeto que evitem a percolação de lixiviado, drenagem dos gases gerados e tratamento do chorume produzido, além de uma operação eficiente que evite a proliferação de vetores.

A reciclagem agrícola implica a garantia de fornecimento de insumo de boa qualidade à agricultura, com seleção criteriosa, escolhendo áreas e culturas aptas com a orientação técnica adequada ao produtor rural e realizando o monitoramento ambiental. A rentabilidade do uso de biossólidos é uma forma de garantir o interesse contínuo dos agricultores e, conseqüentemente, a sustentabilidade do processo. Assim, em todo o planeta, a alternativa com maior perspectiva de crescimento é a reciclagem agrícola, devido à necessidade de produção de alimentos em quantidades cada vez maiores. A quantidade de lodos lançados em aterro sanitário tende a se reduzir devido às exigências ambientais crescentes quando da para utilização desta alternativa.

Atualmente, a produção de lodo no Brasil está estimada entre 150 mil e 220 mil toneladas de matéria seca por ano. Devido aos baixos índices de coleta e tratamento de esgoto ainda existentes no país e à pressão da sociedade por melhores condições ambientais, há uma potencial tendência de ocorrer um incremento substancial na quantidade de lodo a ser disposto na próxima década. A população urbana brasileira está estimada em 116 milhões de habitantes, porém apenas 32 milhões têm seu esgoto coletado, o qual, se fosse integralmente tratado, acarretaria uma produção de 325 mil a 473 mil toneladas por ano de lodo.

2 – OPERAÇÕES, PROCESSOS E SISTEMAS DE TRATAMENTO DO LODO (FASE SÓLIDA)

O tratamento dos subprodutos sólidos gerados nas diversas unidades é uma etapa essencial ao tratamento dos esgotos. Ainda que o lodo possa, na maior parte das etapas do seu manuseio, ser constituído de mais de 95% de água, apenas por convenção é designado como fase sólida, visando distingui-lo do fluxo do líquido sendo tratado. De uma maneira geral, são subprodutos sólidos gerados no tratamento biológico dos esgotos:

- Material gradeado;
- Areia;
- Escuma;
- Lodo primário;
- Lodo secundário.

Destes subprodutos, o principal, em termos de volume e importância, é representado pelo lodo. Determinados sistemas de tratamento têm a retirada do lodo apenas eventual. Nestes casos, já sai usualmente estabilizado, requerendo apenas a sua disposição final. Tal é o caso, por exemplo, dos sistemas de tratamento anaeróbio. Em outros sistemas, como o de lagoas facultativas, o lodo usualmente permanece retido no sistema durante todo o horizonte de operação, não necessitando ser removido ou tratado.

Os fluxogramas dos sistemas de tratamento do lodo possibilitam diversas combinações de operações e processos unitários, compondo distintas seqüências. As principais etapas do tratamento, com os respectivos objetivos, são mostradas no Quadro 30. Dependendo do tipo de tratamento de esgotos, o lodo gerado requer diferentes processos, os quais são detalhados no Quadro 31.

Processo	Objetivo
Adensamento	Remoção de umidade (redução do volume)
Estabilização	Remoção da matéria orgânica (redução de sólidos voláteis)
Condicionamento	Preparação para a desidratação (principalmente mecânica)
Desidratação	Remoção de umidade (redução de volume)
Disposição final	Destinação final de subprodutos

Quadro 30 – Etapas Envolvidas no Tratamento do Lodo e Seus Respectivos Objetivos

Fonte: Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001)

Sistemas de tratamento	Frequência de remoção	Adensamento	Processamento usual do lodo		
			Estabilização	Desidratação	Disposição final
Tratamento primário	Variável	☺	☺	☺	☺
Lagoa facultativa	> 20 anos			☺	☺
Lagoa anaeróbia ➔ lagoa facultativa	> 10 anos			☺	☺
Lagoa aerada facultativa	> 10 anos			☺	☺
Lagoa aerada mistura completa ➔ lagoa de sedimentação	< 5 anos			☺	☺
Lodos ativados convencional	~ Contínua	☺	☺	☺	☺
Lodos ativados aeração prolongada	~ Contínua	☺		☺	☺
Lodos ativados de fluxo intermitente	~ Contínua	☺		☺	☺
Filtro biológico de baixa carga	~ Contínua	☺		☺	☺
Filtro biológico de alta carga	~ Contínua	☺	☺	☺	☺
Biodiscos	~ Contínua	☺		☺	☺
Reator anaeróbio de manta de lodo	Meses	☺		☺	☺
Fossa séptica ➔ filtro anaeróbio	Meses	☺	☺	☺	☺
Infiltração lenta	-				
Infiltração rápida	-				
Infiltração subsuperficial	-				
Escoamento superficial	-				

Quadro 31 – Processamento do Lodo nos Principais Sistemas de Tratamento de Esgotos

Fonte: Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001)

2.1 – Adensamento

O adensamento do lodo visa à diminuição do volume e conseqüente aumento da concentração de lodo pela expulsão da água presente. Os principais métodos utilizados para o adensamento do lodo são:

- Adensamento por gravidade;
- Flotação;
- Centrífuga;
- Filtro prensa de esteiras.

As principais razões do adensamento do lodo são:

- Redução do custo de transporte para o local da disposição final;
- Melhoria das condições de manejo do lodo, já que o lodo desaguado é mais facilmente transportado;
- Aumento do poder calorífico do lodo, através da redução da umidade com vistas à preparação para a incineração;
- Redução do volume para disposição em aterro sanitário ou reúso na agricultura;
- Diminuição da produção de lixiviados quando da sua disposição em aterros sanitários.

2.2 – Estabilização

Os processos de estabilização do lodo têm por objetivo atenuar duas características indesejáveis desse resíduo: odor e conteúdo de patógenos. Estes dois fatores têm importância variável, de acordo com o destino final previsto para o lodo. Portanto, no âmbito de um sistema de gestão do lodo produzido por ETE, a estabilização é uma das peças do sistema, devendo ser definida de forma articulada com o desaguamento, higienização e uso final do produto. A Foto 21 mostra um conjunto de reatores anaeróbios para estabilização do lodo.

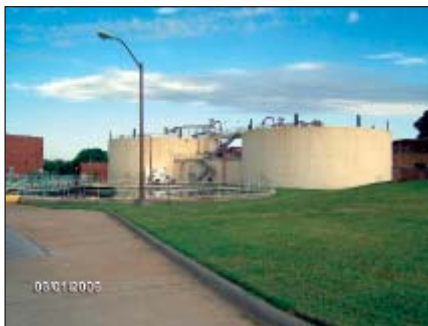


Foto 21 – Reatores Anaeróbios Para Estabilização do Lodo.

Fonte: USP

2.2.1 – Estabilização biológica

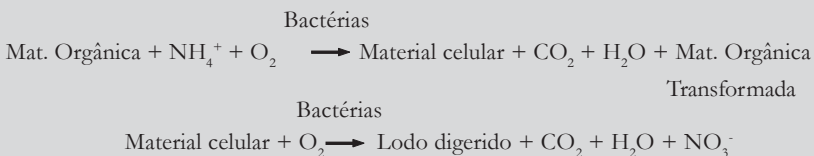
Na estabilização biológica, são utilizados os mecanismos naturais de biodegradação que transformam a parte mais putrescível do lodo. As vias podem ser anaeróbia ou aeróbia, sendo os principais processos:

- Digestão anaeróbia;

- Digestão aeróbia;
- Digestão aeróbia autotérmica;
- Compostagem.

Digestão Anaeróbia. A digestão anaeróbia do lodo é o método mais antigo de estabilização e, talvez, o mais utilizado, principalmente nas ETE que empregam o sistema de lodos ativados. O processo consiste na solubilização e redução de substâncias orgânicas complexas pela ação de microrganismos, na ausência de oxigênio. O lodo é colocado em digestores, normalmente tanques de concreto, e a biodegradação anaeróbia leva à produção de metano, dióxido de carbono, alguns outros gases e lodo estabilizado. Em digestores anaeróbios bem operados, é típica a redução de duas unidades logarítmicas para os coliformes fecais. Os cistos de protozoários são geralmente eliminados, enquanto os ovos de helmintos são mais resistentes. Pode-se dizer que a digestão anaeróbia do lodo é um processo de estabilização eficiente, porém a redução de patógenos observada é pequena, o que impõe limites ao uso do bioestabilizado por questões de segurança sanitária.

Digestão Aeróbia. Este tipo de digestão tem a mesma base conceitual dos sistemas de tratamento de esgotos do tipo aeração prolongada. O mecanismo da estabilização é a biodegradação de componentes orgânicos pelos microrganismos aeróbios. A fase final do processo é caracterizada pela respiração endógena, que acontece quando o substrato disponível para a biodegradação é totalmente consumido e os microrganismos passam a consumir o próprio material celular para a realização de suas atividades metabólicas. Portanto, o processo de digestão aeróbia passa por duas etapas: a oxidação direta da matéria orgânica biodegradável e conseqüente aumento da biomassa bacteriana e, depois, a oxidação do material microbiano celular pelos próprios microrganismos:



Compostagem. A compostagem pode ser definida como uma oxidação biológica aeróbia exotérmica de um material orgânico no estado sólido, produzindo-se CO_2 , água, liberando substâncias minerais e formando uma matéria orgânica estável. Do ponto de vista operacional, uma das grandes diferenças desta técnica, em comparação à digestão aeróbia e anaeróbia, é que a compostagem se realiza em meio sólido. Os componentes orgânicos biodegradáveis passam por sucessivas etapas de transformação sob a ação de diversos grupos de microrganismos, resultando em um processo bioquímico altamente complexo.

Por ser um processo biológico aeróbio, os fatores mais importantes que influem na degradação da matéria orgânica são a aeração, os nutrientes e a umidade. A temperatura também é um fator importante, principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos, porém ela é consequência da atividade biológica e não um fator independente. Os nutrientes, principalmente carbono e nitrogênio, são fundamentais ao crescimento bacteriano. O carbono é a principal fonte de energia e o nitrogênio é necessário para a síntese celular. Fósforo e enxofre também são importantes, porém seu papel no processo é menos conhecido. Os microrganismos têm necessidade dos mesmos micronutrientes requeridos pelas plantas: Cu, Ni, Mo, Fe, Mg, Zn e Na são utilizados nas reações enzimáticas, porém os detalhes desse processo são pouco conhecidos.

2.2.2 – Estabilização química

Na estabilização química são adicionados ao lodo produtos que podem inibir a atividade biológica ou oxidar a matéria orgânica. O tratamento químico mais utilizado é a via alcalina, em que uma base, normalmente a cal, é misturada ao lodo, elevando seu pH e destruindo a maior parte dos microrganismos patogênicos. O uso de outros produtos químicos, como cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio e permanganato de potássio também é possível, porém para pequena escala.

2.2.3 – Estabilização térmica

Obtida a partir da ação do calor sobre a fração volátil em recipientes hermeticamente fechados.

2.3 – Condicionamento do Lodo

Lodos ativados ou lodos mistos (lodo primário + lodo ativado) de descarte dificilmente podem ser concentrados a teores de sólidos superiores a 4% ou 6% de ST sem a utilização de condicionadores. O condicionamento compreende as etapas de coagulação seguida de floculação. A coagulação tem por objetivo desestabilizar as partículas por meio da diminuição das forças eletrostáticas de repulsão entre elas. A floculação permite a aglomeração dos colóides e dos sólidos finos por meio de baixos gradientes de agitação. O tipo de condicionamento influencia diretamente a eficiência dos processos de desidratação. Por isso, a seleção de um determinado processo deve se basear em critérios de custos de capital, operação e manutenção do sistema como um todo. Custos relativos ao impacto da recirculação do sobrenadante nas outras etapas que compõem a planta, na qualidade do efluente e nas emissões atmosféricas devem ser integrados à análise. Os principais coagulantes utilizados são os sais metálicos, a cal e os polímeros orgânicos (polieletrólitos). Os coagulantes inorgânicos mais comuns são:

- sulfato de alumínio;
- cloreto férrico;
- sulfato ferroso;
- sulfato férrico;
- cal virgem/hidratada.

Obs.: dentre esses, os mais utilizados são cloreto férrico e cal.

Existem vários fatores que influenciam no condicionamento do lodo, como tamanho das partículas, agitação excessiva e quantidade do condicionador, detalhados no Quadro 32.

2.4 – Desidratação de Lodo

A desidratação de lodo é uma operação unitária que reduz o volume do lodo em excesso por meio da redução de seu teor de umidade. A capacidade de desidratação varia com o tipo de lodo. Um lodo ativado, por exemplo, é mais difícil de ser desaguado do que um lodo primário digerido anaerobiamente. Essa variação na capacidade de desidratação está direta-

Fator	Efeito sobre o condicionamento
Tamanho das partículas	Principal fator que influencia a capacidade de desidratação. Devido ao atrito ou à mistura, o tamanho médio das partículas diminui, resultando em um crescimento exponencial da relação superfície/volume e em um maior grau de hidratação, maior demanda de produtos químicos e aumento da resistência à desidratação.
Agitação excessiva	A agitação deve fornecer energia apenas para a dispersão do floculante no lodo, permitir a aproximação das partículas em suspensões coloidais e manter a integridade dos flocos. Caso o lodo seja submetido a uma agitação excessiva, poderá ocorrer a quebra dos flocos.
Quantidade de condicionador	O nível de hidratação e o conteúdo de partículas finas do lodo podem ser materialmente aumentados por meio de atrição, aquecimento ou estocagem. O transporte por tubulações até uma central de processamento, a estocagem durante um fim de semana e a estocagem por períodos prolongados modificam as características do lodo e aumentam a demanda de condicionadores previamente à desidratação.

Quadro 32 – Relação dos Principais Fatores que Afetam o Condicionamento do Lodo

Fonte: Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001)

mente relacionada ao tipo de sólido e à forma pela qual a água está ligada às partículas do lodo. As principais razões para realizar a desidratação são:

- Redução do custo de transporte para o local de disposição final;
- Melhoria nas condições de manejo do lodo, já que o lodo desaguado é mais facilmente transportado;
- Aumento do poder calorífico do lodo por meio da redução da umidade com vistas à preparação para incineração;
- Redução do volume para disposição em aterro sanitário ou reúso na agricultura.

A seleção do processo de desidratação depende do tipo de lodo e da área disponível. Para ETE de pequeno porte localizadas em regiões onde não há restrição quanto à área, processos naturais como leitos de secagem são considerados a melhor alternativa. Da mesma forma, ETE de médio e grande portes situadas em regiões metropolitanas utilizam a desidratação

mecânica. Os principais processos utilizados para a desidratação natural ou mecânica em nosso país são:

- Leitos de secagem;
- Lagoas de lodos;
- Centrífugas;
- Prensas desaguadoras;
- Filtros-prensa.

Para aumentar a aptidão à desidratação e à captura de sólidos, lodos podem ser submetidos a uma etapa de condicionamento prévio à etapa de desidratação propriamente dita. Os principais processos utilizados para desidratação do lodo são descritos a seguir.

2.4.1 – Leitos de secagem

Trata-se de uma das técnicas mais antigas utilizadas na separação sólido-líquido do lodo. No Brasil, a NBR-12.209 regulamenta os projetos de leito de secagem (ASSOCIAÇÃO..., 1992). Leitos de secagem são indicados para comunidades de pequeno e médio portes, com ETE tratando uma população equivalente de até 20 mil habitantes, localizada em áreas afastadas da zona urbana. A Foto 22 mostra uma vista de uma célula do sistema de leitos de secagem.



Foto 22 - Vista de uma Célula do Sistema de Leitos de Secagem

As principais vantagens da utilização de leitos de secagem são:

- Baixo valor de investimento;
- Exigência de operador com baixo nível de qualificação devido à simplicidade operacional e ao baixo nível de atenção requerido;
- Baixo consumo de energia elétrica e produto químico;
- Baixa sensibilidade a variações nas características do lodo;

Fonte: O autor

- Torta com alto teor de sólidos.

Entre as desvantagens, podem ser destacados:

- Área requerida;
- Exigência de estabilização prévia do lodo;
- Influência significativa do clima no desempenho operacional do processo;
- Retirada da torta seca, que é um processo lento e requer muita mão-de-obra;
- Risco elevado de liberação de odores desagradáveis e proliferação de moscas;
- Risco de contaminação do lençol freático caso o fundo dos leitos e o sistema de drenagem não sejam bem executados.

A Figura 24 apresenta em planta e cortes todos os dispositivos integrantes de um sistema de leitos de secagem.

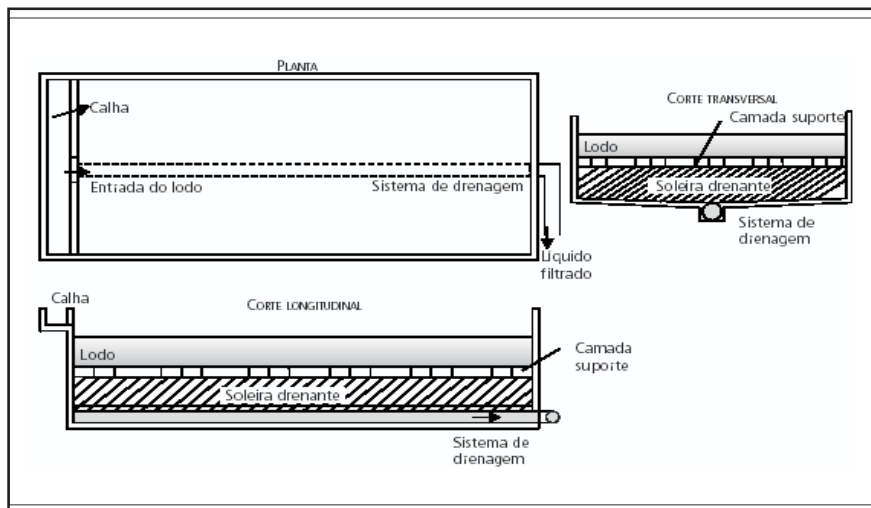


Figura 24 – Dispositivos Integrantes de um Sistema de Leitos de Secagem de Lodo

Fonte: Campos (1999)

2.4.2 – Centrífugas

O processo de separação sólido-líquido utilizando centrífugas segue os mesmos princípios encontrados em um adensador por gravidade. Em ambos os processos são utilizadas forças externas para separar o sólido da suspensão líquida. A grande diferença é que, em uma centrífuga, a força centrífuga aplicada é de 500 a 3.000 vezes superior à da força da gravidade. As centrífugas são os únicos equipamentos utilizados indistintamente para adensamento e desidratação de lodo. A Tabela 15 mostra o desempenho típico de centrífugas.

Tabela 15 – Desempenho Típico de Centrífugas na Desidratação de Lodo

Tipo de lodo	Conc. da torta (%)	Captura de sólidos (%)	Dosagem de polieletrólito (g/kg)
Lodo bruto primário	28-34	95	2-3
Lodo anaeróbio	35-40	95	2-3
Lodo ativado	14-18	95	6-10
Lodo misto bruto*	28-32	95	6-10
Lodo misto anaeróbio	26-30	95	4-6
Lodo aeróbio**	18-22	95	6-10

Fonte: Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001)

* lodo primário + ativado excedente; ** aeração prolongada ou ativado excedente

2.4.3 – Prensa desaguadora

O processo de operação da prensa desaguadora pode ser dividido em três etapas distintas: zona de separação por peneiramento, zona de baixa pressão e zona de alta pressão. A zona de separação por simples peneiramento localiza-se na entrada da prensa, onde o lodo é aplicado sobre a tela superior e a água livre percola sob ação da gravidade através dos furos existentes na tela. A seguir, o lodo é encaminhado para a zona de baixa pressão, na qual o restante da água livre é removido e o lodo, suavemente comprimido entre as telas superior e inferior. Na zona de alta pressão, formada por vários roletes de diferentes diâmetros em série, o lodo é comprimido progressivamente entre as duas telas com o objetivo de liberar a água intersticial. Finalmente, o lodo desaguado é removido por meio de raspadores e as telas são lavadas com jatos de água a alta pressão. A Foto 23 mostra uma vista de uma prensa desaguadora usada na desidratação de lodo.



Foto 23 – Vista de uma Prensa Desaguadora Usada na Desidratação de Lodo
Fonte: CWFTX

A Tabela 16 mostra o desempenho típico de prensas desaguadoras na desidratação de lodo. Assim como os outros equipamentos de desidratação mecânica, as prensas desaguadoras exigem manutenção cuidadosa e devem ser completamente limpas ao final de cada turno de operação.

Tabela 16 – Desempenho Típico de uma Prensa Desaguadora na Desidratação de Lodo

Tipo de lodo	Carga hidráulica (m³/h)	Carga de sólidos (kg/h)	Conc. de sólidos no afluente (%ST)	Conc. de sólidos na torta (%ST)	Captura de sólidos (%)
Anaeróbio*	6,4-15,0	318-454	3-5	18-24	95
Aeróbio**	7,3-23,0	181-318	1,0-3,0	14-18	92-95
Lodo ativado	10,4-23,0	136-272	0,5-1,3	14-18	90-95
Bruto primário	11,4-23,0	681-1.134	4-6	23-25	95
Bruto misto	9,1-23,0	454-681	3-5	23-28	95

Fonte: Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001)

* 50% primário; 50% de lodo ativo em peso

** lodo ativado digerido aerobiamente

2.4.4 – Filtro-prensa

É um equipamento que opera em batelada e tem como característica principal seu alto grau de confiabilidade. A Figura 25 e a Foto 24 ilustram dois filtros-prensa utilizados no tratamento de lodo.

As principais vantagens do filtro-prensa são:

- Torta com alta concentração de sólidos (35%), superior à obtida em outros equipamentos mecânicos;
- Elevada captura de sólidos;
- Qualidade do efluente líquido (clarificado);
- Baixo consumo de produtos químicos para condicionamento do lodo.

O ciclo de operação do filtro-prensa varia entre 3 e 5 horas, podendo ser dividido em três etapas básicas: a) enchimento, b) filtração sob pressão

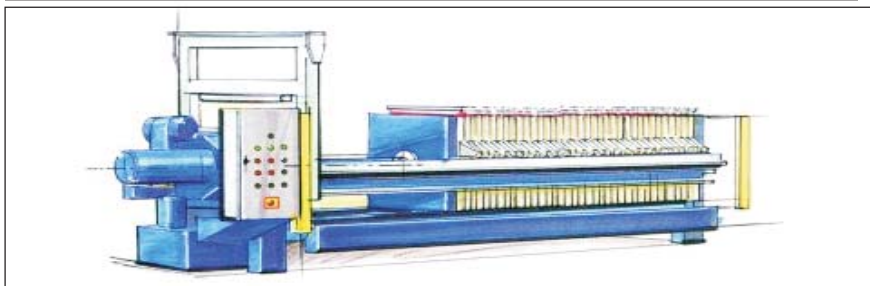


Figura 25 – Filtro-Prensa Utilizado no Tratamento de Lodo

Fonte: Lathaminternational



Foto 24 – Filtro-Prensa Utilizado no Tratamento de Lodo

Fonte: USP

máxima e c) descarga de torta. A duração do tempo de cada batelada varia de acordo com a vazão da bomba de alimentação, tipo de lodo, teor de sólidos e filtrabilidade do lodo afluente, e tipo, estado e grau de limpeza da tela. Atualmente, os filtro-prensa são automatizados, reduzindo sobremaneira a necessidade de mão-de-obra. O peso do equipamento, seu custo de aquisição e a necessidade de substituição regular das telas de filtração fazem com que o uso de filtro prensa seja limitado a ETE de médio e grande porte. A Tabela 17 mostra o desempenho típico de um filtro-prensa na desidratação de lodo.

Tabela 17 – Desempenho Típico de um Filtro-Prensa na Desidratação de Lodo

Tipo de lodo	Teor de sólidos na torta (%)	Ciclo (h)
Primário	45	2,0
Primário + ativado	45	2,5
Lodo ativado	45	2,5
Primário anaeróbico	36	2,0
Anaeróbico + ativado	45	2,0

Fonte: Andreoli, Von Sperling e Fernandes (2001)

2.4.5 – Secagem térmica

O processo de secagem térmica é uma das mais eficientes e flexíveis formas de redução do teor de umidade de “tortas” oriundas da desidratação de lodos orgânicos domésticos e industriais disponíveis atualmente. Pode ser utilizado em diferentes tipos de lodo, primário ou digerido, sendo recomendável na alimentação um teor de sólido entre 15% e 30%, obtido por meio de desidratação mecânica. Lodos destinados à incineração necessitam de teor de sólido entre 30% e 35% a fim de garantir a operação autotérmica do incinerador; para disposição em aterros sanitários é aconselhável um teor de sólidos em torno de 65%, enquanto o produto destinado ao mercado agrícola por intermédio de venda no varejo (utilização irrestrita) necessita de teores de sólido acima de 90%. Em condições ideais, são necessários 2.744kJ (655kcal) de energia para evaporar 1kg de água presente no lodo; em condições operacionais normais este valor costuma ser acrescido em até 100%. A demanda total de energia dependerá da eficiência do equipamento escolhido e do tipo de lodo processado; parte desta energia deverá vir de fontes exter-

nas, como óleo combustível, gás natural etc. Para o caso de lodos anaeróbios, pode-se utilizar o biogás gerado no digestor como fonte auxiliar de energia. Os principais benefícios da secagem térmica do lodo são:

- Redução significativa no volume de lodo;
- Redução no custo de transporte e estocagem (quando for o caso);
- Produto estabilizado facilmente estocado, manuseado e transportado;
- Produto final praticamente livre de patógenos;
- Preservação das propriedades agrícolas do lodo;
- Não necessita de equipamento especial para ser utilizado na agricultura;
- Pode ser incinerado ou disposto em aterro sanitário.

O Quadro 33 sumariza todas etapas envolvidas no tratamento do lodo, assim como as variantes de cada etapa.

Adensamento	→	Estabilização	→	Condicionamento	→	Desidratação	→	Higienização	→	Disposição Final
✓ Adensamento por gravidade ✓ Flotação ✓ Centrífuga ✓ Filtro prensa de esteiras	→	✓ Digestão anaeróbia ✓ Digestão aeróbia ✓ Tratamento térmico ✓ Estabilização química	→	✓ Condicionamento químico ✓ Condicionamento térmico	→	✓ Leitos de secagem ✓ Lagoas de lodo ✓ Filtro prensa ✓ Centrífuga ✓ Filtro prensa de esteiras ✓ Filtro a vácuo ✓ Secagem rápida	→	✓ Adição de cal (caleação) ✓ Tratamento térmico ✓ Compostagem ✓ Oxidação úmida ✓ Outros	→	✓ Reciclagem agrícola ✓ Recuperação de áreas degradadas ✓ <i>Landfarming</i> (disposição no solo) ✓ Uso não-agrícola (fabric. lajetas, combustível etc) ✓ Incineração ✓ Oxidação úmida ✓ Aterro sanitário

Quadro 33 – Etapas Envolvidas no Tratamento do Lodo e Variantes de Cada Etapa
 Fonte: Von Sperling (2005)

Capítulo 9

CUSTOS DE ETE

1 – INTRODUÇÃO

Os custos de implantação e operação de ETE variam com o processo e grau de tratamento adotados. Além deste aspecto, os custos podem ser altamente influenciados por outros fatores como geotecnia, topografia, mão-de-obra, insumos etc. É relativamente grande a disparidade de custos encontrados nos projetos nacionais, devido, em parte, a fatores intrínsecos ao processo de tratamento, e de natureza econômica, como inflação, moeda nacional, custos financeiros. Aliado a isso, nem sempre as concessionárias de saneamento ou projetistas dispõem de indicadores confiáveis para estimativa e projeção de custos, ou, ainda, podem-se comparar custos nacionais com custos levantados em outros países. Por exemplo, na América Latina, os gastos com mão-de-obra são bem menores quando comparados a países como Estados Unidos e a maioria dos países europeus, assim como há um custo alto para importação de equipamentos.

2 – CURVAS DE CUSTO E SEGREGAÇÃO DOS CUSTOS

A literatura internacional publica uma razoável quantidade de informações sob a forma de curvas de custo. Ao se utilizarem curvas de custo de outros países, deve-se ter muito cuidado. A transposição desses valores para as condições brasileiras deve ser feita levando-se em conta:

1. A mão-de-obra: produtividade e salários diferentes;
2. Os materiais empregados: concreto e aço, com preços diversos;
3. Os equipamentos eletromecânicos: nacionais ou importados;
4. Obras complementares, incluídas ou não nos custos: urbanização, paisagismo, edificações;
5. O grau de automação e informatização;

6. O *overhead* dos contratos: bases diversas;
7. O valor do terreno: incluído ou não nos custos; e
8. Custos financeiros.

A Tabela 18 apresenta um exemplo de todos os serviços e materiais envolvidos na construção de uma ETE e seus respectivos percentuais de contribuição em relação ao valor total da obra.

Tabela 18 – Exemplo de Segregação de Custos de uma ETE

Discriminação	Percentual (%)
Serviços gerais e infra-estrutura	17,5
Eletricidade, instrumentação e automação	14,1
Elevatória de esgoto bruto	6,6
Unidades de tratamento preliminar	3,2
Unidades de tratamento primário	6,7
Unidades de tratamento secundário	38,8
Unidades de tratamento do lodo	11,2
Interligações entre unidades	1,1
Urbanização	0,8

Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

3 – CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Na realização de um estudo de alternativas de tratamento de esgotos, os custos totais destas são normalmente calculadas pelo uso de custos unitários: em US\$/habitante ou US\$/m³/s. Os valores estrangeiros em dólares não devem ser transformados diretamente em reais, uma vez que os componentes dos custos têm pesos diferentes nos diversos países. Já os valores nacionais convertidos e apresentados em dólares podem, muitas vezes, não corresponder à realidade, uma vez que as taxas de conversão são sujeitas a fatores político-econômico diversos.

De forma a resolver tal impasse, buscou-se identificar custos de ETE construídas recentemente no Brasil, atualizar os respectivos valores e realizar o ajustamento da curva mais apropriada. A melhor forma de atualizar o custo em reais de uma ETE para a data desejada é através de índices econômicos nacionais, como, por exemplo, o Índice Nacional de Custo da Cons-

trução (INCC), série INCC – Total – Média Geral, publicado pela Fundação Getúlio Vargas.

Nas Tabelas 19, 20 e 21, são mostrados os custos de implantação de ETE no Brasil, para os sistemas de lodos ativados convencional, lodos ativados em batelada e lagoas de estabilização, respectivamente.

Tabela 19 – Custo de Implantação de ETE de Lodos Ativados Convencional Construídas no Brasil

ETE	População (hab)	Vazão (L/s)	Custo Implantação (R\$ x 10 ⁶)	Custo Implantação/hab . (R\$/hab)
ETE1	205.800	900	28,94	140,6
ETE2	333.333	1.350	102,45	307,4
ETE3	1.231.481	2.500	184,35	149,7
ETE4	1.320.000	3.000	169,10	128,1
ETE5	1.500.000	5.000	236,49	157,7
Média				176,7

Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

Data-base: Nov./2002

Tabela 20 – Custo de Implantação de ETE de Lodos Ativados em Batelada Construídas no Brasil

ETE	População (hab)	Vazão (L/s)	Custo Implantação (R\$ x 10 ⁶)	Custo Implantação/hab . (R\$/hab)
ETE1	3.000	7	0,41	136,7
ETE2	3.000	7	0,44	146,7
ETE3	12.500	21	1,51	120,8
ETE4	10.907	35	2,16	198,0
ETE5	31.240	55	5,62	179,9
ETE6	40.000	94	5,49	137,3
ETE7	41.620	98	6,96	167,2
ETE8	59.050	184	11,67	197,6
ETE9	67.000	207	10,14	151,3
ETE10	91.420	233	12,50	136,7
Média				157,2

Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

Data-base: Nov./2002

Tabela 21 – Custo de Implatação de ETE de por Lagoas de Estabilização no Brasil

ETE	População (hab)	Vazão (L/s)	Custo Implantação (R\$ x 10 ⁶)	Custo Implantação/hab . (R\$/hab)
ETE1	4.800	7,9	0,24	50,0
ETE2	5.700	9,5	0,21	36,8
ETE3	12.296	29,0	0,98	80,0
ETE4	15.499	35,3	1,33	85,9
ETE5	21.000	34,7	1,55	73,8
ETE6	29.600	86,0	2,64	89,3
			Média	69,3

Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

Data-base: Nov./2002

De posse dos dados mostrados acima, foi possível a construção das curvas de custo mostradas nos Gráficos 1, 2 e 3 para os sistemas aeróbios de lodos ativados convencional e em batelada e lagoas de estabilização.

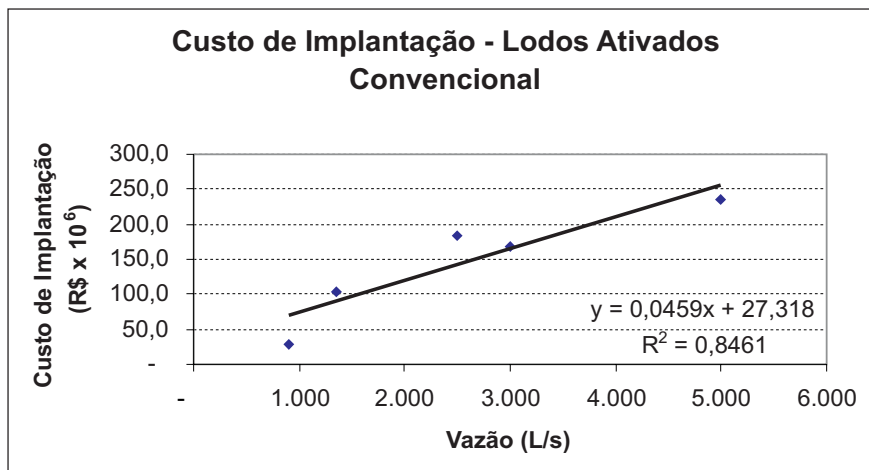


Gráfico 1 – Curvas de Custos Para os Sistemas de Lodos ativados Convencional

Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

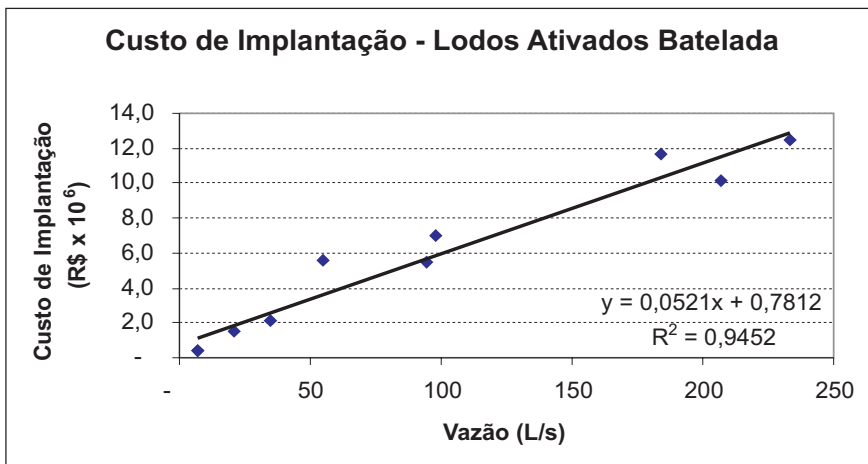


Gráfico 2 – Curvas de Custo Para os Sistemas de Lodos Ativados em Batelada
 Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

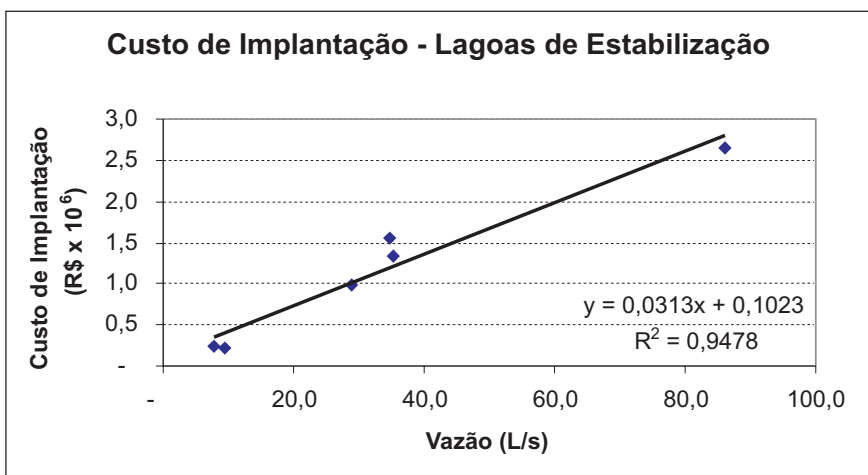


Gráfico 3 – Curvas de Custo Para Lagoas de Estabilização
 Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

4 – UASB COM PÓS-TRATAMENTO

Foram levantados custos de implantação de sistemas com reatores UASB com pós-tratamento, utilizando lagoas aeradas, lagoas de polimento, filtros submersos aerados e filtros anaeróbios. É possível estabelecer uma relação média de R\$ 62/hab. A observação desses custos permite alguns comentários, a seguir apresentados.

O tratamento convencional de esgotos por processos de lodos ativados e suas variantes (como aeração prolongada e por batelada), ou ainda com tratamento terciário, atingindo adequada remoção de nutrientes, exige maiores investimentos para implantação e manutenção das ETE, mas são os processos que garantem, se bem operados, maior eficiência final e menor necessidade de área de implantação por habitante. Não obstante, soluções mais simples, de menor custo, para baratear a implantação de sistemas de tratamento de esgotos, devem ser consideradas, avaliando-se qual a melhor alternativa para implantação da ETE do ponto de vista da eficiência do tratamento, econômico, área disponível, facilidade de operação e manutenção, exigências legais e questões ambientais.

Em algumas situações, existe disponibilidade de área para implantar lagoas ou mesmo tratamento por disposição no solo, enquanto há outras situações em que não só o espaço físico para a implantação da ETE norteia a escolha do processo de tratamento ou, algumas vezes, a restrição de descarte do efluente. Assim, a alternativa final a ser adotada deve considerar as maiores vantagens do ponto de vista técnico, econômico e ambiental, devendo-se buscar ainda o apoio da população local a fim de viabilizar a implantação do projeto da forma mais rápida e harmoniosa.

A Tabela 22 mostra o custo de implantação de ETE compostas de reatores UASB seguido de pós-tratamentos, cujo fluxograma dos processos é esquematicamente mostrado nas Figuras 28 a 43 (CHERNICHARO, 2001).

- Sistema 1: ETE convencional com sistema de lodos ativados (com decantador primário, tanque de aeração e decantador secundário, adensador de lodo e digestor anaeróbio);
- Sistema 2: ETE convencional com filtro biológico de alta taxa (com decantador primário, filtro biológico e decantador secundário, adensador de lodo e digestor anaeróbio);

Tabela 22 – Custo de Implantação de Diferentes Pós-Tratamentos de Reatores UASB

ETE	População (hab)	Vazão (L/s)	Custo Implantação (R\$ x 10 ⁶)	Custo Implantação/hab (R\$/hab)
ETE1	60.000	112,0	2,4	40,5
ETE2	84.853	154,0	3,6	42,9
ETE3	77.700	226,0	5,9	75,9
ETE4	23.479	85,0	2,3	96,6
ETE5	33.161	54,3	2,2	65,9
ETE6	5.000	10,0	0,5	90,4
ETE7	125.500	320,0	6,4	51,3
ETE8	15.000	35,0	1,2	78,3
ETE9	24.534	38,2	1,5	61,5
ETE10	17.913	34,4	1,6	88,9
ETE11	81.240	125,3	3,8	46,6
ETE12	41.811	107,3	2,8	66,1
ETE13	47.585	61,1	1,9	40,3
ETE14	11.987	22,9	0,5	44,8
ETE15	9.072	29,7	0,6	70,9
ETE16	18.191	26,9	0,5	29,0
ETE17	70.622	95,2	1,9	26,8
			Média	60,2

Fonte: Jordão e Pessoa (2005)

Data-base: Nov./2002

- Sistema 3: ETE com sistema de lodos ativados por aeração prolongada (qc = 18 a 30 dias, sem decantador primário);
- Sistema 4: ETE com sistema de lodos ativados de alta taxa (qc = 1,5 a 2,0 dias), sem decantador primário e sem digestor de lodo; tanque de aeração com oxigênio puro ou através de poço profundo tipo *deep shaft*);
- Sistema 5: ETE com reator UASB seguido de sistema de lodos ativados;
- Sistema 6: ETE com reator UASB seguido de filtro biológico de alta taxa;
- Sistema 7: ETE com reator UASB seguido de filtro aerado submerso ou biodisco (sem nitrificação);

- Sistema 8: ETE com reator UASB seguido de filtro aerado submerso, com material de enchimento granular (sem nitrificação) e sem decantador secundário;
- Sistema 9: ETE com lagoas aeradas (mistura completa) seguidas de lagoas de decantação;
- Sistema 10: ETE com reator UASB seguido de lagoa aerada aeróbia (mistura completa) e de lagoas de decantação;
- Sistema 11: ETE com reator UASB seguido de lagoas de polimento;
- Sistema 12: ETE com reator UASB seguido de filtro anaeróbio;
- Sistema 13: ETE com reator UASB seguido de flotação por ar dissolvido;
- Sistema 14: ETE com reator UASB seguido de escoamento superficial no solo;
- Sistema 15: ETE com reator UASB seguido de vala de filtração;
- Sistema 16: ETE com reator UASB seguido de terras úmidas (*wetlands*);
- Sistema 17: ETE com reator UASB seguido de escoamento sub-superficial.

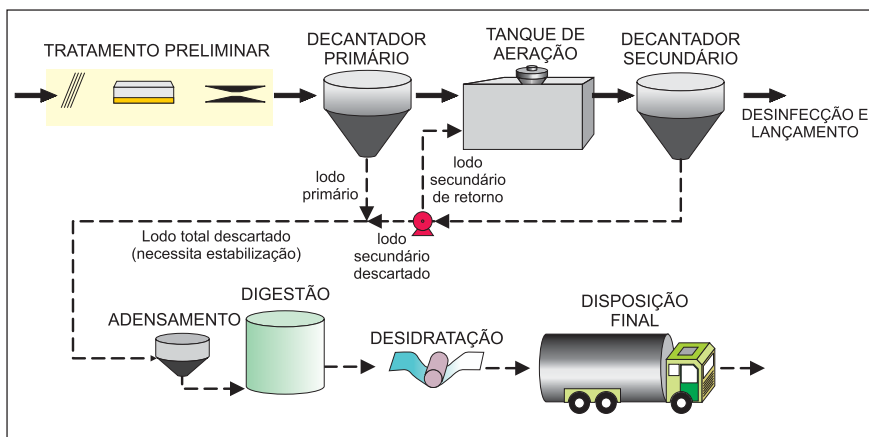


Figura 26 – ETE com um Sistema de Lodos Ativados Convencional

Fonte: Elaboração do autor

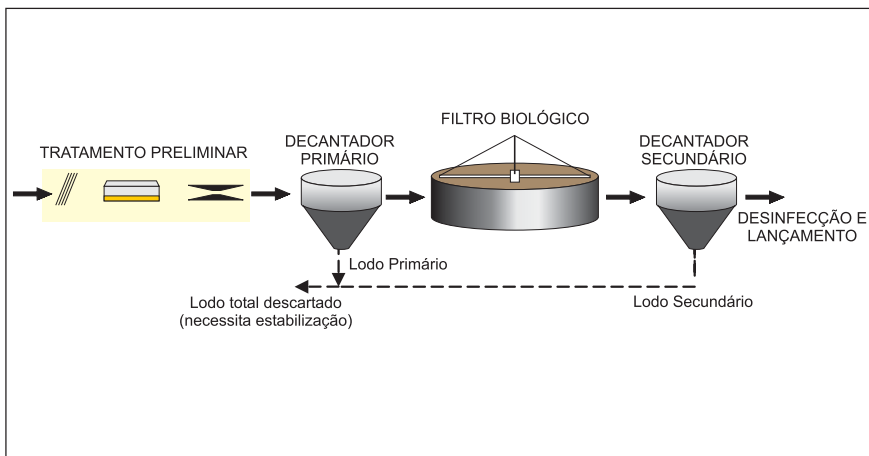


Figura 27 – ETE com um Sistema de Filtros Biológicos de alta Taxa

Fonte: Elaboração do autor

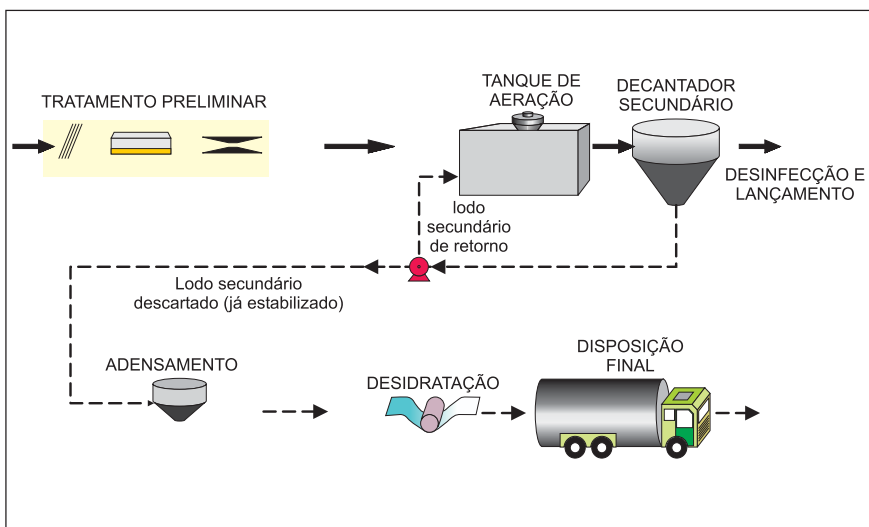


Figura 28 – ETE com um Sistema de Lodos Ativados por Aeração Prolongada

Fonte: Elaboração do autor

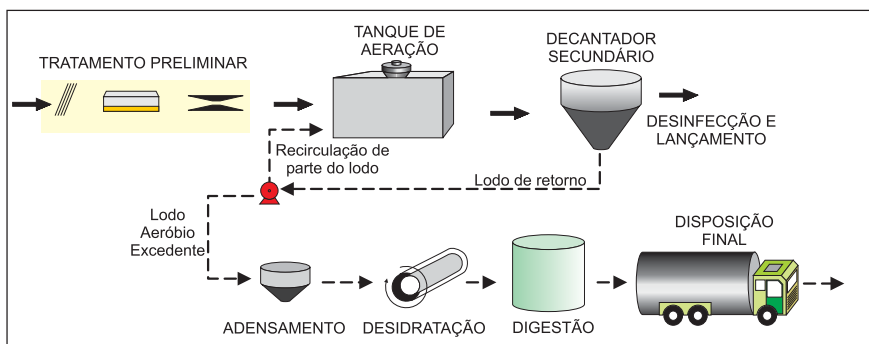


Figura 29 – ETE com Sistema de Lodos Ativos de Alta Taxa

Fonte: Elaboração do autor

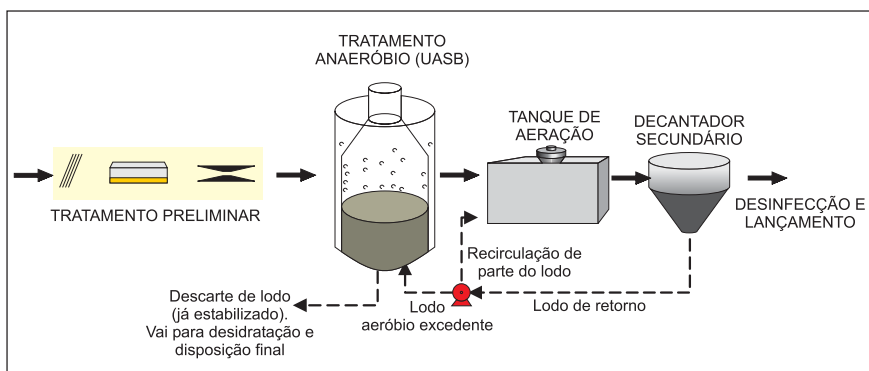


Figura 30 – ETE com Reator UASB seguido de Sistema de Lodos Ativos

Fonte: Elaboração do autor

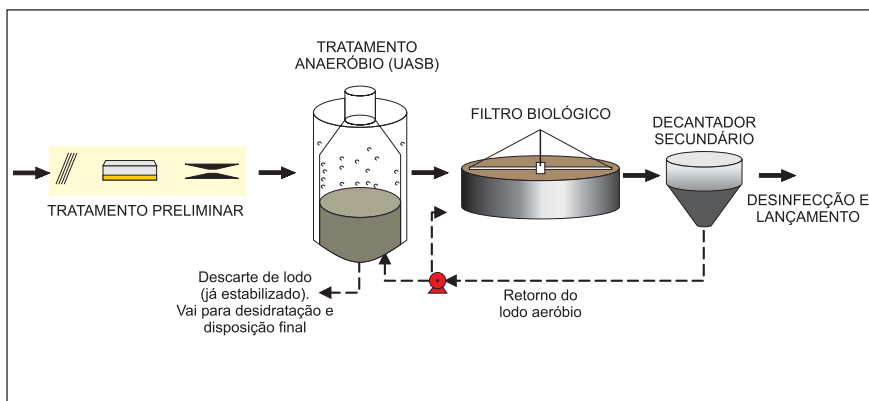


Figura 31 – ETE com Reator UASB seguido de Filtro Biológico de Alta Taxa

Fonte: Elaboração do autor

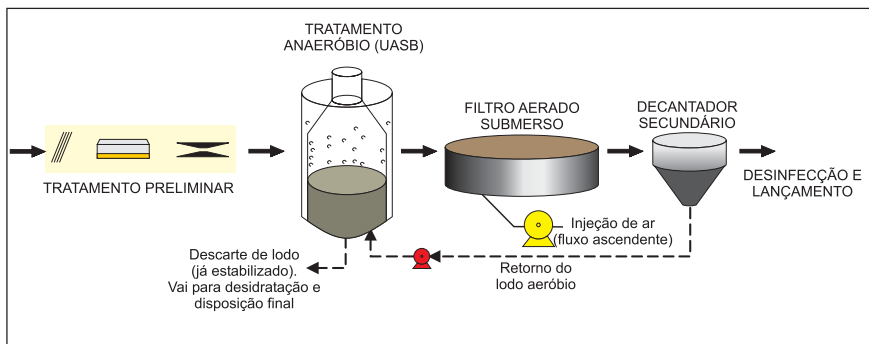


Figura 32 – ETE com Reator UASB Seguido de Filtro Aerado Submerso ou Biodisco

Fonte: Elaboração do autor

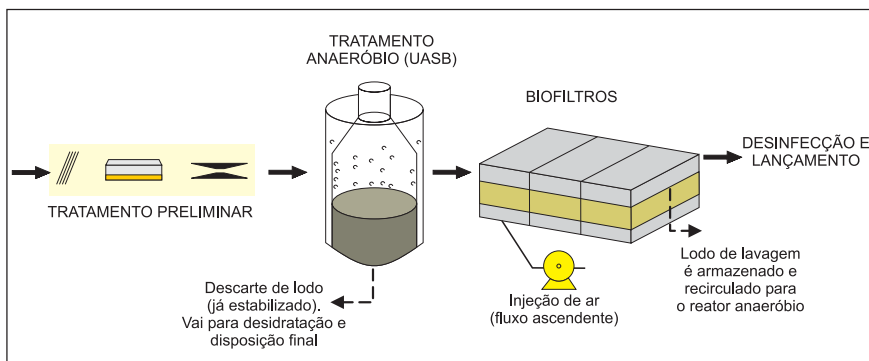


Figura 33 – ETE com Reator UASB Seguido de Filtro Aerado Submerso

Fonte: Elaboração do autor

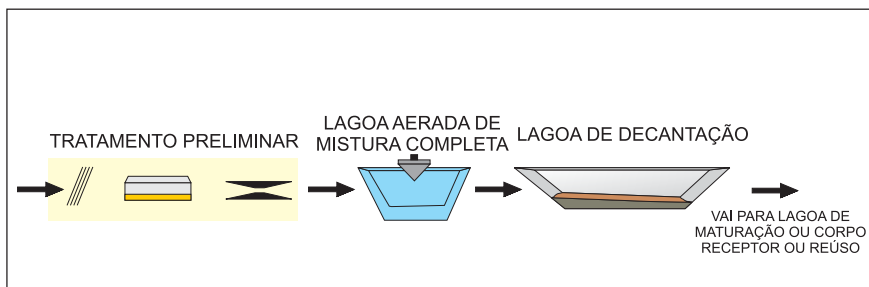


Figura 34 – ETE com Lagoas Aeradas (Mistura Completa) Seguidas de Lagoas de Decantação

Fonte: Elaboração do autor

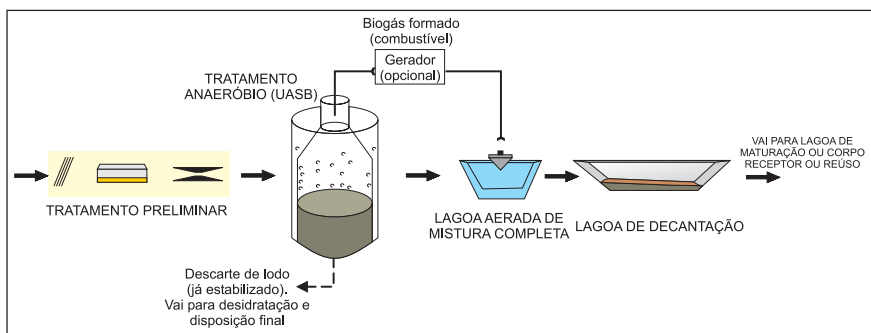


Figura 35 – ETE com Reator UASB Seguido de Lagoa Aerada Aeróbia (Mistura Completa e de Lagoas de Decantação)

Fonte: Elaboração do autor

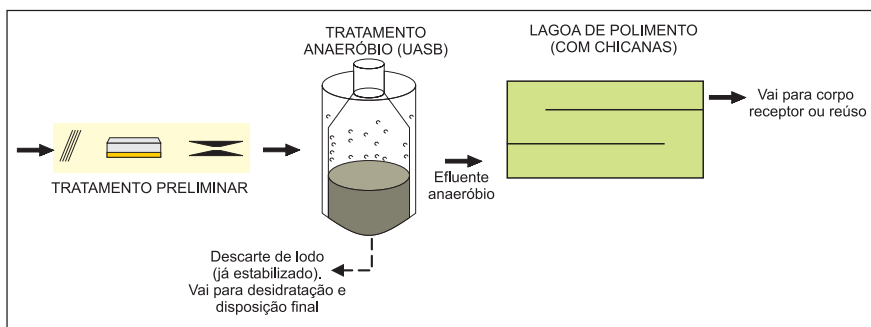


Figura 36 – ETE com Reator UASB Seguido de Lagoa Polimento

Fonte: Elaboração do autor

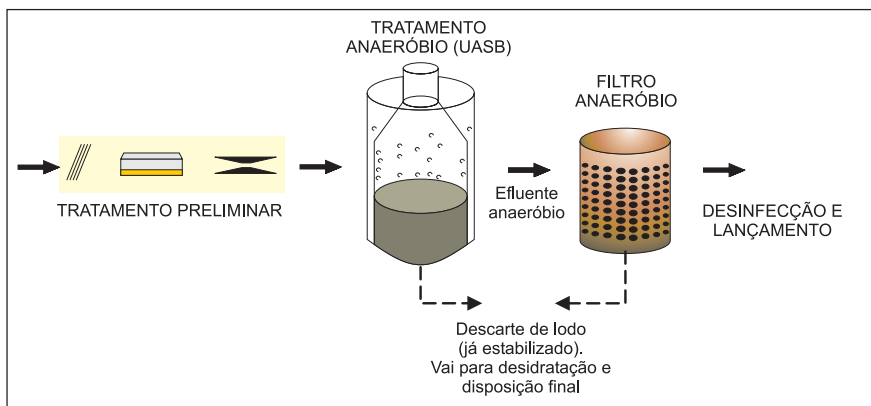


Figura 37 – ETE com Reator UASB Seguido de Filtro Anaeróbio

Fonte: Elaboração do autor

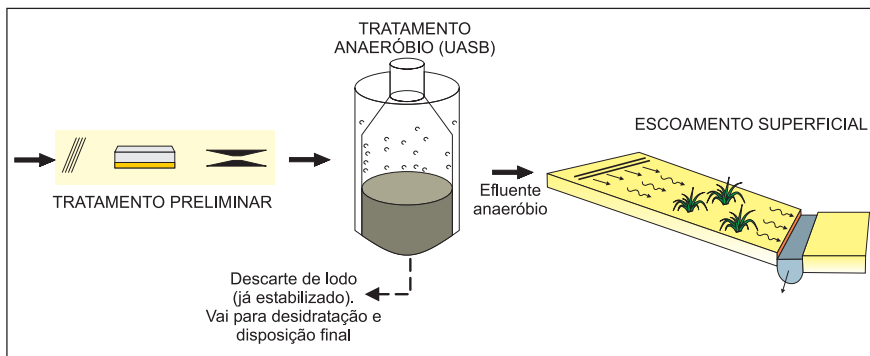


Figura 38 – ETE com Reator UASB Seguido de Escoamento Superficial no Solo

Fonte: Elaboração do autor

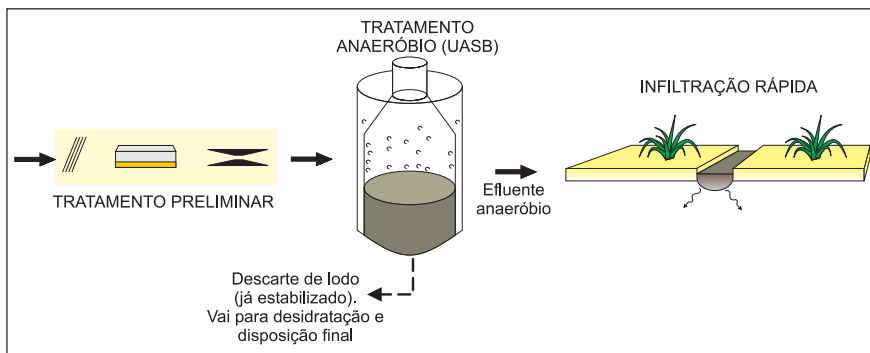


Figura 39 – ETE com Reator UASB Seguido de Vala de Filtração

Fonte: Elaboração do autor

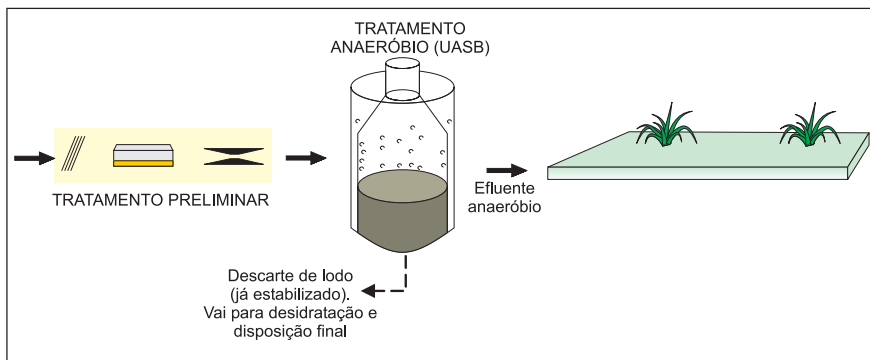


Figura 40 – ETE com Reator UASB Seguido de Terras Úmidas

Fonte: Elaboração do autor

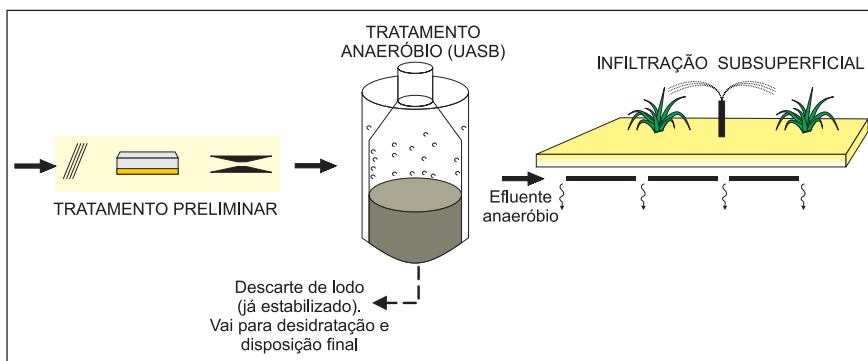


Figura 41 – ETE com Reator UASB Seguido de Escoamento Subsuperficial

Fonte: Elaboração do autor

Um comparativo técnico-financeiro entre vários processos de tratamento de esgotos sanitários adotados no Brasil é mostrado na Tabela 23.

Tabela 23 – Comparativo Técnico/Financeiro Entre Vários Processos de Tratamento de Esgotos Sanitários

Continua

Sistema	Demanda de área (m2)	Potência para aeração		Custos	
		Potência instalada (W/hab)	Potência consumida (W/hab)	Implantação (R\$/hab)	Operação (R\$/hab)
Tratamento primário (tanques sépticos)	0,03-0,05	0	0	30-50	1,5-2,5
Tratamento primário convencional	0,02-0,04	0	0	30-50	1,5-2,5
Lagoa facultativa	2,0-4,0	0	0	40-80	2,0-4,0
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	1,5-3,0	0	0	30-75	2,0-4,0
Lagoa aerada facultativa	0,25-0,50	1,2-2,0	11-18	50-90	5,0-9,0
Lagoa aerada mistura completa - lagoa de sedimentação	0,2-0,4	1,8-2,5	16-22	50-90	5,0-9,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de maturação	3,0-5,0	0	0	50-100	2,5-5,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa de alta taxa	2,0-3,5	<0,3	<2	50-90	3,5-6,0
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + remoção de algas	1,7-3,2	0	0	50-90	3,5-6,0
Infiltração lenta	10-50	0	0	20-60	1,0-3,0
Infiltração rápida	1,0-6,0	0	0	30-70	1,5-3,5
Escoamento superficial	2,0-3,5	0	0	40-80	2,0-4,0
Terras úmidas construídas	1,7-3,2	0	0	50-80	2,5-4,0
Tanque séptico + filtro anaeróbio	0,2-0,35	0	0	80-130	6,0-10
Tanque séptico + infiltração	1,0-1,5	0	0	60-100	3,0-5,0

Tabela 23 – Comparativo Técnico/Financeiro Entre Vários Processos de Tratamento de Esgotos Sanitários

Conclusão

Sistema	Demanda de área (m2)	Potência para aeração		Custos	
		Potência instalada (W/hab)	Potência consumida (W/hab)	Implantação (R\$/hab)	Operação (R\$/hab)
Reator UASB	0,03-0,10	0	0	30-50	2,5-3,5
UASB + lodos ativados	0,08-0,20	1,8-3,5	14-20	70-110	7,0-12
UASB + biofiltro aerado submerso	0,05-0,15	1,8-3,5	14-20	65-100	7,0-12
UASB + filtro anaeróbio	0,05-0,15	0	0	45-70	3,5-5,5
UASB + filtro biológico percolador de alta taxa	0,1-0,2	0	0	60-90	5,0-7,5
UASB + flotação por ar dissolvido	0,05-0,15	1,0-1,5	8-12	60-90	6,0-9,0
UASB + lagoas de polimento	1,5-2,5	0	0	40-70	4,5-7,0
UASB + lagoa aerada facultativa	0,15-0,30	0,3-0,6	2-5	40-90	5,0-9,0
UASB + lagoa aerada de mistura completa + lagoa decantação	0,1-0,3	0,5-0,9	4-8	40-90	5,0-9,0
UASB + escoamento superficial	1,5-3,0	0	0	50-90	5,0-7,0
Lodos ativados convencional	0,12-0,25	2,5-4,5	18-26	100-160	10-20
Lodos ativados aeração prolongada	0,12-0,25	3,5-5,5	20-35	90-120	10-20
Lodos ativados batelada aeração prolongada	0,12-0,25	4,5-6,0	20-35	90-120	10-20
Lodos ativados convencional com remoção biológica de N	0,12-0,25	2,2-4,2	15-22	110-170	10-22
Lodos ativados convencional com remoção biológica de N/P	0,12-0,25	2,2-4,2	15-22	130-190	10-25
Filtro biológico percolador de baixa carga	0,15-0,30	0	0	120-150	10-15
Filtro biológico percolador de alta carga	0,12-0,25	0	0	120-150	10-15
Biofiltro aerado submerso com nitrificação	0,1-0,15	2,5-4,5	18-26	70-120	8-15
Biofiltro aerado submerso com remoção biológica de N	0,1-0,15	2,5-4,2	15-22	80-130	8-15
Tanque séptico - biodisco	0,1-0,2	0	0	120-150	10-15

Fonte: Von Sperling (2005)

1 US\$ = R\$ 2,70 (2º semestre de 2004); Área total da ETE.

Capítulo 10

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1 – INTRODUÇÃO

O presente estudo técnico objetivou propiciar um entendimento amplo e integrado do tratamento de esgotos sanitários, o qual foi propositadamente escrito em uma linguagem de fácil compreensão para servir de material de consulta dos técnicos do BNB. Este capítulo de desfecho foi dividido em duas partes, uma dando o panorama geral do tratamento de esgotos sanitários no Brasil e na região Nordeste, e uma outra parte dando algumas conclusões e recomendações dos tratamentos mais adequados à região.

2 – PRINCIPAIS TRATAMENTOS DE ESGOTOS UTILIZADOS NO BRASIL E NA REGIÃO NORDESTE

2.1 – Sanitário

Para abordar este item, utiliza-se de um diagnóstico de alguns dos sistemas de tratamento de esgotos sanitários construídos no Brasil, solicitado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Inicialmente, a pesquisa concentrou-se nos Estados de Minas Gerais e São Paulo, mas há uma tendência de esse diagnóstico se estender para os demais Estados brasileiros. A Tabela 24 mostra os principais tipos de tratamento de esgotos sanitários nos supracitados Estados e a Tabela 25 mostra uma comparação entre as eficiências citadas na literatura e as verificadas no estudo.

Como é mostrado na Tabela 24, para o Estado de Minas Gerais, os sistemas de tratamento de esgotos mais utilizados incluem o reator anaeróbio UASB, quer projetado sem pós-tratamento (6 ETE), quer projetado com pós-tratamento (8 ETE). Em terceiro lugar, vem o sistema de lodos ativados (LA), cujas estações provavelmente são as mais antigas, tempo em que se duvidava do potencial do tratamento anaeróbio.

Na mesma Tabela 24, para o Estado de São Paulo, observa-se que os sistemas de lagoas de estabilização são disparadamente os tratamentos de esgotos mais utilizados, representando cerca de 70% das ETE. De forma análoga a Minas Gerais, os reatores anaeróbios vêm ganhando destaque como opção de pré-tratamento.

No que tange aos valores de eficiência mostrados na Tabela 25, observa-se que, normalmente, sistemas compostos de reatores UASB, seguidos por algum tipo de pós-tratamento, são os que fornecem as melhores eficiências, principalmente na remoção de coliformes fecais.

Na região Nordeste, o sistema de tratamento de esgotos mais utilizado é o de lagoas de estabilização, seguindo o panorama do Estado de São Paulo. Tal sistema é amplamente utilizado como opção de tratamento, principalmente no interior dos Estados, onde a mão-de-obra qualificada para operar as ETE não é abundante e se deseja minimizar os custos com operação e manutenção. Dentro do sistema de lagoas de estabilização, as lagoas facultativas seguidas de lagoas de maturação são as mais utilizadas; em segundo

Tabela 24 – Principais Tipos de Tratamento de Esgotos Sanitários nos Estados de Minas Gerais e São Paulo

Tipo de entidade	Nome	Número de ETE por modalidade de tratamento						
		FS+FA	LF	LAN+LF	LA	UASB	UASB+POS	No TOTAL
Cia. Estadual de Saneamento	COPASA	2	2	1	6	4	3	18
Órgão ambiental	FEAM	1	1	2		2	1	7
Prestador de serviço municipal	Diversos					2	2	4
Órgão de pesquisa	UFMG					2	2	4
Total de ETE em Minas Gerais		3	3	3	6	10	8	33
Cia. Estadual de Saneamento	SABESP	16	70	40	5			131
Prestador de serviço municipal	Diversos				2			2
Total de ETE em São Paulo		16	70	40	7	0	0	133
Total geral de ETE		19	73	43	13	10	8	166

Fonte: Oliveira e Von Sperling (2005)

Legenda: FS+FA (Fossa Séptica seguida de Filtro Anaeróbio); LF (Lagoa Facultativa); LAN+LF (Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa); LA (Lodos Ativados); UASB (Reatores UASB sem pós-tratamento); UASB+POS (Reatores UASB com pós-tratamento)

Tabela 25 – Comparação Entre as Eficiências Citadas na Literatura e as Verificadas no Estudo

Constituinte	Faixas	FS+FA	LF	LAN+LF	LA	UASB	UASB+POS
DBO (%)	Literatura	80 a 85	75 a 85	75 a 85	85 a 97	60 a 75	75 a 93
	Reais	36 a 82	65 a 84	73 a 88	74 a 96	65 a 79	85 a 92
DQO (%)	Literatura	70 a 80	65 a 80	65 a 80	80 a 93	55 a 70	65 a 90
	Reais	18 a 78	40 a 72	65 a 78	62 a 93	44 a 77	64 a 86
SST (%)	Literatura	80 a 90	70 a 80	70 a 80	87 a 93	65 a 80	70 a 97
	Reais	39 a 86	23 a 69	35 a 78	53 a 95	57 a 81	71 a 92
NT (%)	Literatura	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 30 a 65
	Reais	3 a 39	34 a 58	26 a 60	20 a 78	-19 a -6	-
PT (%)	Literatura	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35 a 88
	Reais	-27 a 45	32 a 63	20 a 50	35 a 55	-21 a 16	-8 a 49
CF (unid. log removidas)	Literatura	0,5 a 1,5	1 a 2	1 a 2	1 a 2	0,5 a 1,5	1 a 5
	Reais	0,5 a 1,8	1,0 a 2,4	1,6 a 3,0	1,4 a 2,8	1 a 1,3	0,8 a 5,2

Fonte: Oliveira e Von Sperling (2005)

Legenda: FS+FA (Fossa Séptica seguida de Filtro Anaeróbio); LF (Lagoa Facultativa); LAN+LF (Lagoa Anaeróbia seguida de Lagoa Facultativa); LA (Lodos Ativados); UASB (Reatores UASB sem pós-tratamento); UASB+POS (Reatores UASB com pós-tratamento)

lugar vêm as lagoas anaeróbias, seguidas de lagoas facultativas e de maturação. Entretanto, mesmo no interior dos Estados, o uso de reatores UASB vem aumentando a cada ano.

Como estudo de caso, para os centros urbanos pegou-se a cidade de Fortaleza, onde o sistema de Fossa Séptica ou decanto digestor, seguido de filtro anaeróbio, é o tratamento mais utilizado, seguido dos sistemas de lagoas de estabilização. Verifica-se a inclusão em algumas ETE de tratamento anaeróbio por meio de reator UASB, seguido de cloração. Recentemente, algumas ETE são projetadas com reatores UASB, seguido de biofiltros aerados submersos. Quando o bairro está integrado com o sistema de esgotamento sanitário de Fortaleza (Sanear), há apenas um tratamento preliminar (ou somente gradeamento) e uma estação elevatória de esgoto.

2.2 – Industrial

Muito embora o foco do informativo técnico sejam os esgotos sanitários, pretende-se, no presente item, destacar os tipos de tratamento de esgotos mais utilizados em escala industrial. Experencia-se que os tratamentos dos esgotos industriais mais freqüentes na região Nordeste adotam proces-

sos físico-químicos isolados. Um exemplo de ETE é mostrado no estudo de caso descrito a seguir, ou por processos biológicos variados associados a um tratamento físico-químico. No Quadro 34, são mostrados os tratamentos biológicos mais utilizados e as unidades de um tratamento físico-químico.

Para ilustrar as unidades componentes do tratamento físico-químico, mostra-se uma ETE projetada para o tratamento de efluentes têxteis. O tratamento era composto por uma unidade de coagulação-floculação-decantação, seguido pelo polimento através de um filtro de areia. Todas as unidades empregadas, bem como a sua função, são descritas abaixo:

Tratamento preliminar	Gradeamento Caixa de areia Medidor de vazão
Tratamento biológico	Lagoa facultativa aerada ou de mistura completa Lodos ativados (várias indústrias) ou Reator anaeróbio seguido de lodos ativados convencional (várias indústrias, incluindo indústria de papel e cervejarias)
Tratamento físico-químico	Medição de vazão Correção de pH (opcional) Mistura rápida (coagulação) Mistura lenta (floculação) Decanto-adensação Correção final do pH (opcional) Secagem do lodo Desinfecção

Quadro 34 – Tratamento Biológicos Mais Utilizados na Região para os Esgotos Industriais, e as Unidades de um Tratamento Físico-Químico

Fonte: Elaboração do autor.

1. Gradeamento: responsável pela retenção de sólidos de grandes dimensões;
2. Desarenação: operação unitária que retira os sólidos inertes (areia) presentes no efluente;

3. Medição de Vazão de Entrada: feita através de calha Parshall na entrada da equalização;
4. Equalização: realizada através de um tanque aerador, que além de produzir picos de vazão também promove oxidação de metais e matéria orgânica pela injeção de ar, como ainda uma mistura completa do afluente;
5. Peneiramento fino: local onde são retidos fibras têxteis e outros materiais de pequena dimensão, onde era utilizada uma peneira estática;
6. Correção de pH: processo no qual se faz o acerto do pH para o pH ótimo de floculação;
7. Medição de vazão intermediária: responsável pelo controle de vazão da ETE, possibilitando as dosagens otimizadas e corretas de coagulantes;
8. Mistura rápida: para haver a dispersão dos coagulantes adicionados anteriormente;
9. Mistura lenta: responsável pela floculação do efluente;
10. Decanto-adensamento: fenômeno de separação do floco do efluente e sua concentração no fundo do tanque (lodo). O lodo decantado é enviado para o desaguamento no leito de secagem. O efluente, após a passagem pelos vertedores, vai para a filtração em areia;
11. Filtração em areia: os pequenos flocos arrastados através dos vertedores são retidos pelos filtros de areia, sendo a última etapa do processo;
12. Secagem do lodo: feita através das operações evaporação e infiltração, com um tempo aproximado de quatorze dias;
13. Efluente tratado: pode ser descartado no corpo receptor.

Memória fotográfica do estudo de caso



Foto 25 – Entrada do Esgoto Antes da Grade e Caixa de Aréia

Fonte: O Autor



Foto 26 – Medidor de Vazão e Entrada do Esgoto no Tanque de Equalização

Fonte: O Autor



Foto 27 – Tanque de Equalização com Aerador do Tipo Turbina

Fonte: O Autor



Foto 28 – Peneira Estática Localizada Dentro da Casa de Química

Fonte: O Autor



Foto 29 – Dosagem de Coagulantes e Auxiliares de Coagulação

Fonte: O Autor



Foto 30 – Decantador Localizado Após a Mistura Rápida e Lenta

Fonte: O Autor

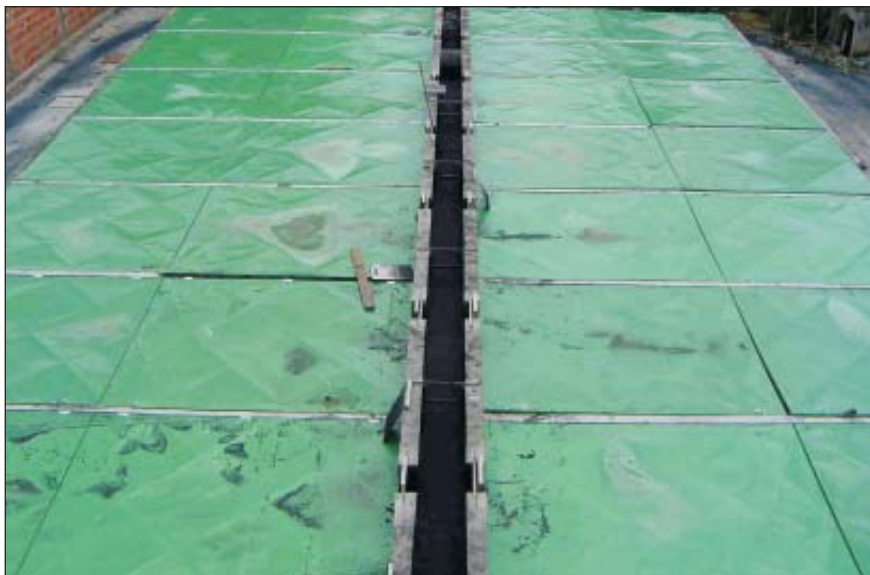


Foto 31 – Leito de Secagem com Cobertura

Fonte: O Autor



Foto 32 – Lodo Têxtil a Ser Disposto em Aterro Sanitário

Fonte: O Autor

3 – RECOMENDAÇÕES PARA O TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS NA REGIÃO NORDESTE

Apesar de a escolha do tratamento de esgoto ser altamente dependente de muitas variáveis, como disponibilidade financeira e de tecnologia, mão-de-obra, clima etc., as quais devem ser analisadas caso a caso, o presente item mostra algumas sugestões de tratamento de esgotos sanitários indicados para a região Nordeste, para o cenário de vazões abaixo de $1\text{m}^3/\text{s}$.

Acredita-se que o uso de reatores anaeróbios do tipo UASB como pré-tratamento (é um tipo de tratamento, mas requer sempre um tratamento complementar chamado de pós-tratamento) de esgotos sanitários deve ser quase sempre considerado, pelas inúmeras vantagens deste tipo de tecnologia, as quais foram abordadas no Capítulo 5. Dentre estas pode-se citar:

- Baixos custos de implantação, operação e manutenção;
- Baixos requisitos de área;
- Possibilidade de controle de odores;
- Baixa demanda de energia;
- Possibilidade de reutilização do biogás;
- O tratamento como um todo torna-se mais barato, diminuindo também os requisitos globais de área.

Para o pós-tratamento de efluentes provenientes de reatores UASB, acredita-se que o uso de lagoas de polimento (Capítulo 6) é altamente indicado (um fluxograma do sistema de tratamento é mostrado na Figura 42). Assim, cerca de 70% da DBO seria removida no reator UASB, e o restante da DBO juntamente com os patógenos (ovos de helmintos, coliformes termotolerantes etc.) seriam removidos na lagoa de polimento. As principais vantagens do uso de lagoas de polimento são:

- Excelente remoção de patógenos (desinfecção);
- Baixo custo de implantação (R\$ 40-70/hab. conforme mostrado no Capítulo 9), operação e manutenção;
- Baixa demanda de energia.

Um empecilho para o uso de lagoas de polimento pode ser a disponibilidade de área, a qual não constitui um grande problema na maioria dos casos dos Estados do Nordeste, com exceção dos centros urbanos, onde ela pode ser o limitante.

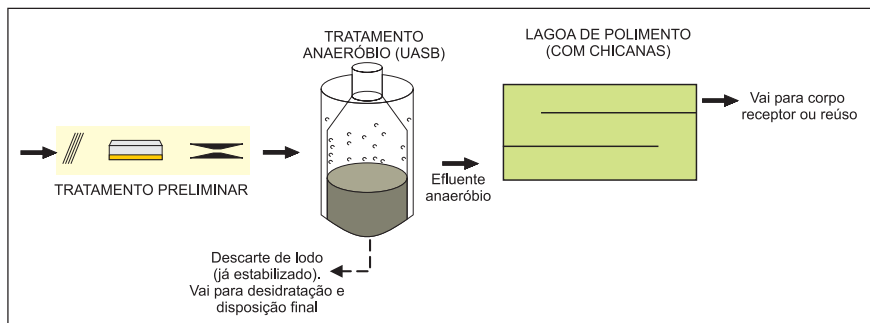


Figura 42 – Fluxograma do Sistema de Tratamento Composto de Reator UASB Seguido por Lagoas de Polimento

Fonte: Elaboração do autor

Especificamente para os centros urbanos, onde se tem disponibilidade de área bastante reduzida, necessita-se de uma tecnologia de pós-tratamento mais compacta. Para essas situações, em que não se pode empregar lagoas de polimento, o uso de Biofiltro Aerado Submerso (BF) (Capítulo 6) como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB pode ser bastante atrativo. Esta tecnologia apresenta como principais vantagens:

- Moderados custos de implantação (R\$ 65-100/hab conforme mostrado no Capítulo 9), operação e manutenção;
- Baixos requisitos de área;
- Possibilidade de controle de odores;
- Bastante eficiente na remoção de DBO.

Um fluxograma do sistema de tratamento composto de reator UASB, seguido por biofiltro aerado submerso, é mostrado na Figura 43.

Como tanto o reator UASB como o BF não são eficientes na remoção de patógenos, necessita-se de uma unidade de desinfecção, situada a jusante do BF. Para pequenas ETE, recomenda-se o uso de cloração, por ser uma tecnologia de baixo custo e bastante conhecida na nossa região, quando com-

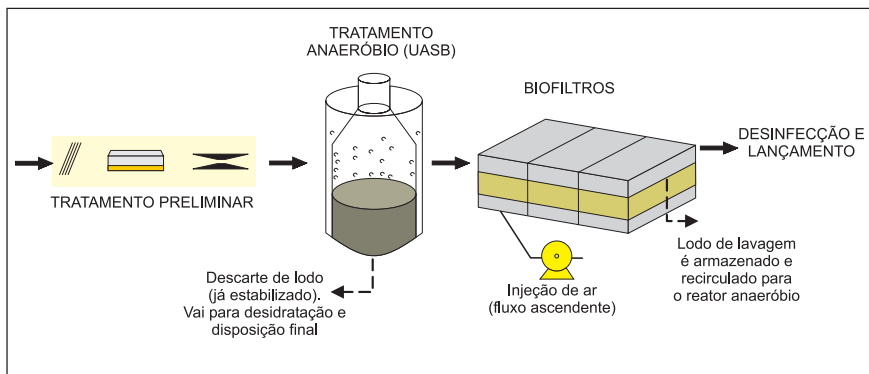


Figura 43 – Fluxograma de Sistema de Tratamento Composto de Reator UASB, Seguido por Biofiltro Aerado Submerso

Fonte: Elaboração do autor

parada com outros processos de desinfecção, como radiação ultravioleta (Capítulo 7).

É conveniente ressaltar a importância de considerar a possibilidade do reúso dos efluentes sanitários tratados em irrigação, produção de alimentos de subsistência, piscicultura, recarga de aquíferos etc., como uma forma de aumentar a oferta hídrica durante o ano inteiro, principalmente em regiões semi-áridas, onde o recurso água é escasso.

Capítulo 11

LEGISLAÇÃO RELATIVA À PROTEÇÃO DA QUALIDADE DOS CORPOS D'ÁGUA

1 – ASPECTOS GERAIS

Há os seguintes tipos de padrão ou diretriz de interesse direto no que tange à qualidade da água em corpos d'água e ao reúso de efluentes tratados:

- Padrões de Qualidade no corpo receptor;
- Padrões de Lançamento no corpo receptor;
- Padrões ou diretrizes de qualidade para determinado uso do efluente tratado (Ex.: irrigação).

2 – PADRÕES DE QUALIDADE DO CORPO RECEPTOR

No Brasil, a Resolução Conama nº 357/2005, a qual veio substituir a Resolução Conama nº 20/1986, dividiu as águas do território nacional em águas doces (salinidade < 0,05%), salobras (salinidade entre 0,05% e 3,0%) e salinas (salinidade > 3%). Em função dos usos previstos (Capítulo II), foram criadas 13 classes, as quais são descritas a seguir (BRASIL, 2005):

Seção I

Das Águas Doces

Art. 4º As águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística.

Seção II

Das Águas Salinas

Art. 5º As águas salinas são assim classificadas:

I - classe especial: águas destinadas:

a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e

b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

a) à recreação de contato primário, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;

b) à proteção das comunidades aquáticas; e

c) à aquicultura e à atividade de pesca.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

a) à pesca amadora; e

b) à recreação de contato secundário.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

a) à navegação; e

b) à harmonia paisagística.

Seção III

Das Águas Salobras

Art. 6º As águas salobras são assim classificadas:

I - classe especial: águas destinadas:

a) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e

b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) à recreação de contato primário, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à aqüicultura e à atividade de pesca;
- d) ao abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; e
- e) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, e à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) à pesca amadora; e
- b) à recreação de contato secundário.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

O Quadro 35 apresenta um resumo dos usos preponderantes em cada classe segundo a Resolução Conama nº 357/2005 (BRASIL, 2005).

3 – CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

Os padrões de qualidade das águas determinados na Resolução Conama nº 357/2005, no seu Capítulo III, estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe (BRASIL, 2005).

Seção II

Das Águas Doces

Art. 14. As águas doces de classe 1 observarão as seguintes condições e padrões:

I - condições de qualidade de água:

Uso	Doces					Salinas				Salobras			
	Esp.	1	2	3	4	Esp.	1	2	3	Esp.	1	2	3
Abastecimento doméstico	☞	☞	☞	☞							☞		
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e ambientes aquáticos	☞					☞				☞			
Proteção das comunidades aquáticas		☞	☞			☞	☞			☞	☞		
Recreação de contato primário		☞	☞				☞				☞		
Irrigação		☞	☞	☞							☞		
Aqüicultura			☞				☞				☞		
Pesca			☞	☞			☞	☞				☞	
Recreação de contato secundário				☞				☞				☞	
Dessedentação de animais				☞									
Navegação					☞				☞				☞
Harmonia paisagística					☞				☞				☞

Quadro 35 – Usos Preponderantes nas Classes de Água Doce, Salina e Salobra

Fonte: Adaptado de Brasil (2005)

a) não verificação de efeito tóxico crônico a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido.

b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

e) corantes provenientes de fontes antrópicas: virtualmente ausentes;

f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato primário deverão ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade,

previstos na Resolução Conama nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

h) DBO 5 dias a 20°C até 3mg/L O₂;

i) OD, em qualquer amostra, não inferior a 6mg/L O₂;

j) turbidez até 40 unidades nefelométricas de turbidez (UNT);

l) cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L; e

m) pH: 6,0 a 9,0.

Art 15. Aplicam-se às águas doces de classe 2 as condições e padrões da classe 1 previstos no artigo anterior, à exceção do seguinte:

I - não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

II - coliformes termotolerantes: para uso de recreação de contato primário deverá ser obedecida a Resolução Conama nº 274, de 2000. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 (seis) amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

III - cor verdadeira: até 75mg Pt/L;

IV - turbidez: até 100 UNT;

V - DBO₅ dias a 20°C até 5mg/L O₂;

VI - OD, em qualquer amostra, não inferior a 5mg/L O₂;

VII - clorofila *a*: até 30mg/L;

VIII - densidade de cianobactérias: até 50.000cel/mL ou 5mm³/L; e,

IX - fósforo total:

a) até 0,030mg/L, em ambientes lênticos; e

b) até 0,050mg/L, em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico.

Art. 16. As águas doces de classe 3 observarão as seguintes condições e padrões:

I - condições de qualidade de água:

a) não verificação de efeito tóxico agudo a organismos, de acordo com os critérios estabelecidos pelo órgão ambiental competente, ou, na sua ausência, por instituições nacionais ou internacionais renomadas, comprovado pela realização de ensaio ecotoxicológico padronizado ou outro método cientificamente reconhecido;

b) materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

e) não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais;

f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

g) coliformes termotolerantes: para o uso de recreação de contato secundário não deverá ser excedido um limite de 2.500 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para dessedentação de animais criados confinados não deverá ser excedido o limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral. Para os demais usos, não deverá ser excedido um limite de 4.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas

durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. A *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente;

h) cianobactérias para dessedentação de animais: os valores de densidade de cianobactérias não deverão exceder 50.000 cel/ml, ou 5mm³/L;

i) DBO₅ dias a 20°C até 10mg/L O₂;

j) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4mg/L O₂;

l) turbidez até 100 UNT;

m) cor verdadeira: até 75mg Pt/L; e,

n) pH: 6,0 a 9,0.

Art. 17. As águas doces de classe 4 observarão as seguintes condições e padrões:

I - materiais flutuantes, inclusive espumas não naturais: virtualmente ausentes;

II - odor e aspecto: não objetáveis;

III - óleos e graxas: toleram-se iridescências;

IV - substâncias facilmente sedimentáveis que contribuam para o assoreamento de canais de navegação: virtualmente ausentes;

V - fenóis totais (substâncias que reagem com 4 - aminoantipirina) até 1,0 mg/L de C₆H₅OH;

VI - OD, superior a 2,0mg/L O₂ em qualquer amostra; e,

VII - pH: 6,0 a 9,0.

4 – PADRÃO PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Segundo a Resolução Conama nº 357/2005, no seu Capítulo IV, os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos na supracitada Reso-

Tabela 26 – Padrões de Lançamento no Corpo Receptor Segundo a Resolução Conama Nº 357/2005

Parâmetro	Doce				Salinas			Salobras		
	Esp.	1	2	3	4	Esp.	1	2	3	
Materiais flutuantes	-	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	-	VA	VA	VA	VA
Substâncias que comuniquem gosto ou odor	-	Aus.	Aus.	Aus.	Irides.	-	VA	VA	Irides.	Irides.
	-	Aus.	Aus.	Aus.	Não objet.	-	VA	VA	VA	VA
	-	Aus.	Aus.	Aus.	-	-	VA	VA	VA	VA
Corantes provenientes de fontes antrópicas	-	Aus.	Aus.	Aus.	-	-	VA	VA	VA	VA
Resíduos sólidos objetáveis	-	Aus.	Aus.	Aus.	-	-	VA	VA	VA	VA
<i>Escherichia coli</i> ou coliformes termotolerantes	-	200	1000	1000 ^a	NE	-	1000	2500	4000	1000
	-			2500 ^b						2500
	-			4000 ^c						4000
(NMP/100mL)	-	< 3	< 5	< 10	-	-	-	-	-	-
COT (mg/L)	-	-	-	-	-	-	< 3	< 5	< 10	< 3
	-	> 6	> 5	> 4	> 2	-	> 6	> 5	> 4	> 5
OD (mgO ₂ /L)	-	40	100	100	-	-	-	-	-	-
Turbidez (UNT)	-	75	75	75	-	-	-	-	-	-
Cor verdadeira (mg Pt/L)	-	6-9	6-9	6-9	6-9	-	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5	6,5-8,5
pH	-									5,0-9,0
Clorofila a (mg/L)	-	10	30	60	-	-	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Brasil (2005)

Aus. = ausentes

Irides. = iridescências

Não objet. = não objetáveis

VA = virtualmente ausentes; a: dessedentação de animais; b: recreação de contato secundário; c: demais usos.

lução e em outras normas aplicáveis. São condições obrigatórias para lançamento (BRASIL, 2005):

Art. 33. Na zona de mistura de efluentes, o órgão ambiental competente poderá autorizar, levando em conta o tipo de substância, valores em desacordo com os estabelecidos para a respectiva classe de enquadramento, desde que não comprometam os usos previstos para o corpo de água.

Parágrafo único. A extensão e as concentrações de substâncias na zona de mistura deverão ser objeto de estudo, nos termos determinados pelo órgão ambiental competente, às expensas do empreendedor responsável pelo lançamento.

Art. 34. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedecam às condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

§ 1o O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 2o Os critérios de toxicidade previstos no § 1o devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente.

§ 3o Nos corpos de água em que as condições e padrões de qualidade previstos nesta Resolução não incluam restrições de toxicidade a organismos aquáticos, não se aplicam os parágrafos anteriores.

§ 4o Condições de lançamento de efluentes:

I - pH entre 5 a 9;

II - temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C na zona de mistura;

III - materiais sedimentáveis: até 1mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

IV - regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

V - óleos e graxas:

1 - óleos minerais: até 20mg/L;

2- óleos vegetais e gorduras animais: até 50mg/L; e

VI - ausência de materiais flutuantes.

Art. 35. Sem prejuízo do disposto no inciso I, do § 1o do art. 24, desta Resolução, o órgão ambiental competente poderá, quando a vazão do corpo de água estiver abaixo da vazão de referência, estabelecer restrições e medidas adicionais, de caráter excepcional e temporário, aos lançamentos de efluentes que possam, dentre outras consequências: I - acarretar efeitos tóxicos agudos em organismos aquáticos; ou II - inviabilizar o abastecimento das populações. Vazão de referência: vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH).

Art. 36. Além dos requisitos previstos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis, os efluentes provenientes de serviços de saúde e estabelecimentos nos quais haja despejos infectados com microrganismos patogênicos, só poderão ser lançados após tratamento especial.

Art. 37. Para o lançamento de efluentes tratados no leito seco de corpos de água intermitentes, o órgão ambiental competente definirá, ouvido o órgão gestor de recursos hídricos, condições especiais.

As Secretarias Estaduais do Meio Ambiente (SEMA), através de decretos estaduais, definem valores máximos de descarga de esgotos em redes coletoras de esgoto. Para o Estado do Ceará, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE) regulamentou estas através da Portaria nº 154/2002, Anexo I, de 22 de julho de 2002, cujos valores limites de alguns parâmetros são listados na Tabela 25.

Tabela 27 – Características de Despejos Industriais Pré-Tratados

Parâmetro	Valor Máximo Permissível CONAMA nº 357/2005	Valor Máximo Permissível SEMACE
Amônia total (mg/L)	20,0	50,0
Arsênio total (mg/L)	0,5	1,5
Bário (mg/L)	5,0	
Boro (mg/L)	5,0	
Cádmio total (mg/L)	0,2	0,1
Chumbo total (mg/L)	0,5	1,5
Cianeto total (mg/L)	0,2	0,2
Cobre total (mg/L)	1,0	1,5
Clorofórmio (mg/L)	1,0	
Cromo total (mg/L)	0,5	5,0
Dicloroetano (mg/L)	1,0	
Estanho total (mg/L)	4,0	4,0
Ferro total (mg/L)	15,0	15,0
Fenóis (mg/L)	0,5	5,0
Fluoreto total (mg/L)	10,0	10,0
Manganês (mg/L)	1,0	
Mercurio total (mg/L)	0,01	0,01
Níquel total (mg/L)	2,0	2,0
Prata total (mg/L)	0,1	1,5
Selênio total (mg/L)	0,3	1,5
Sulfato (mg/L)		1000,0
Sulfeto (mg/L)	1,0	1,0
Tetracloroeto de carbono (mg/L)	1,0	
Tricloroetano (mg/L)	1,0	
Zinco total (mg/L)	5,0	5,0
Materiais Sedimentáveis (mL/L)	1	20
pH	5-9	6 - 10
Temperatura °C	< 40	< 40
Regime de lançamento	$q_{\max}/q_{\min} < 1,5$	$q_{\max}/q_{\min} < 1,5$

Fonte: Ceará (2002).

5 – COMENTÁRIOS GERAIS ENTRE OS PADRÕES DE QUALIDADE NO CORPO RECEPTOR E DE LANÇAMENTO DE EFLUENTES

Os padrões de qualidade no corpo receptor e de lançamento de efluentes estão de certa forma inter-relacionados. O real objetivo de ambos é a preservação na qualidade no corpo d'água. No entanto, os padrões de lançamento

existem apenas por uma questão prática, já que é difícil se manter o controle efetivo das fontes poluidoras com base apenas na qualidade do corpo receptor. O inter-relacionamento entre os dois padrões se dá no sentido de que deverá ser verificado o atendimento aos padrões de lançamento e do corpo receptor. Devem ser avaliadas as seguintes situações hipotéticas:

1. Caso o efluente satisfaça os padrões de lançamento, mas não satisfaça os padrões do corpo receptor, as características de lançamento deverão ser tais que, necessariamente, atendam ao padrão do corpo receptor. Em outras palavras, nestas condições, o lançamento deverá ter características mais restritivas do que as expressas pelo padrão de lançamento usual. Esta situação pode ocorrer no caso de corpos receptores com baixa capacidade de assimilação e diluição.
2. Caso o efluente não satisfaça os padrões de lançamento, mas satisfaça os padrões do corpo receptor, o Órgão Ambiental poderá autorizar lançamentos com valores acima dos padrões de lançamento, desde que estudos ambientais demonstrem que as características do corpo receptor estarão dentro dos padrões para sua respectiva classe. Esta situação pode ocorrer no caso de corpos receptores com boa capacidade de assimilação e diluição.

6 – PADRÕES DE POTABILIDADE

Os padrões microbiológicos para águas tratadas destinadas a consumo público estão definidos na Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde. Referem-se a *Escherichia coli* e a coliformes fecais (termotolerantes), que devem estar ausentes na água tratada para consumo. Referem-se também a coliformes totais, admitindo limites máximos de acordo com regras estabelecidas na portaria. A discussão dos padrões de potabilidade foge ao escopo do presente informativo técnico.

7 – PADRÕES DE BALNEABILIDADE

A balneabilidade pode ser um importante uso das águas internas (ex.: lagos, represas) em comunidades organizadas. Os padrões microbiológicos para corpos d'água doce são funções do uso da água e da classe em que se acha enquadrado o corpo d'água, definidos na Resolução Conama nº 357/2005 (BRASIL, 2005). Apesar de mais nova, a nova resolução manteve os limites

definidos na Resolução Conama nº 274/2000 (BRASIL, 2000), que prevê além de limites para coliformes fecais (termotolerantes) e coliformes totais, limites para *enterococos* ou *Escherichia coli*. O Quadro 36 apresenta os padrões de balneabilidade fixados na supracitada resolução.

Balneabilidade/categoria		Padrões para o corpo de água
Própria	Excelente	Máximo de 250 CF/100 mL ou 200 <i>E.coli</i> /100mL ou 25 enterococos/100mL, em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores;
	Muito boa	Máximo de 500 CF/100 mL ou 400 <i>E.coli</i> /100mL ou 50 enterococos/100mL, em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores;
	Satisfatória	Máximo de 1.000 CF/100 mL ou 800 <i>E.coli</i> /100mL ou 100 enterococos/100mL, em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
		a) não-atendimento aos critérios estabelecidos para as águas próprias; b) valor obtido na última amostragem for superior a 2.500 CF (termotolerantes) ou 2.000 <i>E.coli</i> ou 400 enterococos por 100 mL; c) incidência elevada ou anormal, na região, de enfermidades transmissíveis por via hídrica, indicada pelas autoridades sanitárias; d) presença de resíduos ou despejos, sólidos ou líquidos, inclusive esgotos sanitários, óleos, graxas e outras substâncias, capazes de oferecer riscos à saúde ou tornar desagradável a recreação; e) pH < 6,0 ou pH > 9,0 (águas doces), à exceção das condições naturais; f) floração de algas ou outros organismos, até que se comprove que não oferecem riscos à saúde humana; g) outros fatores que contra-indiquem, temporária ou permanentemente, o exercício da recreação de contato

Quadro 36 – Padrões de Balneabilidade Definidos pela Resolução Conama 274/2000

Fonte: Brasil (2000)

8 – PADRÕES PARA USO AGRÍCOLA

O reúso do esgoto tratado para irrigação constitui prática desejável, particularmente nas regiões áridas e semi-áridas, onde a disponibilidade hídrica é baixa. Os padrões para reúso variam consideravelmente entre os países. Os critérios de qualidade microbiológica adotados pela *Environmental Protection Agency* (EPA) dos Estados Unidos são mostrados no Quadro 37. Muitos outros órgãos ambientais adotam as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (2006) para a qualidade microbiológica de efluentes tratados para diferentes usos, os quais são mostrados na Tabela 28.

No Brasil, os limites estabelecidos pelo Conama para águas de classe 2 destinadas à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas fixam em 80% ou

Tipo de Irrigação e Cultura	Processo de Tratamento	Qualidade do efluente
Culturas alimentícias não processadas comercialmente Irrigação superficial ou por aspersão de qualquer cultura, incluindo culturas a serem consumidas cruas	Secundário + filtração + desinfecção	pH entre 6 e 9 DB0 < 10mg/L Turbidez < 2 UNT Cloro residual > 1mg/L Coliformes fecais ND Organismos patogênicos ND
Culturas alimentícias processadas comercialmente Irrigação superficial de pomares e vinhedos	Secundário + desinfecção	pH entre 6 e 9 DB0 < 30mg/L SS < 30mg/L Cloro residual > 1mg/L Coliformes fecais < 200/100mL
Culturas não-alimentícias Pastagens para rebanhos de leite, forrageiras, cereais, fibras e grãos	Secundário + desinfecção	pH entre 6 e 9 DB0 < 30 mg/L SS < 30 mg/L Cloro residual > 1mg/L Coliformes fecais < 200/100mL
Irrigação, campos de esporte, parques, jardins e cemitérios	Secundário + filtração + desinfecção	pH entre 6 e 9 DB0 < 10 mg/L Turbidez < 2 UNT Cloro residual > 1mg/L Coliformes fecais ND Organismos patogênicos ND

Quadro 37 – Critérios de Qualidade Microbiológica (EPA) para Reúso na Agricultura

Fonte: United States Environmental Protection Agency (2004)

ND = não detectados

mais, de pelo menos 5 amostras mensais, um valor igual ou menor que 1.000 CF/100mL.

Segundo a Portaria nº 154/2002 da SEMACE (CEARÁ, 2002), no seu Artigo 6, o reúso de esgoto tratado deve obedecer aos seguintes critérios:

Art. 6º A reutilização de efluentes de origem doméstica em atividades agronômicas (irrigação e drenagem, dessedentação de animais e aquíicultura) deverá obedecer aos seguintes limites:

I - Atividades Tipo 1 : Irrigação de vegetais ingeridos crus e sem remoção de película, dessedentação de animais e aquíicultura, conforme se segue:

- a) Coliformes fecais < 1.000 CF/100mL.
- b) Ovos de helmintos < 1 ovo/L de amostra.
- c) Condutividade elétrica < 3.000µS/cm

II - Atividades Tipo 2: aquelas não referidas no inciso anterior, conforme se segue:

- a) Coliformes fecais < 5.000 CF/100mL.
- b) Ovos de helmintos < 1ovo/L de amostra.
- c) Condutividade elétrica < 3.000 µS/cm

§1º Os limites da alínea “a”, dos incisos I e II serão auferidos pela média geométrica de amostras coletadas durante 5 (cinco) semanas consecutivas.

§2º Os limites da alínea “b”, dos incisos I e II, serão auferidos pela média aritmética de amostras coletadas durante 5 (cinco) semanas consecutivas.

Tabela 28 – Indicadores de Saúde Para Uso de Esgoto em Agricultura

Cenário de Exposição	Indicador de Saúde (DALY por pessoa por ano)	Necessidade de redução de patógenos (Log ₁₀)	Número de ovos de helmintos por litro
Irrigação irrestrita			
Alface	< 10 ^{6,a}	6	< 1 ^{b, c}
Cebola		7	< 1 ^{b, c}
Irrigação restrita	< 10 ^{-6,a}		
Altamente mecanizada		3	< 1 ^{b, c}
Baseada no trabalho manual		4	< 1 ^{b, c}
Irrigação localizada	< 10 ^{-6,a}		
Culturas de grande porte		2	Sem recomendação ^d
Culturas de baixo porte		4	< 1 ^c

Fonte: WHO (2006)

^a Redução de rotavírus. O indicador de saúde pode ser obtido, para irrigação irrestrita e localizada, pela redução de 6-7 unidades logarítmicas de patógenos (obtidos por uma combinação de tratamento de esgotos e outras medidas de proteção de saúde, incluindo uma estimativa de redução de 3-4 unidades logarítmicas de patógenos pela morte natural destes nas condições de campo, e remoção de patógenos das culturas irrigadas com esgoto pela lavagem domiciliar); para irrigação restrita, é alcançada uma redução de 2-3 unidades logarítmicas.

^b Quando crianças abaixo de 15 anos são expostas, devem ser utilizadas medidas adicionais de proteção (por exemplo, tratamento em níveis de 0,1 ovo de helminto por litro, equipamento de proteção, como luvas e botas).

^c Uma média aritmética deve ser determinada nas estações de irrigação. O valor médio igual ou menor do que 1 ovo por litro deve ser obtido em pelo menos 90% das amostras, de forma a permitir valores amostrais altos (maiores do que 10 ovos por litro). Para alguns processos de tratamento de esgotos (por exemplo, lagoas de estabilização), o tempo de detenção hidráulica pode ser utilizado para alcançar o valor de ovos de helmintos menor ou igual a um.

^d Nenhuma cultura a ser apanhada do solo.

^e DALY (Disability Adjusted Life Years) – Estimativa do número de anos perdidos por uma doença devido à morbidade e mortalidade.

9 – PADRÃO DE QUALIDADE PARA REÚSO COMO ÁGUA INDUSTRIAL

O padrão de qualidade pode seguir as recomendações contidas no “Guideline for Water Reuse” da EPA (UNITED ..., 2004). Entretanto, cabe consultar os limites conforme tipo específico de cada indústria.

REFERÊNCIAS

ANDREOLLI, C. V.; WILLER, M. **Gerenciamento de saneamento em comunidades planejadas**. Curitiba: Alphaville Urbanismo, 2005. 194p.

ANDREOLLI, C. V.; VON SPERLING, M, FERNANDES, F. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG. 2001. 484 p. V. 6: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.209**: projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. 1992.

BASTOS, R. K. X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2003. 267 p.

BRASIL. Congresso Nacional. Lei n. 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 17 fev. 1998.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 274 de 29 de novembro de 2000**. Revisa os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 29 set. 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 29 set. 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n. 518 de 25 de março de 2004. Aprova a norma de qualidade da água para consumo humano. **Diário Oficial [da]**

República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 de março de 2004. Disponível em: <<http://www.saude.gov.br>>. Acesso em: 26 set. 2006.

CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 1999. 435 p.

CAVALCANTI, P. F. C. *et al.* Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lagoas de polimento. *In*: CHERNICHARO, C.A.L (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2001. p. 105-169.

CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Portaria n. 154 de 22 de julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. **Diário Oficial do Estado**, Fortaleza, 1 out. 2002. Disponível em: <<http://www.semace.ce.gov.br>>. Acesso em: 26 set. 2006.

CHERNICHARO, C. A. L (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2001. 544 p.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 245 p. V. 5: Reatores anaeróbios.

CRESPO, P. G. **Manual de projeto de estações de tratamento de esgotos**. Belo Horizonte, 2003. 322 p. V. 1.

GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de efluentes sanitários**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2003. 438 p.

GONÇALVES, R. F. *et al.* Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilmes. *In*: CHERNICHARO, C. A. L (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2001, p. 171-278.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932 p.

LETTINGA G.; HULSHOFF POL, L. W.; ZEEMAN, G. **Biological wastewater treatment**. Wageningen: Wageningen University, 1995. Part I: Anaerobic wastewater treatment. Apostila.

METCALF; EDDY,. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

MOTA, S. **Introdução à engenharia ambiental**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 388 p.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. 4. ed. Aracaju: J. Andrade, 2004. 298 p.

NUVOLARI, A., **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 520 p.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte I: análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.

PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO. Rio de Janeiro: IBGE, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 29 set. 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for water reuse**. Washington, DC, 2004. Technical report N° EPA/625/R-04/108.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate**. Chichester: J.Wiley, 1994. 226 p.

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS. G. **O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operação**. Campina Grande: Epgraf, 1999. 488 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452 p. V. 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 134 p. V. 3: Lagoas de estabilização.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 415 p. V. 4: Lodos ativados.

VON SPERLING, M. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de lodos ativados. *In*: CHERNICHARO, C.A.L (Coord.). **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Rio de Janeiro: PROSAB/FINEP, 2001. p. 279-332.

WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Geneva, 2006. 196p. V. 2: Wastewater use in agriculture.

ANEXOS

ANEXO 1 - INFORMAÇÕES SOBRE OS SISTEMAS DE LAGOS DE ESTABILIZAÇÃO DO ESTADO DO CEARÁ

INDEX	LOCALIDADE	OPERAÇÃO		TIPO	TRATAM. BIOLÓGICO		MUNICÍPIO	ANO INÍCIO DA OPERAÇÃO	TRATAM. PRELIM.
		CAGECE	SAAE		DESCRÇÃO				
RMF - Sistemas Isolados									
01	ETE - ANTIGO ATERRO SANT. JANGURUSSU	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Fortaleza	ni	não
02	ETE - CONJ. ARATURI I	X		Lagoas de Estabilização em paralelo	2 facultativas		Caucaia	1986	sim
03	ETE - CONJ. CEARÁ - 4ª ETAPA	X		Lagoas de Estabilização em paralelo	3 facultativas		Fortaleza	1974	sim
04	ETE - CONJ. ESPERANÇA	X		Lagoas de Estabilização	1 facultativa		Fortaleza	1990	sim
05	ETE - CONJ. JEREISSATI III	X		Lagoas de Estabilização	1 facultativa		Maracanau	1987	sim
06	ETE - CONJ. JOÃO PAULO II	X		Lagoas de Estabilização	1 facultativa		Fortaleza	1988	sim
07	ETE - CONJ. JOSÉ WALTER	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Fortaleza	2001	sim
08	ETE - CONJ. MARECHAL RONDON	X		Lagoas de Estabilização em série	1 anaeróbia + 2 facultativas + 2 de maturação		Caucaia	ni	sim
09	ETE - CONJ. MARECHAL RONDON	X		Lagoas de Estabilização	1 facultativa		Caucaia	1986	sim
10	ETE - CONJ. PALMEIRAS II	X		Lagoas de Estabilização em série	1 anaeróbia + 1 facultativa + 2 de maturação		Fortaleza	1997	sim
11	ETE - CONJ. PARQUE FLUMINENSE	X		Lagoas de Estabilização em série	1 anaeróbia + 1 facultativa + 1 de maturação		Fortaleza	1993	sim
12	ETE - CONJ. SÃO CRISTÓVÃO	X		Lagoas de Estabilização em série	1 anaeróbia + 1 facultativa + 2 de maturação		Fortaleza	1993	sim
13	ETE - CONJ. TANCREDO NEVES (LAGAMAR)	X		Lagoas de Estabilização	1 facultativa		Fortaleza	1985	sim
14	ETE - CONJ. TUPÁ - MIRIM	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa aerada + 1 facultativa + 2 de maturação		Fortaleza	1994	sim
15	ETE - DIF III - DISTRITO INDUSTRIAL	X		Lagoas de Estabilização em paralelo	02 facultativas e 04 de maturação		Maracanau	ni	sim
16	ETE - SIDI - SIST. INTEGRADO DIST. INDUSTRIAL	X		Lagoas de Estabilização em série	1 anaeróbia + 1 facultativa + 3 de maturação		Maracanau	1992	não
17	ETE - RESIDENCIAL GUADALAJARA	X		Lagoas de Estabilização em série	1 anaeróbia + 1 facultativa + 3 de maturação		Caucaia	1996	sim
18	ETE - SÃO FRANCISCO	X		Lagoas de Estabilização em paralelo	2 facultativas		Caucaia	1981	sim
19	ETE - PQ. TABAPUÁ	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Caucaia	ni	sim
20	ETE - PLANALTO DE CAUCAIA	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa		Caucaia	1984	sim
21	ETE - CONJ. RENASCER	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 3 de maturação		Fortaleza	1992	sim
UNBCL - Unidade de Negócio da Bacia Curu e Litoral									
22	TRAIRI	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Trairi	ni	sim
23	PARACURU	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 1 facultativa + 1 de maturação		Paracuru	ni	sim
24	SÃO GONÇALO DO AMARANTE	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 4 de maturação		São Gonçalo do Amarante	2001	sim
25	PECÉM	X		Lagoas de Estabilização em paralelo e em série	2 facultativas em paralelo e 3 de maturação em série		São Gonçalo do Amarante	2000	sim
26	PARAIPABA	X		Lagoas de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Paraipaba	ni	sim
27	LAGOINHA	X		Lagoas de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Paraipaba	2003	sim
28	ITAPIPOCA	X		Lagoas de estabilização em série	1 facultativa + 4 de maturação		Itapioca	2004	sim
29	BALEIA	X		Lagoas de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Itapioca	2004	sim
30	MARINHEIRO	X		Lagoas de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Itapioca	2004	sim
31	CARVOEIRO	X	X	Lagoas de estabilização	1 facultativa		Itaipema	1995	não
32	JUÁ	X	X	Lagoas de estabilização	1 facultativa		Itaipema	1995	não
33	MISSI	X	X	Lagoas de estabilização	1 facultativa		Itaipema	1995	não
UNBPA - Unidade de Negócio Bacia do Parnaíba									
34	CRATEÚS	X		Lagoas de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Crateús	1997	não

ANEXO 1 - INFORMAÇÕES SOBRE OS SISTEMAS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO DO ESTADO DO CEARÁ

INDEX	LOCALIDADE	OPERAÇÃO		TIPO	TRATAM. BIOLÓGICO		MUNICÍPIO	ANO INÍCIO DA OPERAÇÃO	TRATAM. PRELIM.
		CAGECE	SAAE		DESCRIÇÃO				
UNBPA - Unidade de Negócio Bacia do Parnaíba									
35	SÃO BENEDITO	X		Lagoas de estabilização em série	1 facultativa + 1 de maturação		São Benedito	2001	não
36	PORANGA	X		Lagoas de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Poranga	2003	sim
37	CROATÁ	X		Lagoas de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Croatá	2003	sim
38	ARATICUM	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Tianquá	1995	não
39	ARAPÁ	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Tianquá	1995	não
40	BETÂNIA	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Croatá	1995	não
41	FURNALHÃO	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Uajajara	1995	não
UNBAC - Unidade de Negócio Bacia do Acaraú e Coreau									
42	ACARAÚ	X		Lagoas de Estabilização em paralelo	2 facultativas primárias		Acaraú	ni	sim
43	JIOCA	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Jioca	ni	sim
44	BARROQUINHA	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Barroquinha	2003	sim
45	BITUPITÁ	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Barroquinha	2003	sim
46	URUOCA	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 1 de maturação c/ chicanas		Urucá	2003	sim
47	GRAÇA	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Graca	2003	sim
48	LAPA	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 1 de maturação		Graca	2003	sim
49	ARAQUEM	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Coreaú	1995	não
50	B. ESPERANÇA	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Moraújo	1995	não
51	CAMPANÁRIO	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 1 de maturação		Urucá	1995/2003	não
52	CAMILOS	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Meruoca	1995	não
53	GOIANA	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Moraújo	1995	não
54	JURITIANHA	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Acaraú	1995	não
55	MUTAMBEIRAS	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Morrinhos	1995	não
56	TAPUIO	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Caniré	1995	não
57	SAPO	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Santana do Acaraú	1995	não
58	S.ALEGRE	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Morrinhos	1995	não
59	TUINA	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Massapé	1995	não
60	PANACUI	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Marco	1995	não
61	PARAPI	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Santana do Acaraú	1995	não
62	SERROTA	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Senador Sá	1995	não
63	SÃO GONÇALO	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa		Bela Cruz	1995	não
64	SOBRAL	X	X	Lagoa de estabilização	si		Sobral	si	si
UNBME - Unidade de Negócio da Bacia Metropolitana									
65	ACARAPE	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Acarape	2000	sim
66	GUAIUBA	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Guaiuba	2002	sim
67	AQUIRAZ	X		Lagoa de estabilização em série	2 anaeróbias + 2 facultativas + 4 de maturação		Aquiraz	2001	sim
68	BEBERIBE	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Beberibe	2000	sim
69	PACAJUS	X	X	Lagoa de estabilização	1 facultativa aerada		Pacajus	1996	sim
70	ITATINGA	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação		Itatinga	ni	sim
71	PACATUBA	X		Lagoa de estabilização em série	1 facultativa + 3 de maturação		Pacatuba	ni	sim
UNBBJ - Unidade de Negócio da Bacia Baixa e Médio Jaguaribe									
72	RUSSAS	X		Lagoa de estabilização em paralelo	2 facultativas		Russas	ni	sim
73	TABULEIRO DO NORTE	X		Lagoa de estabilização	1 facultativa primária		Tabuleiro do Norte	ni	sim

ANEXO 1 - INFORMAÇÕES SOBRE OS SISTEMAS DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO DO ESTADO DO CEARÁ

INDEX	LOCALIDADE	OPERAÇÃO		TRATAM. BIOLÓGICO		MUNICÍPIO	ANO INÍCIO DA OPERAÇÃO	TRATAM. PRELIM.
		CAGECE	SAAE	TIPO	DESCRIÇÃO			
74	NOVA JAGUARIBARA	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação	Nova Jaguaribara	ni	sim
UNBSA - Unidade de Negócio da Bacia do Salgado								
75	JUAZEIRO DO NORTE - ETE MALVAS	X		Lagoas de Estabilização em série	2 anaeróbias + 2 facultativas + 1 de maturação	Juazeiro do Norte	1996	sim
76	BARBALHA	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação	Barbalha	ni	sim
77	MISSÃO VELHA	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 3 de maturação	Missão Velha	ni	sim
78	MAURITI	X		Lagoa de Estabilização	1 facultativa	Mauriti	ni	sim
79	ALTANEIRA	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação	Altaneira	ni	sim
UNBBA - Unidade de Negócio Bacia do Banabuiú								
80	QUIXADA	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação	Quixadá	ni	sim
UNBAJ - Unidade de Negócio Bacia do Alto Jaguaribe								
81	CAMPOS SALES	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação	Campos Sales	2003	sim
82	SALITRE	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação	Salitre	2003	sim
83	ACOPIARA	X		Lagoas de Estabilização em série	1 facultativa + 2 de maturação	Acopiara	2004	sim

Observação: ni - não informado

ESTÁÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS EM FORTALEZA

ÍNDIX	EFEITE	RESPONS	NOME DA ESTAÇÃO	DESCRIÇÃO SUCINTA	ENDEREÇO
1	EE	GETES	ABC	Elevatória enterrada com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Cal. Gonçalves, s/n - Aerolândia (Atrás do 3º BPM)
2	ETE+EE	GETES	ANTIGO ATERRO SANIT. JANGURUSSU	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia), poço de sucção, bombas submersíveis, com 2 lagos anaeróbios em série seguida de 1 facultativa.	
3	EE	GETES	ANTÔNIO BEZERRA	Estação elevatória de grande porte com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Rua Cal. Joaquim Franklin, 1250 - Aulran Nunes
4	ETE+EE	GETES	ARACAPÉ III	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parcial), poço de sucção, bombas submersíveis, com 2 reatores UASB em paralelo e doração.	Rua Fernandes Alves de Sousa, 1001 - Mondubim
5	EE	GETES	BARRADO CEARÁ	Estação elevatória de grande porte com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Av. Francisco Sá, s/n - Barra do Ceará (Est. o Rua Cal. Carvalho)
6	EE	GETES	CHILE	Elevatória enterrada com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Chile, 840 - Bela Vista (Est. o canal)
7	EE	GETES	CONJ. ACARACUZHINO	Estação elevatória com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Av. Lateral Norte, s/n - Conj. Acaracuzinho - Maracanaú
8	ETE+EE	GETES	CONJ. ALMIRANTE TAMANDARÉ I	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parcial), poço de sucção, bombas submersíveis, com 2 módulos do seguinte sistema: 1 decantador-digestor seguido de 2 filtros anaeróbios em paralelo e doração. (2 DEC / 4FA)	Rua Gergelim, s/n - Messejana
9	EE	GETES	CONJ. ALMIRANTE TAMANDARÉ II	Estação elevatória com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Mandacaru, 772 - Conj. Almirante Tamandaré - Messejana
10	ETE+EE	GETES	CONJ. ARATURI I	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parcial), poço de sucção, bombas submersíveis, com 2 lagos facultativos em paralelo.	Rua Contorno Oeste, 412 - Caucaia
11	EE	GETES	CONJ. ARATURI II	Estação elevatória com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Av. Contorno Norte, 1219 - Conj. Araturi
12	EE	GETES	CONJ. CEARÁ - 3ª ETAPA	Estação elevatória com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas submersíveis.	Av. J. 342 - 3ª Etapa - Conj. Ceará
13	ETE+EE	GETES	CONJ. CEARÁ - 4ª ETAPA	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parcial), poço de sucção, bombas submersíveis, com 3 lagos facultativos em paralelo.	Av. E. 470 - Conj. Ceará
14	ETE+EE	GETES	CONJ. ESPERANÇA	Estação elevatória com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco. ; 1 lago facultativa	Rua Ari Lobo, 1225 - Mondubim - Conj. Esperança
15	EE	GETES	CONJ. INDUSTRIAL	Estação elevatória com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas submersíveis.	Av. Contorno Sul, s/n - Conj. Industrial - Maracanaú
16	EE	GETES	CONJ. JEREISSATI II	Estação elevatória com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Marginal nordeste, 324 - Conj. Jereissati II - Maracanaú
17	ETE+EE	GETES	CONJ. JEREISSATI III	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parcial), poço de sucção, bombas submersíveis, com 1 lago facultativa.	Av. B. 66 - Maracanaú - Cj. Jereissati III
18	ETE+EE	GETES	CONJ. JOÃO PAULO II	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parcial), poço de sucção, bombas submersíveis, com 1 lago facultativa.	Rua 12, 921 - Conj. João Paulo II - Jangurussu
19	EE	GETES	CONJ. JOSÉ WALTER I	Estação elevatória com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Av. K - Conj. José Walter (Est. o Av. Perimetral)
20	EE	GETES	CONJ. JOSÉ WALTER II	Estação elevatória com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Av. J - Conj. Prof. José Walter
21	ETE+EE	GETES	CONJ. JOSÉ WALTER III	1 lago facultativa seguida de 2 lagos de maturação em série.	Av. J. 1897 - Conj. Prof. José Walter
22	ETE	GETES	CONJ. MARECHAL RONDON	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parcial), seguida de 1 lag. em série com 2 lag. fac em paralelo, seguidos de 2 lag. de mat. em série. Na última lagoa há elev. de recirculação para a lag anaeróbia	Av. Dom Almeida Lustosa, s/n - Jurema
23	ETE+EE	GETES	CONJ. NOVA METRÓPOLE	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parcial), poço de sucção, bombas submersíveis, com 1 lago facultativa.	BR 1021 s/n - Conj. Nova Metrópole - Caucaia
24	EE	GETES	CONJ. NOVA METRÓPOLE V	Estação elevatória com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Rua Urucububa, s/n - Conj. Nova Metrópole - Caucaia
25	ETE+EE	GETES	CONJ. NOVA MDA	Módulos de decantador-digestores seguidos de filtros anaeróbios e doração (não foi possível levantar o número com precisão - estação enterrada).	Rua E. 100 - Conj. Vida Nova - Maracanaú

ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS EM FORTALEZA

Continuação *

INDEX	EFETE	RESPONS	NOME DA ESTAÇÃO	DESCRIÇÃO SUCINTA	ENDEREÇO
26	EE	GETES	CONL. NOVO MARACANAÚ	Estação elevatória com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua 2, s/n - Conj. Novo Maracanaú - Maracanaú
27	EE	GETES	CONL. NOVO MONDUBIM	Estação elevatória com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Tr. Silvino, s/n - Mondubim
28	EE	GETES	CONL. NOVO ORIENTE	Estação elevatória com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Av. Central, s/n - Conj. Novo Oriente - Maracanaú
29	EE	GETES	CONL. PALMEIRAS	Estação elevatória com cesto de retenção de sólidos, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Isabele Moreira, 210 - Conj. Palmeiras II - Messejana
30	ETE+EE	GETES	CONL. PALMEIRAS II	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas instaladas em poço seco, com 1 lagoa anaeróbia, seguida de 1 facultativa e 2 de maturação, todas em série.	Rua Serra Azul, 15 - Conj. Palmeiras II
31	ETE+EE	GETES	CONL. PARQUE FLUMINENSE	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas instaladas em poço seco, com 1 lagoa anaeróbia seguida de 1 facultativa e 1 maturação, em série.	Rua Cônego de Castro, 7240 - Pq. Sta Rosa - Mondubim
32	ETE+EE	GETES	CONL. PEQUENO MONDUBIM	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas submersíveis, com 2 módulos do seguinte sistema: 1 decantador-digestor seguido de 2 filtros anaeróbios em paralelo e doração.	Av. Bernardo Manoel, 12138 - Conj. José Walter
33	ETE+EE	GETES	CONL. POR DO SOL (*)	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas submersíveis, com 3 reatores UASB em paralelo e doração.	Rua Nelson Mandela, s/n - est. com rua Zumbi
34	ETE+EE	GETES	CONL. SÃO CRISTÓVÃO	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas instaladas em poço seco, com 1 lagoa anaeróbia, seguida de 1 facultativa e 2 de maturação, todas em série.	Av. Jornalista Tomaz Coelho, s/n - Conj. São Cristóvão - Messejana
35	ETE+EE	GETES	CONL. SUMARÉ	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas submersíveis, e sistema de tratamento em paralelo de 4 decantadores e 4 filtros anaeróbios.	Rua Nilton Montenegro, 550 - (Est. c/ R. Cerdão Montenegro)
36	ETE+EE	GETES	CONL. TANCREDO NEVES (LAGAMAR)	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas submersíveis, com 1 lagoa facultativa.	Rua do Mangue, 22 - Conj. Tancredo Neves (Lagamar)
37	ETE+EE	GETES	CONL. TUPÁ - MIRIM	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas instaladas em poço seco, com 1 lagoa facultativa aerada, 1 facultativa secundária, e 2 de maturação em série.	Rua 136, s/n - Parque Dois Irmãos
38	ETE+EE	GETES	CURIO I	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia), poço de sucção, bombas submersíveis, com 4 reatores UASB em paralelo e doração. Obs.: mesmo espaço físico da ETE - Curio II.	Rua Luciano de Oliveira, s/n - Messejana
39	ETE+EE	GETES	CURIO II	Tratamento preliminar (grade), poço de sucção, bombas submersíveis, com 1 reator UASB e doração.	Rua Luciano de Oliveira, s/n - Messejana
40	ETE+EE	GETES	DIAS MACEDO	Tratamento preliminar (grade), poço de sucção, bombas submersíveis, com 1 reator UASB e doração.	Rua Marechal Bilencourt, 541 - Dias Macedo
41	ETE+EE	GETES	DIF III - DISTRITO INDUSTRIAL	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas submersíveis, com 2 módulos em paralelo do seguinte sistema: 1 Reator UASB seguido de 1 lagoa facultativa e 2 de maturação, todas em série.	Prov. Arel Vário - Pajuçara
42	EE	GETES	DISTRITO INDUSTRIAL DE MARACANAÚ EE1	Estação elevatória de grande porte com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Av. Contorno Sul, s/n - Distrito Industrial de Maracanaú
43	EE	GETES	DISTRITO INDUSTRIAL DE MARACANAÚ EE2	Estação elevatória de grande porte com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Rua Oeste 01, s/n - Distrito Industrial de Maracanaú
44	EE	GETES	DISTRITO INDUSTRIAL DE MARACANAÚ EE3	Estação elevatória de grande porte com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Av. Parque Sul, s/n - Distrito Industrial de Maracanaú
45	EE	GETES	DON MANUEL (PAJEU)	Estação elevatória de grande porte com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Av. Dom Manoel, s/n - Centro
46	EE	GETES	EXTRA GUATEMI	Estação elevatória com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis	Av. Washington Soares, 85
47	EE	GETES	FINOPAN	Elevatória enterrada com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis	Rua Prof. Fco Gonçalves, s/n - Água Fria (Est. c/ Engº Santana Jr)
48	ETE+EE	GETES	ITAPERI I	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas submersíveis, com 1 reator UASB e doração	Rua Bezel, s/n - Ilaperi

ESTÁÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS EM FORTALEZA

ÍNDEX	EF/ETE	RESPONS	NOME DA ESTAÇÃO	DESCRIÇÃO SUCINTA	ENDEREÇO
49	ETE	GETES	LAGOA AZUL	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas submersíveis, com 2 reatores UASB em paralelo e cloração. Ous. Em fase de reatamento.	Rua 02 s/n - Cort. Lagoa da Zeza - Tancredino Neves
50	EE	GETES	LAGOA DA ZEZA	Estação elevatória com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua 03 s/n - Tancredino Neves (Esq. c/ Rua 02)
51	ETE	GETES	LAGOA DA ZEZA	2 reatores UASB em paralelo e cloração.	Rua Passinho dos Cajueiros, s/n (Esq. c/ rua Maralva)
52	EE	GETES	LAGOA DO GENIBRE	Estação elevatória com grade, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Livreiro Guallier, 16 - Vila União
53	EE	GETES	LAGOA DO OPANA	Estação elevatória com gradeamento, caixa de areia, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Colina, 282
54	EE	GETES	MARECHAL RONDON I	Estação elevatória com cesto de retenção de sólidos, poço de sucção e bombas submersíveis.	Av. Nova Alvorada, s/n
55	EE	GETES	MARECHAL RONDON II	Estação elevatória com cesto de retenção de sólidos, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Canaveleira, s/n
56	EE	GETES	MARECHAL RONDON III	Estação elevatória com cesto de retenção de sólidos, poço de sucção e bombas submersíveis.	
57	ETE+EE	GETES	NOVO BARROSO	Tratamento preliminar (grade), poço de sucção, bombas submersíveis, com 3 reatores UASB em paralelo e cloração.	Rua Emiliano de Almeida Braga, 980 - Messejana
58	ETE+EE	GETES	NOVO MONDUBIM II	Tratamento preliminar (grade), poço de sucção, bombas submersíveis, com 1 reator UASB e cloração.	Rua Djalma Benevides, s/n - Mondubim
59	EE	GETES	PARQUE ECOLÓGICO	Estação elevatória com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Parque Ecológico - Próx. a Av. Pe. Antonio Tomáz
60	EE	GETES	PARQUE GENIBAU I	Estação elevatória com grade, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Rio Aventura, 276 - Parque Genibau
61	EE	GETES	PARQUE GENIBAU II	Estação elevatória com grade, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Rua Rio Verde, 400 - Parque Genibau
62	EE	GETES	PARQUE RIO BRANCO	Elevatória enterrada com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Av. Pontes Vieira, 251 - Alapu
63	ETE+EE	GETES	PINDORAMA (*)	Tratamento preliminar (grade), poço de sucção, bombas submersíveis, com 1 reator UASB e cloração.	Rua Pindorama, s/n - L. Cavalcante
64	EE	GETES	PRAIA DO FUTURO (PF1)	Estação elevatória de grande porte com grade, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Av. Diquilinho, s/n - Caga e Pesca
65	EE	GETES	PRAIA DO FUTURO (PF2)	Estação elevatória de grande porte com grade, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Rua Israel Pordueis, 25 (Esq. c/ Av. Zazé Digo)
66	EE	GETES	RAUL BARBOSA (CAP. ARAGÃO)	Estação elevatória com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Rua Cap. Aragão, 970
67	EE	GETES	RESID. LAGOA DO OPANA	Estação elevatória com grade, poço de sucção e bombas submersíveis.	
68	EE	GETES	REVERSORA DO COCO	Estação elevatória de grande porte com grade, caixa de areia, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Tr. Triapora, 131 - Lagamar
69	ETE+EE	GETES	RIACHO DOCE (*)	Tratamento preliminar (grade, caixa de areia, calha parshall), poço de sucção, bombas submersíveis, com 2 reatores UASB em paralelo e cloração.	Rua 15, 32 - Passaré (prox. a FEBEINCE)
70	EE	GETES	ROMEL MARTINS	Elevatória enterrada com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Romel Martins - Montese (Esq. c/ Av. João Pessoa)
71	EE	GETES	SERVILUZ I	Estação elevatória com grade, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Rua Ozete Flomeno, s/n - Serviluz (Esq. c/ Rua da Raíola)
72	EE	GETES	SERVILUZ II	Estação elevatória com grade, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Rua Ozete Flomeno, s/n - Serviluz (Esq. c/ Rua da Odalécia)
73	EE	GETES	SERVILUZ III	Estação elevatória com grade, poço de sucção e bombas instaladas em poço seco.	Rua Prof. Henrique Firmesa, s/n - Serviluz (Esq. c/ Rua Portimam)
74	EE	GETES	SERVILUZ IV	Estação elevatória com cesto de retenção de sólidos, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua do Pontilar, 226 - Serviluz
75	ETE	GETES	SID - SIST. INTEGRADO DIST. INDUSTRIAL	Sistema original: 1 lagoa anaeróbia, seguida de 1 facultativa e 3 lagoas de maturação, todas em série.	Rua Taquari, 15 - Novo Maracanau (Prox. Pref. de Maracanau)
76	EE	GETES	SOLSA PINTO	Estação elevatória com gradeamento, caixa de areia, poço de sucção e bombas submersíveis.	Rua Sousa Pinto, 480 - Lagamar
77	EE	GETES	VARGINHA	Elevatória enterrada com gradeamento, poço de sucção e bombas submersíveis.	
78	ETE+EE	GETES	ZEZA / TUOLO (*)	Tratamento preliminar (grade), poço de sucção, bombas submersíveis, com 1 reator UASB e cloração.	Rua Tainá Pires, prox. ao nº 97 - Qd. 12 - Cajazeiras
79	ETE	GETES	UFIC / PICI (*)	Lotus Aliviados	Campus do Pici
80	ETE	UN-UTN	Guadalupe	1 Lag. Art. 1 Lag. Fac. 3 Lag. Mat	Rua Mário Mendes, 278-Guadalupe
81	ETE	UN-UTN	Itambé	UASB	Rua Santa Cecilia, SINlambé
82	ETE	UN-UTN	Jurupari II	8 DEC / 8 FA	
83	ETE	UN-UTN	Novo São Miguel	8 DEC / 8 FA	Rua Osvaldo Cruz

INDEX	EE/ETE	RESPONS	NOME DA ESTAÇÃO	DESCRIÇÃO SUCINTA	ENDEREÇO
84	ETE	UN-MTN	Planalto Caucaia	1 Lag. Fac. primária	Rua Planal Caucaia, 481
85	ETE	UN-MTN	Pq. Potirill	UASB	
86	ETE	UN-MTN	São Francisco	1 Lag. Fac. primária	Rua Semente Contê, 2801
87	ETE	UN-MTN	São Miguel	1 UASB	Rua São Lucas, 365 vs Rua Verona
88	ETE	UN-MTN	Tapabúá	1 Lag. Fac. Primária; 2 Lag. Mat	Rua 1 vs Rua 1 K- conj. Tapabúá
89	ETE	UN-MTO	Bua Vista	4 DEC/ 4 FA	Rua 4 entre R01 e R 03
90	ETE	UN-MTO	Bom Jardim	4 ETES/2 d/ 4 DEC/ 2 d/ 2 DEC)	Rua Norte-Sul, Rua Leste-Oeste
91	ETE	UN-MTO	Campo dos Ingleses	7 ETES (2 d/ 2 DEC/ 5 d/ 4 DEC)	Rua 9 e Rua 11
92	ETE	UN-MTO	Favela do Canil	4 DEC/ 4 FA	Rua Prof. Virgílio de Moraes
93	ETE	UN-MTO	Gentilão III	21 ETES (20 d/ 4 DEC/ 1 d/ 12 DEC) (?)	Rua das Pedrinhas vs Rua 30 de Maio
94	ETE	UN-MTO	Imã Dulce II	4 DEC/ 4 FA	Rua Maranguape vs Ten Fco Palva
95	ETE	UN-MTO	Planalto Pici	4 ETES (8 DEC/ 8 FA)	Rua 7 de Novembro vs Rua São Francisco
96	ETE	UN-MTS	1o. de Março	4 DEC/ 4 FA	Prox. Lago Azul e Campo do Reino
97	ETE	UN-MTS	25 de Março	4 DEC/ 4 FA	Rua dos Esquecidos, Barroso
98	ETE	UN-MTS	9 de Setembro	8 DEC/ 8 FA	Rua VI, Cj 8 de Setembro
99	ETE	UN-MTS	Alto Alegre	5 ETES (4 DEC/ 4 FA)	Pq. Iamarãz, Messejana
100	ETE	UN-MTS	Bandeirantes	6 ETES (4 DEC/ 4 FA)	Cj Bandeirantes - Messejana
101	ETE	UN-MTS	Barroso II	4 DEC/ 4 FA	Rua Regina de Fátima SIN
102	ETE	UN-MTS	Bons Amigos	4 DEC/ 4 FA	Rua Manoel Costa, Bons Amigos
103	ETE	UN-MTS	Chico Mendes II	3 ETES (1 DEC/ 1 FA)	Av. do Vaqueiro 1537
104	ETE	UN-MTS	Chico Mendes III	2 DEC/ 2 FA	Rua Menino Jesus vs Alípio Cunha, Pq. Sta. Maria
105	ETE	UN-MTS	Cont. da PM	4 DEC/ 4 FA	Endereço não determinado
106	ETE	UN-MTS	Cont. PM II	4 DEC/ 4 FA	CE-040, Acazape
107	ETE	UN-MTS	Dom Loschneider	4 DEC/ 4 FA	Ty Miss Oliveira
108	ETE	UN-MTS	Fernando de Noronha	8 DEC/ 8 FA	Rua Antero de Quintal, 1555 - Messejana
109	ETE	UN-MTS	Guaçu	8 DEC/ 8 FA	Rua Socorro Gomes, Messejana
110	ETE	UN-MTS	Ipalirmim	16 DEC/ 16 FA	Rua Ipalirmim, SIN
111	ETE	UN-MTS	Jardim União I	28 DEC/ 28 FA	Rua Maria M Pereira
112	ETE	UN-MTS	Jardim União II	2 ETES (4 DEC/ 4 FA)	Rua 25 de Julho vs Rua Argentina P. Torres
113	ETE	UN-MTS	Maracananzinho	16 DEC/ 16 FA	Endereço não determinado
114	ETE	UN-MTS	Marcos Freire	4 DEC/ 4 FA	Rua A vs Rua E
115	ETE	UN-MTS	Nova Descoberta	2 DEC/ 2 FA	Rua Mossoró, Nova Descoberta
116	ETE	UN-MTS	Passaré / I / I	2 ETES (4 DEC/ 4 FA)	Rua 3 vs Des Oclício Peixoto
117	ETE	UN-MTS	Res. Sta. Helena	8 DEC/ 8 FA	Rua 2 vs Rua Honório Maia, Pq. Sta. Maria
118	ETE	UN-MTS	São Benedito	4 ETES (3-4 DEC, 1-2 DEC)	Endereço não determinado
119	ETE	UN-MTS	São José da Paupina	8 DEC/ 8 FA	Rua Barão de Aquiraz, Messejana
120	ETE	UN-MTS	São Miguel	4 DEC/ 4 FA	
121	ETE	UN-MTS	Silto Corrêo	2 ETES (DECANTO)	Rua 11vs Av. Perimetral

ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS EM FORTALEZA

Conclusão

INDEX	EE/EFE	RESPONS	NOME DA ESTAÇÃO	DESCRIÇÃO SUCINTA	ENDEREÇO
122	ETE	UN-MTS	Sítio Estrela	2 DEC/ 2 FA	Rua C - Viz ao C/ João Paulo II
123	ETE	UN-MTS	Sítio São João	23 ETES (4 DEC/ 4 FA)	Rua 39 / Av C - Sítio São João
124	ETE	UN-MTS	Soares Moreno	8 DEC/ 8 FA	Av Mal Bittencourt vs Av Doré Brasil
125	ETE	UN-MTS	Unidos Vencedores	16 DEC/ 16 FA	Av Castelo de Castro vs Cristas Paulista, Novo Barroso

Legenda: DEC = decanto digestor ou fossa séptica (FS)
FA = filtro anaeróbio
EE = estação elevatória

Fonte: Cagece (2006)



**Banco do
Nordeste**



ÁREA DE LOGÍSTICA
Ambiente de Gestão dos Serviços de Logística
Célula de Produção Gráfica
OS 2007-02/1.801 - Tiragem: 500

ISBN 978-85-87062-83-3



9 788587 062833

**Banco do
Nordeste**



O nosso negócio é o desenvolvimento

Cliente Consulta / Ouvidoria
0800 728 3030 • clienteconsulta@bnb.gov.br • www.bnb.gov.br