

Sumário

Esgoto: pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios

Prefácio	17
Capítulo 1 – Introdução	19
1.1 Aplicabilidade da tecnologia anaeróbia para o tratamento de esgotos domésticos	19
1.2 A legislação ambiental brasileira e as características dos efluentes dos sistemas anaeróbios	22
1.2.1 Preliminares	22
1.2.2 Considerações em relação à demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	23
1.2.3 Considerações em relação ao fósforo	24
1.2.4 Considerações em relação aos compostos de nitrogênio	24
1.2.5 Considerações em relação aos sólidos sedimentáveis	25
1.3 Necessidade do pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios	25
1.3.1 Preliminares	25
1.3.2 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	26
1.3.3 Nutrientes (N e P)	26
1.3.4 Indicadores microbiológicos	27
1.4 Alternativas para o pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios ..	28
1.4.1 Preliminares	28
1.4.2 Contribuição do presente livro	28
1.4.3 Ilustração fotográfica das diversas unidades experimentais da rede 2 de PROSAB	29
1.5 Bibliografia	34
Capítulo 2 – Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de aplicação no solo	35
2.1 Introdução	35
2.2 Vala de infiltração	37
2.2.1 Descrição	37
2.2.2 Utilização	37
2.2.3 Critérios e parâmetros do projeto e aspectos construtivos	37
2.2.4 Aspectos operacionais	38

2.2.5 Sistema alternativo de vala de infiltração	40
2.2.6 Capacidade de percolação do solo	41
2.2.7 Exemplo de dimensionamento	42
2.3 Sumidouros	43
2.3.1 Descrição	43
2.3.2 Critérios e parâmetros do projeto e aspectos construtivos	43
2.3.3 Capacidade média de percolação do solo	43
2.4 Vala de filtração	44
2.4.1 Descrição	45
2.4.2 Utilização	45
2.4.3 Mecanismos de funcionamento	46
2.4.4 Critérios e parâmetros do projeto	47
2.4.5 Aspectos construtivos	48
2.4.6 Exemplo de dimensionamento	50
2.5 Filtro de areia	51
2.5.1 Descrição	51
2.5.2 Critérios e parâmetros de projeto	51
2.5.3 Aspectos construtivos	52
2.5.4 Aspectos operacionais	53
2.5.5 Manutenção e uso	54
2.6 Terras úmidas (Alagados ou Wetlands)	55
2.6.1 Descrição	55
2.6.2 Terras úmidas naturais	55
2.6.3 Terras úmidas construídas	58
2.6.4 Experiências no âmbito do PROSAB	63
2.7 Irrigação	64
2.7.1 Descrição	64
2.7.2 Aspectos quantitativos e qualitativos	64
2.7.3 Qualidade das águas residuárias	65
2.7.4 Aspectos relativos à saúde pública	67
2.7.5 Aspectos sócio-culturais e econômicos	69
2.7.6 Aspectos relativos ao projeto	70
2.7.7 Aspectos econômicos dos métodos de irrigação	78
2.7.8 Aspectos sanitários e ambientais	78
2.8 Escoamento superficial	78
2.8.1 Descrição	80
2.8.2 Utilização, vantagens e desvantagens	81
2.8.3 Critérios e parâmetros do projeto	82
2.8.4 Aspectos construtivos	83
2.8.5 Experiências no âmbito do PROSAB	87
2.8.6 Exemplo de dimensionamento	89
2.9 Infiltração rápida ou bacia de infiltração	91
2.9.1 Descrição	91

2.9.2 Fatores que influenciam o tratamento	91
2.9.3 Remoção de poluentes	92
2.9.4 Critérios e parâmetros de projeto	93
2.9.5 Experiências no âmbito do PROSAB	96
2.10 Bibliografia	97

Capítulo 3 – Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lagoas de polimento

3.1 Introdução	105
3.2 O comportamento de lagoas de polimento para o pós-tratamento de efluentes anaeróbios	113
3.2.1 Descrição geral dos processos de tratamento	113
3.2.2 Remoção do material orgânico (MO) e dos sólidos em suspensão (SS)	114
3.2.3 Remoção de organismos patogênicos	120
3.2.4 Remoção de nutrientes	131
3.3 Verificação experimental do desempenho de lagoas de polimento	135
3.3.1 Preliminares	135
3.3.2 Remoção de material orgânico e de sólidos em suspensão	136
3.3.3 Remoção de organismos patogênicos	142
3.3.4 Remoção de ovos de helmintos	143
3.3.5 Remoção de coliformes fecais em lagoas de fluxo contínuo	145
3.3.6 Remoção de coliformes fecais em lagoas de operação em batelada ...	149
3.3.7 Remoção de nutrientes	151
3.3.8 Avaliação geral da remoção de poluentes	154
3.4 Aplicabilidade das lagoas de polimento	158
3.4.1 Preliminares	158
3.4.2 Tratamento anaeróbio	159
3.4.3 Tratamento complementar	160
3.5 Exemplos de dimensionamento	165
3.5.1 Dimensionamento para cidades pequenas	165
3.5.2 Dimensionamento para cidades de porte médio	167
3.6 Bibliografia	169

Capítulo 4 – Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme

4.1 Introdução	171
4.2 Classificação moderna dos reatores aeróbios com biofilme	172
4.3 Formação, estrutura e comportamento de biofilmes na depuração	174
4.4 Filtros biológicos percoladores - FBP	179
4.4.1 Introdução	179
4.4.2 Descrição da tecnologia	180
4.4.3 Critérios e parâmetros de projeto	185

4.4.4 Aspectos construtivos	196
4.4.5 Aspectos operacionais	197
4.4.6 Exemplo de dimensionamento	198
4.5 Biodiscos	200
4.5.1 Introdução	200
4.5.2 Descrição da tecnologia	200
4.5.3 Conceitos e princípios	201
4.5.4 Critérios e parâmetros de projeto	202
4.5.5 Produção e características do lodo dos biodiscos	206
4.5.6 Aspectos construtivos e características do meio suporte	208
4.5.7 Exemplo de dimensionamento	209
4.6 Biofiltros aerados submersos	209
4.6.1 Introdução	209
4.6.2 Descrição da tecnologia	209
4.6.3 ETEs associando reatores UASB com BFs	211
4.6.4 Critérios e parâmetros de projeto	223
4.6.5 Aspectos construtivos	226
4.6.6 Aspectos operacionais	227
4.6.7 Exemplo de dimensionamento	231
4.7 Reatores de leito fluidizado ou expandido	235
4.7.1 Introdução	235
4.7.2 Descrição da tecnologia	237
4.7.3 Considerações para projeto	241
4.7.4 Aspectos construtivos	250
4.7.5 Aspectos operacionais	251
4.7.6 Reatores anaeróbios de leito fluidizado ou expandido	252
4.8 Filtros anaeróbios	254
4.8.1 Introdução	254
4.8.2 Descrição da tecnologia	254
4.8.3 Aplicabilidade	256
4.8.4 Critérios e parâmetros de projeto	258
4.8.5 Aspectos construtivos e operacionais	260
4.8.6 Exemplo de dimensionamento	267
4.9 Bibliografia	271

Capítulo 5 – Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de lodos ativados

5.1 Introdução	279
5.2 Variantes do processo	279
5.2.1 Preliminares	284
5.2.2 Lodos ativados convencional (fluxo contínuo)	284
5.2.3 Lodos ativados por aeração prolongada (fluxo contínuo)	286
5.2.4 Lodos ativados de fluxo intermitente (batelada)	287

5.2.5 Lodos ativados para o pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios	289
5.2.6 Comparação entre as variantes do processo de lodos ativados	289
5.3 Critérios e parâmetros de projeto	297
5.4 Sistemas de aeração	299
5.5 Decantadores secundários	303
5.6 Aspectos construtivos	306
5.7 Remoção de nitrogênio	309
5.8 Sistemas de operação intermitente (batelada)	314
5.9 Aspectos operacionais	319
5.10 Exemplo de dimensionamento	322
5.11 Bibliografia	330

Capítulo 6 – Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de flotação

6.1 Introdução	333
6.2 Descrição do sistema de flotação	333
6.2.1 Tipos de flotação	333
6.2.2 Flotação por ar dissolvido	334
6.3 A flotação como pós-tratamento de efluentes anaeróbios	351
6.3.1 Experiência da SANEPAR	351
6.3.2 Experiência da ESC/USP	354
6.3.3 Experiência da CAESB	354
6.4 Critérios e parâmetros de projeto	359
6.4.1 Coagulação e floculação	360
6.4.2 Relação ar-sólido e outros parâmetros de projeto da flotação	362
6.5 Aspectos construtivos e operacionais	363
6.5.1 Aspectos gerais	363
6.5.2 Tanque de flotação	364
6.5.3 Tratamento e destino final do lodo gerado	365
6.5.4 Outros aspectos relevantes	365
6.6 Exemplo de dimensionamento	367
6.7 Bibliografia	374

Capítulo 7 – Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de desinfecção

7.1 Introdução	377
7.2 Fundamentos da desinfecção	386
7.2.1 Princípios de inativação de microrganismos	386
7.2.2 Aspectos cinéticos da desinfecção	388
7.3 Desinfecção com cloro	390
7.3.1 Introdução	390
7.3.2 Aspectos relativos a projeto	392

7.3.3 Aspectos relativos a projeto	398
7.3.4 Aspectos negativos da cloração e necessidade de decloração	411
7.3.5 Aspectos relativos a operação e manutenção	412
7.3.6 Exemplo de dimensionamento	414
7.4 Desinfecção com radiação ultravioleta	415
7.4.1 Introdução	415
7.4.2 Aspectos relativos a projeto	415
7.4.3 Experiências no âmbito do PROSAB	416
7.4.4 Aspectos relativos a operação e manutenção	424
7.4.5 Exemplo de dimensionamento	426
7.5 Desinfecção com ozônio	428
7.5.1 Introdução	430
7.5.2 Aspectos relativos a projeto	430
7.5.3 Aspectos relativos a operação e manutenção (metodologias de análise)	431
7.6 Outros métodos de desinfecção	444
7.6.1 Introdução	444
7.6.2 Agentes químicos	444
7.6.3 Agentes físicos	447
7.7 Análise comparativa e conclusões	451
7.8 Bibliografia	453

Capítulo 8 – Tratamento de odores em sistemas de esgotos sanitários

.....	455
8.1 Odor em estações de tratamento de esgotos sanitários	455
8.2 Avaliação dos odores	457
8.3 Tratamento físico-químico de gases odorantes	458
8.3.1 Processo de tratamento de gases por meio de absorção	459
8.3.2 Processo de um tratamento de gases através de adsorção	460
8.4 Tratamento biológico de gases odorantes	469
8.4.1 Princípios	469
8.4.2 Biodegradabilidade	469
8.4.3 Processos biológicos de tratamento de gases	471
8.5 Aspectos econômicos	478
8.6 Aplicações de processos de tratamento de gases odorantes	479
8.6.1 Biofiltro com turfa	479
8.6.2 Desodorização em lagoas anaeróbias	481
8.6.3 Integração de tratamento de esgotos sanitários com a biodesodorização em biofiltro aerado submerso	483
8.7 Controle de odor na rede de coleta de esgotos	485
8.7.1 Considerações preliminares	485
8.7.2 Métodos de controle	486

8.7.3 Experiências práticas	488
8.8 Bibliografia	489

Capítulo 9 – Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios - uma análise crítica

491

9.1 Introdução	491
9.2 Usos mais frequentes dos processos anaeróbios no tratamento de esgotos sanitários	494
9.2.1 Decanto-digestores (fossas sépticas e tanques Imhoff)	494
9.2.2 Filtros anaeróbios	494
9.2.3 Reatores UASB	495
9.2.4 Lagoas anaeróbias	496
9.3 Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por processos biológicos aeróbios	496
9.4 Efeito do uso de reatores anaeróbios a montante de sistemas aeróbios, para remoção biológica de nutrientes	507
9.5 Uso de reatores anaeróbios seguidos de tratamento físico-químico para remoção de matéria orgânica e fósforo	508
9.6 Uso de reatores anaeróbios seguidos de lagoas fotossintéticas, visando a remoção de organismos patogênicos	509
9.7 Uso do solo para pós-tratamento e/ou disposição de efluentes de reatores anaeróbios	510
9.8 Conclusões	511
9.9 Bibliografia	512

Capítulo 10 – Sistema de apoio à decisão (SAD) para seleção de alternativas de pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios

515

10.1 Introdução	515
10.2 Avaliação tecnológica de alternativas	516
10.3 Princípios da análise multicritério	519
10.3.1 Preliminares	519
10.3.2 Classificação dos métodos	520
10.4 Proposta de uma metodologia de análise tecnológica	523
10.5 Elaboração de aplicativo para a metodologia proposta	528
10.6 Formação da base de dados	534
10.7 Exemplo de utilização do aplicativo	536
10.7.1 Considerações preliminares	536
10.7.2 Caracterização do local	537
10.7.3 Características da água residuária bruta	538
10.7.4 Qualidade do efluente e grau de tratamento requerido	538
10.7.5 Resultado da fase de pré-seleção (alternativas viáveis)	539
10.7.6 Resultado da análise tecnológica global (multicritério e multiobjetivo)	

.....	542	
10.8 Bibliografia		543