

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS - IPH
ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE ESGOTOS

ANÁLISE DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO
BIOLÓGICO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM
COMUNIDADES DE PEQUENO PORTE

Luciane Mendel

Orientador: Luiz Olinto Monteggia

Porto Alegre - RS

2004

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS - IPH
ESPECIALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE ESGOTOS

ANÁLISE DE TECNOLOGIAS PARA O TRATAMENTO
BIOLÓGICO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM
COMUNIDADES DE PEQUENO PORTE

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Sistemas de Esgoto, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS - RS, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Sistemas de Esgoto.

Luciane Mendel

Orientador: **Luiz Olinto Monteggia**

Porto Alegre - RS

2004

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
1.0 INTRODUÇÃO	7
1.1 Objetivos.....	8
1.2 Justificativa do Trabalho	8
1.3 Problema	9
2.0 EFLUENTES LÍQUIDOS	11
2.1 Efluentes Líquidos.....	11
2.2 Características Físicas	12
2.3 Características Químicas	14
2.4 Características Biológicas.....	14
3.0 TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS.....	16
3.1 Generalidades.....	16
3.2 Processo Biológico Aeróbio.....	19
3.2.1 Nitrificação - Desnitrificação	19
3.3 Processo Biológico Anaeróbio	20
4.0 PROCESSOS DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS	23
4.1 Decanto-Digestores	24
4.1.1 Tanques sépticos.....	24
4.1.2 Tanque Imhoff.....	27
4.1.3 Aspectos construtivos	30
4.1.4 Aspectos operacionais.....	32
4.1.5 Aplicabilidade e vantagens	32
4.2 Filtro Biológico Anaeróbio	34
4.2.1 Descrição da tecnologia	35
4.2.2 Aspectos construtivos.....	37
4.2.3 Aspectos operacionais	38
4.2.4 Problemas operacionais.....	38
4.2.5 Aplicabilidade e vantagens	40

4.3	Reator anaeróbio de manta de lodo (UASB).....	42
4.3.1	Descrição da tecnologia	42
4.3.2	Aspectos construtivos.....	44
4.3.3	Aspectos operacionais	44
4.3.4	Problemas operacionais.....	45
4.3.5	Aplicabilidade e vantagens	47
4.4	Reatores anaeróbios de leito fluidizado ou expandido	48
4.4.1	Reator anaeróbio de leito granular expandido - EGSB	48
4.4.2	Reator de recirculação interna (IC).....	49
4.4.3	Descrição da tecnologia.....	50
4.4.4	Aspectos construtivos.....	52
4.4.5	Aspectos operacionais	52
4.4.6	Aplicabilidade e vantagens	54
4.5	Reator anaeróbio seqüencial em batelada	55
4.5.1	Aspectos operacionais	55
5.0	ANÁLISE DE TECNOLOGICAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA COMUNIDADES DE PEQUENO PORTE	57
5.1	Introdução.....	57
5.2	Legislação Ambiental Brasileira e as características dos efluentes	59
5.2.1	Considerações em relação à demanda bioquímica de oxigênio - DBO	60
5.2.2	Considerações em relação ao fósforo.....	61
5.2.3	Considerações em relação aos compostos de nitrogênio	61
5.2.4	Considerações em relação aos sólidos sedimentáveis.....	62
5.3	Análise das tecnologias para o tratamento de efluentes sanitários.....	63
5.3.1	Decanto-digestores (Tanques sépticos e Tanques Imhoff).....	63
5.3.2	Filtros Anaeróbios.....	64
5.3.3	Reatores UASB.....	64
5.3.4	Reatores anaeróbios de leito fluidizado ou expandido e Reator anaeróbio seqüencial em batelada	64
6.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Principais contaminantes em tratamento de águas residuárias.....	12
Tabela 2 – Características físicas, químicas e biológicas das águas residuárias e suas fontes	15
Tabela 3 – Vantagens e desvantagens do processo anaeróbio para tratamento de efluentes	22
Tabela 4 – Padrões de qualidade a serem mantidos no corpo receptor	59
Tabela 5 – Padrões de lançamento de efluentes	60
Tabela 6 – Valores comuns de DBO do efluente e de remoção em sistemas anaeróbios	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Decanto-digestor de câmara única (corte longitudinal).....	31
Figura 2 – Decanto-digestor de câmaras em série (corte longitudinal)	31
Figura 3 – Decanto-digestor de câmaras sobrepostas (corte transversal)	32
Figura 4 – Filtro de fluxo descendente afogado (corte longitudinal)	36
Figura 5 – Filtro de fluxo descendente afogado (corte transversal).....	36
Figura 6 – Filtro de fluxo ascendente, fundo falso, coleta de efluente em calhas e remoção do lodo em excesso por sucção, por meio de tubos guia.....	36
Figura 7 – Filtro de fluxo ascendente, com entrada distribuída, fundo falso e coleta do efluente em tubos afogados e descarga de fundo de lodo	37
Figura 8 – Desenho esquemático de um reator UASB	43
Figura 9 – Esquema do reator de leito fluidificado/expandido	51

1.0 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento dos municípios, sem um planejamento ambiental adequado, provoca alterações bruscas na natureza, que refletem-se em poluição e adaptação ou até mesmo morte dos seres envolvidos e, em consequência, a qualidade de vida resultante é questionável.

O crescimento populacional sem o respectivo desenvolvimento de infraestrutura para abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto compromete a saúde e o bem estar público. No Brasil, a maior parte do esgoto sanitário gerado é lançada aos corpos receptores (por exemplo rios, lagos e mares) sem nenhum tipo de tratamento. Este lançamento pode resultar em variações de características, como pH, temperatura, composição e concentração de cada componente do corpo receptor. Os seres que dependem direta ou indiretamente deste curso d'água sofrerão as consequências destas variações.

A falta de tratamento dos esgotos pode contribuir para a proliferação de inúmeras doenças parasitárias e infecciosas além da degradação dos corpos d'água. A disposição adequada dos esgotos é essencial para a proteção da saúde pública e preservação do meio ambiente.

Um efluente que não atenda às condições que lhe são impostas pela legislação ambiental, deverá ser tratado, adequando as características desse efluente. Sob o interesse da preservação dos corpos d'água, os processos de tratamento de efluentes devem ser plenamente dominados. Este trabalho visa ampliar os conhecimentos em processos de tratamento anaeróbios de esgotos e sua principal contribuição é quanto

aos processos normalmente adotados em pequenas comunidades e que demandam uma menor necessidade de área.

1.1 Objetivos

Este trabalho teve por objetivo principal, estudar e analisar os processos biológicos de tratamento anaeróbio, mais utilizados no tratamento de efluentes domésticos, em comunidades de pequeno porte.

Os objetivos secundários foram estudar os aspectos construtivos e operacionais de cada sistema, apontando os principais problemas decorrentes de uma execução e/ou operação deficientes, além da aplicabilidade de cada um dos sistemas, de acordo com a população a ser atendida .

1.2 Justificativa do Trabalho

Um dos meios de preservação do meio ambiente e da saúde pública, são o tratamento e a disposição final adequada dos efluentes domésticos, em corpos d'água ou solo, sendo para tanto, necessários recursos significativos. Em virtude disso, têm-se buscado alternativas que sejam ao mesmo tempo, de baixo custo de implantação e operação, desde que fiquem asseguradas a salubridade da população vizinha à área de tratamento, preservação do meio ambiente e eficiência do tratamento, de forma a atingir os níveis de lançamento estabelecidos de acordo com a legislação vigente.

Qualquer sistema de esgotos sanitários encaminha seus efluentes, direta ou indiretamente, para corpos d'água receptores, formados pelos conjuntos das águas de superfície e/ou de subsolo. A capacidade receptora destas águas, em harmonia com sua utilização, estabelece o grau de condicionamento a que deverá ser submetido o efluente sanitário, de modo que o corpo d'água receptor não sofra alterações nos parâmetros de qualidade fixados para a região afetada pelo lançamento. Os condicionamentos aplicados aos esgotos são comumente denominados de processos de tratamento.

Deve-se ressaltar ainda, que para a escolha de um processo de tratamento que condicione o efluente aos parâmetros estabelecidos, é necessário que se conheça as características do mesmo, bem como a eficiência de tratamento dos processos a serem adotados.

1.3 Problema

Segundo dados da PNSB de 2000, somente cerca de 16% do esgoto sanitário produzido no Brasil é tratado. A maior parte dessa pequena parcela de esgotos tratados passa por estações de tratamento de grandes cidades, onde são reunidos grandes volumes de esgotos, tratados por tecnologias sofisticadas, que demandam operação complexa e altos custos de implantação e operação.

Dessa forma, face às condições ambientais, sócio-culturais e econômicas do país, sistemas simples para tratamento de esgotos são os que utilizam os processos naturais e os reatores menos mecanizados e mais fáceis de construir e operar. Os sistemas simplificados de tratamento de esgotos, devem, no entanto, conjugar os seguintes requisitos principais (adaptado de LETTINGA, 1995; VON SPERLING, 1995):

- baixo custo de implantação;
- elevada sustentabilidade do sistema, relacionada à pouca dependência de fornecimento de energia , de peças e equipamentos de reposição, etc.;
- simplicidade operacional, de manutenção e de controle;
- baixos custos operacionais;
- adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes (matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e patogênicos);
- pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado na estação;
- baixos requisitos de área;

- existência de flexibilidade em relação às expansões futuras e ao aumento de eficiência;
- possibilidade de aplicação em pequena escala, com pouca dependência da existência de grandes interceptores;
- fluxograma simplificado de tratamento;
- elevada vida útil;
- ausência de problemas que causem transtorno à população vizinha;
- possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas;
- existência de experiência prática.

Não há um sistema de tratamento de esgotos que possa ser indicado como o melhor para quaisquer condições, mas obtém-se a mais alta relação custo/benefício, respeitando-se o aspecto ambiental, quando se escolhe criteriosamente um sistema que se adapta às condições locais e aos objetivos em cada caso.

2.0 EFLUENTES LÍQUIDOS

Neste capítulo apresenta-se a revisão bibliográfica relacionada as principais características dos efluentes líquidos, uma vez que sem o conhecimento das mesmas, a escolha quanto ao processo de tratamento a ser adotado torna-se insatisfatória.

2.1 Efluentes Líquidos

Segundo METCALF & EDDY (1991), um efluente líquido pode ser definido como uma combinação de resíduos líquidos ou diluídos em água, removidos de residências, instituições, estabelecimentos comerciais e industriais, junto a águas subterrâneas, superficiais ou pluviais que possam estar presentes.

O lançamento de compostos orgânicos, presentes no efluente líquido, em corpos receptores pode causar conseqüências sérias, comprometendo a qualidade do mesmo. O crescimento de bactérias oxidativas sob o aumento da concentração de matéria orgânica biodegradável, com conseqüente aumento do consumo de oxigênio. Um curso d'água desprovido de oxigênio dissolvido ocasiona a destruição dos organismos aeróbios e praticamente impossibilita o uso de suas águas para múltiplos usos e finalidades.

Para atender às exigências da legislação ambiental, as fontes poluidoras devem dispor de sistemas de tratamento de efluentes líquidos, e a forma de tratamento estará relacionada intimamente com as características dos efluentes.

METCALF & EDDY (1991) citam os principais contaminantes em tratamento de águas residuárias (Tabela 1).

Tabela 1- Principais Contaminantes em tratamento de águas residuárias

CONTAMINANTE	IMPORTÂNCIA
Sólidos suspensos	Sólidos suspensos podem levar ao desenvolvimento de depósitos de lodo e condições anaeróbias quando o efluente líquido não tratado é lançado no ambiente aquático.
Orgânicos biodegradáveis	Compostos principalmente por proteínas, carboidratos e gorduras, os orgânicos biodegradáveis são quantificados basicamente em termos de DBO (demanda bioquímica de oxigênio) e DQO (demanda química de oxigênio). Se lançado sem tratamento ao ambiente, sua estabilização biológica pode levar à queda da reserva de oxigênio natural e ao desenvolvimento de condições sépticas.
Patogênicos	Algumas doenças podem ser transmitidas por organismos patogênicos em águas residuárias.
Nutrientes	Tanto nitrogênio quanto fósforo, juntos ao carbono, são nutrientes essenciais para o crescimento. Quando lançados no ambiente aquático, estes nutrientes podem levar ao crescimento de uma vida aquática não desejável. Quando lançados em excessivas quantidades sobre a terra, também podem poluir águas subterrâneas.
Poluentes perigosos	Compostos orgânicos e inorgânicos selecionados com base no conhecimento de apresentarem carcinogenicidade, mutagenicidade, teratogenicidade ou toxicidade. Muitos destes compostos são encontrados em águas residuárias.
Orgânicos Refratários	Estes orgânicos tendem a resistir a métodos convencionais de tratamento de efluentes líquidos. Exemplos típicos incluem surfactantes, fenóis e pesticidas agrícolas.
Metais pesados	Metais pesados são geralmente adicionados às águas residuárias de atividades comercial e industrial e devem ser removidos se o efluente for reutilizado.
Inorgânicos dissolvidos	Constituintes inorgânicos como cálcio, sódio e sulfato são adicionados à água de abastecimento doméstico e devem ser removidos se o efluente for reutilizado.

Fonte: METCALF & EDDY (1991)

2.2 Características Físicas

As características mencionadas a seguir são parâmetros de relevância para o estudo dos esgotos sanitários.

a) *Teor de matéria sólida*: é o de maior importância em termos de dimensionamento e controle operacional das unidades de tratamento. É importante com o objetivo de verificações de eficiências dos processos de tratamento já que o mesmo deve atender às condições estabelecidas na resolução CONAMA 20/86. Pode ser classificada em sedimentável e não sedimentável;

b) *Temperatura*: A temperatura dos esgotos nas condições brasileiras encontram-se nas faixas de 20 a 25° C. As principais influências com relação ao tratamento de esgotos são:

- As bactérias que atuam no tratamento são mesofílicas que atuam a uma dada velocidade de consumo de substrato. A faixa ideal para a atividade é de 20 a 35° C, sendo ainda 15° C temperatura limite para bactérias anaeróbias, abaixo da qual as velocidades de consumo de substrato são muito pouco econômicas;
- Em processos aeróbios a transferência de oxigênio é menor quanto maior as temperaturas;
- Aumento da temperatura diminui a viscosidade melhorando as condições de sedimentação;
- Há limitação de lançamento de efluentes à temperatura elevada devido a problemas com a biota do corpo receptor.

c) *Odor*: os odores característicos do esgoto são causados pelos gases formados no processo de decomposição. Há dois tipos de odores bem característicos, sendo: mofo, razoavelmente suportável, típico de esgoto fresco; e odor de ovo podre, “insuportável”, típico de esgoto velho ou séptico, que ocorre devido à formação de gás sulfídrico proveniente da decomposição do lodo contido nos despejos.

d) *Cor e Turbidez*: indicam de imediato, e aproximadamente, o estado de decomposição do esgoto. A cor preta indica de imediato o esgoto velho com decomposição parcial. A turbidez não é utilizada como forma de controle de esgoto bruto, porém pode ser aplicada de maneira a avaliar a eficiência de tratamento secundário, uma vez que pode ser relacionada à concentração de resíduos em suspensão. Cor e turbidez não se aplica como característica de avaliação de tratamento em lagoas de estabilização.

2.3 Características Químicas

A origem dos esgotos permite classificar as características químicas em dois grandes grupos:

a) *Orgânicos*: cerca de 70% dos sólidos no esgoto médio são de origem orgânica. Geralmente, estes compostos orgânicos, são uma combinação de carbono, hidrogênio, oxigênio, algumas vezes com nitrogênio. Os grupos de substâncias orgânicas nos esgotos são constituídos principalmente por:

- compostos de proteínas (40 a 60%);
- carboidratos (25 a 50%);
- gordura e óleos (10%);
- uréia, surfatantes, fenóis, pesticidas, etc...

O parâmetro principal para avaliação dos compostos orgânicos é dada pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Outros valores podem ser utilizados como parâmetros de avaliação de processos de tratamento como por exemplo a Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou o Carbono Orgânico Total (COT).

b) *Inorgânicos*: dos compostos inorgânicos contidos nos esgotos, os mais importantes são os compostos de N, P, e S. Os valores de lançamento de N e P são limitados pela resolução CONAMA 20/86 pelo fato de contribuírem para o processo de floração de algas no corpo receptor e portanto, para eutrofização do mesmo. Os valores de S, são extremamente importantes nos processos de tratamento anaeróbios por serem reduzidos a gás sulfídrico altamente tóxicos e de efeitos corrosivos. Algumas características inorgânicas: alcalinidade, cloretos, metais pesados, nitrogênio, ph, fósforo, poluentes perigosos, enxofre, etc.

2.4 Características Biológicas

Os principais organismos presentes nos esgotos sanitários são as bactérias, algas, fungos, vírus e protozoários. As bactérias evidentemente são as mais importantes, não

somente pela presença de patógenos, como também pelo crescimento bacteriano no reator biológico, sendo responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. Os principais protozoários presentes incluem amebas, flagelados e ciliados livres. Sua importância se dá na manutenção do equilíbrio biológico nos processos de tratamento, já que, são consumidores de bactérias e algas. As algas por sua vez, tem grande importância nos processos de tratamento por lagoas de estabilização fotossintéticas pois, são as responsáveis pela maior concentração de oxigênio do meio água e podem ocasionar problemas no corpo receptor que não seja apropriado para recebê-las.

Tabela 2 - Características físicas, químicas e biológicas das águas residuárias e suas fontes

CARACTERÍSTICAS	FONTE
PROPRIEDADES FÍSICAS	
Cor	Resíduos domésticos e industriais, degradação natural de materiais orgânicos
Odor	Águas residuárias em decomposição e resíduos industriais
Sólidos	Abastecimento de água, resíduos domésticos e industriais, erosão de solos
Temperatura	Resíduos domésticos e industriais
CONSTITUINTES QUÍMICOS	
Orgânicos	
Carboidratos	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
Gorduras, óleos e graxas	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
Pesticidas	Resíduos agrícolas
Fenóis	Resíduos industriais
Proteínas	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
Poluentes perigosos	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
Surfactantes	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
Compostos orgânicos voláteis	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
Outros	Degradação natural de matérias orgânicos
Inorgânicos	
Alcalinidade	Resíduos domésticos, abastecimento de água, infiltração de água subterrânea
Cloretos	Resíduos domésticos, abastecimento de água, infiltração de água subterrânea
Metais pesados	Resíduos industriais
Nitrogênio	Resíduos domésticos e agrícolas
PH	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
Fósforo	Resíduos domésticos, comerciais e industriais, drenagem natural de água
Poluentes perigosos	Resíduos domésticos, comerciais e industriais
Enxofre	Abastecimento de água potável, resíduos domésticos, comerciais e industriais
Gases	
Gás sulfídrico	Decomposição de resíduos domésticos
Metano	Decomposição de resíduos domésticos
Oxigênio	Abastecimento de água potável, infiltração com a superfície da água
CONSTITUINTES BIOLÓGICOS	
Animais	Cursos d'água abertos e plantas de tratamento de efluentes
Plantas	Cursos d'água abertos e plantas de tratamento de efluentes
Protistas	
Eubactéria	Resíduos domésticos, infiltração com a superfície da água e plantas de
Arqueobactérias	Resíduos domésticos infiltração com a superfície da água e plantas de
Vírus	Resíduos domésticos

Fonte: METCALF & EDDY (1991)

3.0 TRATAMENTO BIOLÓGICO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

Um sistema qualquer de esgotos sanitários encaminha seus efluentes, direta ou indiretamente, para corpos d'água receptores, formados pelos conjuntos das águas de superfície ou de subsolo. A capacidade receptora destas águas, em harmonia com sua utilização, estabelece o grau de condicionamento a que deverá ser submetido o efluente sanitário, de modo que o corpo receptor não sofra alterações nos parâmetros de qualidade fixados para a região afetada pelo lançamento.

O grau e a eficiência de tratamento necessários serão sempre função do corpo receptor e das características de uso da água a jusante do ponto de lançamento; da capacidade de autodepuração e diluição do corpo d'água; da legislação ambiental; e das conseqüências dos lançamentos dos esgotos.

Neste capítulo, faremos uma breve revisão dos processos aeróbio e anaeróbio.

3.1 Generalidades

Com a Revolução Industrial no século XVIII, ocorreu uma explosão demográfica na cidade de Londres, Inglaterra. A cidade concentrava as indústrias e todo o contingente populacional necessário para impulsionar o progresso. Diversas epidemias e doenças surgiram e tiveram suas causas apontadas para a falta de saneamento básico, em especial o tratamento de esgotos. As novas ciências tentaram achar a solução para os problemas de tratamento de esgotos. Destes estudos surgiram duas linhas gerais: os processos anaeróbios e os aeróbios.

O tratamento biológico de efluentes, como o próprio nome indica, ocorre inteiramente por mecanismos biológicos. Estes processos reproduzem, de certa maneira, os processos naturais que ocorrem, em um corpo d'água, após o lançamento de despejos. No corpo d'água, a matéria orgânica carbonácea e nitrogenada é convertida em produtos inertes por mecanismos puramente naturais, caracterizando o assim chamado fenômeno da autodepuração. Em uma estação de tratamento de efluentes os mesmos fenômenos básicos ocorrem, mas com a introdução de tecnologia. Essa tecnologia tem como objetivo fazer com que o processo de depuração se desenvolva em condições controladas.

No tratamento de efluentes há uma interação de diversos mecanismos, alguns ocorrendo, simultaneamente, e outros seqüencialmente. A atuação microbiana principia-se no próprio sistema de coleta e interceptação de efluentes e atinge seu máximo na estação de tratamento. Nas estações de tratamento de efluentes, ocorre a remoção das matéria orgânica e eventualmente também a oxidação da matéria nitrogenada.

A degradação da matéria orgânica carbonácea constitui o principal objetivo de todos os processos de tratamento de efluentes a nível secundário e pode-se dizer que grande parte da poluição ocasionada por compostos carbonados já está encaminhada, tecnicamente.

A remoção de matéria nitrogenada ocorre através da nitrificação, que tem lugar com elevada freqüência em alguns processos de tratamento, por exemplo, em lodos ativados. Nestes sistemas, mesmo que a nitrificação não tenha sido considerada como um objetivo explícito do projeto, a sua alta taxa de ocorrência ressalta a grande importância que deve ser atribuída à mesma. O processo de nitrificação é uma etapa intermediária para a remoção dos compostos de nitrogênio, visto que neste processo, acontece apenas a conversão do nitrogênio presente na água residuária, em compostos oxidados de nitrogênio. A etapa seguinte compreende o processo de desnitrificação, onde os compostos oxidados de nitrogênio serão, então, transformados em nitrogênio molecular que é devolvido à atmosfera.

Os processos biológicos dependem da ação de microorganismos presentes nos esgotos; os fenômenos inerentes à alimentação são predominantes na transformação dos componentes complexos em compostos simples, tais como: sais minerais, gás carbônico e outros.

Os microorganismos importantes nos processos de tratamento biológico são:

- a) *Bactérias*: a temperatura e o pH influenciam na vida e morte das bactérias assim como de outras plantas e animais. A velocidade da reação aumenta com a temperatura. No tratamento biológico as bactérias heterotróficas constituem o grupo mais importante, por sua necessidade de compostos orgânicos para sua “procriação”. As bactérias podem se dividir em aeróbias, anaeróbias ou facultativas, de acordo com sua necessidade de oxigênio;
- b) *Fungos*: a maioria dos fungos são aeróbios, podendo crescer com pouca umidade e são tolerantes a um ambiente com pH relativamente baixo. Os fungos necessitam aproximadamente metade da demanda de nitrogênio das bactérias. A capacidade dos fungos de sobreviver a pH baixo e pouco nitrogênio é muito importante e o tratamento de algumas águas residuárias industriais e na formação de composto a partir de resíduos sólidos orgânicos;
- c) *Algas*: para que um tanque de oxidação aeróbio ou facultativo funcione eficazmente, é imprescindível que as algas proporcionem oxigênio para as bactérias aeróbias e heterotróficas;
- d) *Protozoários*: atuam como purificadores dos efluentes de processos biológicos de tratamento das águas residuárias ao consumirem bactérias e partículas orgânicas.

3.2 Processo Biológico Aeróbio

Os processos biológicos que ocorrem na presença de oxigênio livre, denominados aeróbios, são os mais utilizados e conhecidos. A implantação de sistemas com processos aeróbios oferece, portanto, poucos riscos de investimento; porém, equipamentos necessários como aeradores demandam energia e o lodo, gerado como subproduto, ainda é passível de decomposição por ação biológica.

3.2.1 Nitrificação - Desnitrificação

Os padrões de qualidade de efluentes cada vez mais rigorosos exigiram uma grande demanda de tecnologias capazes de remover nitrogênio e fósforo de águas residuárias da forma mais econômica possível. No entanto, a redução dos teores destes nutrientes permanece até hoje como um objetivo de qualidade dificilmente acessível às tecnologias mais simples de depuração, como as que fazem parte do tratamento secundário, passando a constituir o chamado tratamento terciário.

A remoção de nitrogênio, na forma de nitrato por conversão a nitrogênio gasoso, pode ser feita, biologicamente, em condições anóxicas (sem oxigênio). O principal caminho bioquímico da desnitrificação não é anaeróbio, mas uma modificação do caminho aeróbio, por isso o uso do termo anóxico no lugar de anaeróbio. A conversão é feita por muitas bactérias anaeróbias ou facultativas. Estas bactérias são heterotróficas capazes de reduzir nitrato em duas etapas. A primeira é a conversão de nitrato à nitrito e a segunda é a produção de óxido nítrico, óxido nitroso e gás nitrogênio.

Os três últimos compostos são gasosos e podem ser retirados para a atmosfera. Os microorganismos oxidam um substrato orgânico (fonte de energia) e os equivalentes de redução produzidos são transferidos para o nitrato, que atua como receptor final de elétrons na cadeia respiratória. Em consequência, para que se produza a desnitrificação, é necessário um substrato oxidável e uma concentração adequada de nitrato.

A cinética da nitrificação é influenciada por diversos fatores ambientais, como: relação C/N; temperatura; pH; alcalinidade; concentração de oxigênio dissolvido. A nitrificação é inibida por altas taxas de matéria orgânica, que proporciona o crescimento de microorganismos heterotróficos que competem com os autotróficos nitrificantes pelo oxigênio e nutrientes, além de terem uma taxa de crescimento cinco vezes maior. A temperatura e o pH também afetam a taxa de nitrificação; altas temperaturas tornam o processo dinâmico onde há alto consumo de oxigênio e de alcalinidade necessários a nitrificação e em baixas temperaturas, as nitrificadoras perdem sua atividade.

A nitrificação é sensível à presença de compostos tóxicos, incluindo metais pesados e compostos orgânicos. Além disso, é um processo problemático porque a taxa de crescimento dos microorganismos é muito baixa. Em consequência, pouca biomassa é produzida e é obtida pouca concentração de lodo do efluente final.

3.3 Processo Biológico Anaeróbio

No processo anaeróbio, onde não há oxigênio dissolvido no afluente dentro do reator, o tratamento ocorre pela fermentação biológica. A ação das bactérias, que utilizam determinados componentes do esgoto para seu metabolismo, resultando em partes menores e outros gases, principalmente gás metano e gás sulfídrico. A carga tóxica do efluente é consideravelmente reduzida, porém, o sistema é incapaz de quebrar certos componentes orgânicos. É um sistema sensível e de difícil operação.

Sendo um processo biológico, o meio deve oferecer as condições requeridas por microorganismos para que realizem as reações de interesse (isto é, convertam o máximo possível da matéria orgânica presente nos produtos finais do processo anaeróbio). Dentre essas condições citam-se por exemplo: temperatura, pH, energia disponível, reagentes aos quais os microrganismos estejam adaptados, concentrações de reagentes (substratos) e produtos que favoreçam as reações, presença de nutrientes (nitrogênio, fósforo, enxofre, potássio, cálcio e outros) e ausência de inibidores.

As reações do processo anaeróbio ocorrem de forma sequencial, em diversas etapas. A matéria orgânica presente em um sistema poderá ser utilizada como substrato por um grupo de bactérias, sendo considerada reagente, e pode ter sido gerada por outro grupo, sendo considerada produto que se alternem como reagentes e produtos, são denominadas produtos intermediários.

O conjunto das reações seqüenciais que ocorrem no processo anaeróbio, pode ser considerado uma reação global anaeróbia. Os produtos de maior interesse na aplicação do processo anaeróbio, em sistemas de tratamento de efluentes, são aqueles resultantes da reação anaeróbia completa, isto é, estáveis (como os gases metano, hidrogênio, dióxido de carbono), pois não sofrem alterações se lançados ao meio ambiente.

Os produtos estáveis gerados pela reação global anaeróbia recebem também o nome de produtos finais: se toda a matéria orgânica for transformada em produtos estáveis, diz-se que a reação foi completa. Há que se diferenciar os produtos finais da reação global anaeróbia, já estabilizados, daqueles gerados em sistemas anaeróbios. Na prática, as reações anaeróbias não ocorrem de forma completa; além de produtos estabilizados, alguns produtos intermediários (inclusive células bacterianas) ainda estão presentes no efluente de sistemas anaeróbios de tratamento de águas residuárias.

O processo anaeróbio pode formar, além de gás carbônico, metano e hidrogênio, outros compostos menos oxidados (como álcoois ou ácidos orgânicos), que poderiam fornecer ainda alguma energia.

O tratamento anaeróbio necessita integração em um programa de tratamento global, porque para se obter uma completa remoção e recuperação ou reutilização de poluentes, também outros processos de tratamento são requeridos. Uma das principais desvantagens dos processos anaeróbios é a elevada concentração de nitrogênio amoniacal no seu efluente, o que impede a sua descarga direta em um corpo receptor. Um pós-tratamento, simples e de baixo custo, como o filtro aeróbio, alcança eficiências comparáveis com os processos convencionais, na remoção de nitrogênio amoniacal.

Em que pesem suas grandes vantagens, os reatores anaeróbios dificilmente produzem efluente que atende aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira. Torna-se de grande importância, portanto, o pós-tratamento dos efluentes dos reatores anaeróbios, como uma forma de adequar o efluente tratado aos requisitos da legislação ambiental e propiciar a proteção dos corpos d'água receptores dos lançamentos dos esgotos.

O principal papel do pós tratamento é o de completar a remoção de matéria orgânica, bem como o de propiciar a remoção de constituintes pouco afetados no tratamento anaeróbio, como nutrientes (N e P) e os organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários e helmintos).

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens do processo anaeróbio para tratamento de efluentes

Vantagens	Desvantagens
1) Baixa produção de sólidos biológicos residuais;	1) processo mais sensível a alguns compostos específicos, como ao triclorometano, ao clorofórmio e ao cianeto, por exemplo;
2) O lodo biológico residual é um produto altamente estabilizado, do qual pode-se extrair água facilmente;	2) Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária;
3) Baixo consumo de nutrientes;	3) Remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória;
4) baixa demanda de área;	4) Possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis;
5) baixo consumo de energia;	5) A partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semeadura adaptado;
6) produção de metano, que é um produto final utilizável;	6) Possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável;
7) Baixos custos de implantação;	7) Pouca experiência prática.
8) Pode-se aplicar altas cargas orgânicas, sob condições adequadas;	
9) Aplicabilidade em pequena e grande escala;	

Fonte: Adaptado de LETTINGA et al. e CHERNICHARO.

4.0 PROCESSOS DE TRATAMENTO ANAERÓBIO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

O objetivo deste trabalho é a análise de tecnologias para o tratamento biológico de efluentes domésticos comumente adotados em comunidades de pequeno porte. Dessa forma, este capítulo apresentará um breve estudo dos processos biológicos anaeróbios que não demandam grandes áreas para sua implantação, baixa demanda de energia para sua operação o que gera conseqüentemente um baixo custo operacional.

Serão abordados os principais aspectos construtivos e operacionais, além dos problemas operacionais mais freqüentes em cada um processos descritos, bem como a aplicabilidade dos mesmos, em função da população a ser esgotada.

Os diversos modelos de reatores anaeróbios apresentam características próprias quanto a retenção celular, tempo de detenção hidráulica, separação de fases sólido-líquido-gás, concentração orgânica e presença de sólidos em suspensão em seu afluente, regime hidráulico, vazão de operação, dimensões, etc.

Uma vez escolhido o sistema anaeróbio para tratamento de um efluente, a opção do reator deve ser feita de forma criteriosa. Maior eficiência do sistema e menor tempo de detenção hidráulica geralmente equivalem a sistemas mais sofisticados e com maior complexidade de operação.

Os digestores de biomassa em suspensão foram desenvolvidos para manter altas populações de bactérias, permitindo a degradação a tempos de detenção hidráulicas reduzidos. A esta classe incluem-se o processo anaeróbio de contato, o digestor anaeróbio com clarificador e o reator anaeróbio de manta de lodo.

Os reatores anaeróbios de filme-fixo de leito estacionário e de leito expandido são adequados para o tratamento de águas residuárias relativamente diluídas. Entre eles encontram-se os filtros anaeróbios e os reatores anaeróbios de leito expandido.

4.1 Decanto-Digestores

Os decanto-digestores abrangem diversos tipos de configurações consagradas na prática, tendo sido os precursores do tratamento anaeróbio de esgotos. São, basicamente, tanques simples ou divididos em compartimentos (câmaras em série) ou verticais (câmaras sobrepostas), utilizados com o objetivo de reter por decantação os sólidos contidos nos esgotos, propiciar a decomposição dos sólidos orgânicos decantados no seu próprio interior e acumular temporariamente os resíduos, com volume reduzido pela digestão anaeróbia, até que sejam removidos em períodos de meses ou anos.

Fazem parte deste grupo os tanques sépticos e o tanque Imhoff, os quais estão descritos a seguir.

4.1.1 Tanques sépticos

As pesquisas de caráter histórico registram como inventor dos tanques sépticos Jean Louis Mouras que, em 1860, construiu um tanque de alvenaria, no qual eram coletados, antes de serem encaminhados para um sumidouro, os esgotos, restos de cozinha e águas pluviais de uma pequena habitação em Veoul, na França. Este tanque, aberto 12 anos mais tarde, não apresentava acumulada a quantidade de sólidos que foi previamente estimada em função da redução apresentada no efluente líquido do tanque.

Posteriormente, J. L. Mouras realizou uma série de experiências e, em face dos resultados obtidos, registrou a patente do modelo testado em 02/09/1881.

Após largamente empregadas na Europa, os tanques sépticos foram adotadas nos EUA em 1883, quando Edward S. Philbrick, de Boston Mass, projetou um modelo de dois compartimentos. Em 1895, a patente foi cedida à Inglaterra, que passou a utilizá-la como processo de tratamento dos esgotos.

4.1.1.1 Descrição da tecnologia

Os tanques sépticos são câmaras convenientemente construídas para reter os despejos domésticos e/ou industriais, por um período de tempo especificamente estabelecido, de modo a permitir sedimentação dos sólidos e retenção do material graxo contido nos esgotos, transformando-os, bioquimicamente, em substância e compostos mais simples e estáveis.

De acordo com a definição, o funcionamento dos tanques sépticos pode ser explicitado nas seguintes fases do desenvolvimento do processo:

- 1) *Retenção do esgoto*: o esgoto é detido na fossa por um período racionalmente estabelecido, que pode variar de 24 a 12 horas, dependendo das contribuições afluentes;
- 2) *Decantação do esgoto*: simultaneamente à fase anterior, processa-se uma sedimentação de 60 a 70% dos sólidos em suspensão contidos nos esgotos, formando-se uma substância semi líquida denominada lodo. Parte dos sólidos não sedimentáveis, formados por óleos, graxas, gorduras e outros materiais misturados com gases, emerge e é retida na superfície do líquido, no interior da tanque séptico, os quais são comumente denominados de espuma;

- 3) *Digestão anaeróbia do lodo*: ambos, lodo e espuma, são atacados por bactérias anaeróbias, provocando destruição total ou parcial de material volátil e organismos patogênicos;
- 4) *Redução do volume do lodo*: do fenômeno anterior, digestão anaeróbia, resultam gases, líquidos e acentuada redução de volume dos sólidos retidos e digeridos, que adquirem características estáveis capazes de permitir que o efluente líquido dos tanques sépticos possa ser disposto em melhores condições de segurança.

É importante lembrar que o tanque séptico não purifica os esgotos, apenas reduz a sua carga orgânica a um grau de tratamento aceitável em determinadas condições. Assim os sólidos não retidos são arrastados com o efluente, juntamente com o produto solúvel da decomposição do lodo. O efluente é escuro e com o odor característico, causado pela presença de gás sulfídrico e outros gases produtores de odores. As bactérias estão presentes em grande quantidade.

Difere dos efluentes comuns de sistemas de tratamento, devido à sua fase anaeróbia, não havendo condições favoráveis para a eliminação total das bactérias patogênicas. O efluente poderá, periodicamente, apresentar grande quantidade de sólidos. Esta condição é geralmente causada pela grande atividade bacteriana do líquido retido, a qual é responsável pela formação de gases e turbulência. É necessário, portanto, maior atenção relativa à disposição dos efluentes dos tanques sépticos, em relação ao corpo receptor.

4.1.1.2 Problemas operacionais

A eficiência dos tanques sépticos está intimamente vinculada aos recursos humanos e materiais dos seus usuários. Estas unidades são negligentemente utilizadas e tem uma eficiência afetada pelos seguintes fatores:

- desconhecimento comum da obrigatoriedade de evitar poluição;
- incapacidade material para a execução dos serviços de limpeza periódica do material acumulado nos tanques sépticos (lodo);

- localização inadequada dos tanques sépticos e dos sistemas de disposição dos seus efluentes (líquidos e sólidos);
- dificuldade de locais adequados à disposição do material sólido removido (lodo);
- aversão natural do manuseio da matéria fecal; e
- negligência dos usuários em harmonia com a ausência de fiscalização dos órgãos públicos responsáveis.

Obviamente, a má performance dos tanques sépticos provoca a inoperância das unidades subseqüentes, como vem ocorrendo freqüentemente com filtro biológico anaeróbio, com graves conseqüências no corpo receptor.

A simplicidade do processo e o desconhecimento sobre as condições técnicas exigidas para a seleção do emprego de tanques sépticos tem sido as principais causas da inadequabilidade destas unidades. Os tanques sépticos comumente não se encontram em condições satisfatórias de projeto, construção, manutenção e destino dos seus efluentes (líquido e sólido). Por estas razões, torna-se evidente que nas comparações técnicas e econômicas necessárias à seleção de uma solução entre alternativas, do processo de tratamento dos esgotos de uma comunidade, sejam analisadas integralmente, abordando em profundidade todos os problemas secundários advindos da implantação do processo recomendado. A aceitação incondicional e simplória do emprego dos tanques sépticos, em grupamentos habitacionais, tem sido a principal causa do retardamento das melhorias das condições de salubridade destas regiões.

4.1.2 Tanque Imhoff

Os tanques Imhoff são considerados como um melhoramento, baseado no funcionamento dos tanques sépticos, nas quais a eficiência do processo é afetada pela condição da sedimentação e digestão em uma mesma câmara.

As finalidades dos tanques Imhoff são idênticas às finalidades de um sistema de tratamento primário, observando-se, no entanto, a vantagem de possuir em um mesmo tanque as principais unidades daquele tratamento, permitindo que a operação de

remoção de lodo do decantador se processe normalmente sem interferência de qualquer dispositivo de transporte do lodo, o qual é relativamente inofensivo e seca facilmente em leitos de secagem.

4.1.2.1 Descrição da tecnologia

Os tanques Imhoff são unidades compactas, possuindo em um mesmo tanque as unidades de sedimentação e digestão do lodo. O sistema consiste em dotar os esgotos afluentes com as mesmas condições impostas em um decantador convencional. O lodo sedimentado é naturalmente encaminhado para um compartimento destinado a digerí-lo convenientemente, de onde é removido para unidades de secagem ou qualquer outro tipo de disposição final criteriosamente selecionado.

Os tanques Imhoff, por conjugar dois processos de tratamento, exigem que as suas características obedeçam a inúmeras condições com finalidades vinculadas a cada unidade de tratamento, de modo que um processo (decantação) não interfira no outro processo (digestão).

Estas unidades podem ser construídas na mesma forma e características adotadas para os decantadores e digestores, condicionadas, no entanto, à perfeita adaptação que caracteriza as unidades compactas.

O tanque Imhoff apresenta grande vantagem sobre os tanques sépticos devido à ausência de partículas de lodo no efluente, a não ser em operações anormais. Esta condição produz um lodo com boas características de secagem.

4.1.2.2 Problemas operacionais

Devido à operação deficiente poderão surgir os seguintes problemas:

- 1) *Vazões Desiguais*: causadas por propriedades hidráulicas desiguais nas tubulações ou canais afluentes; fluxo de esgotos inclinados em relação aos vertedores de entrada; vertedores afluentes e efluentes desnivelados; e lâminas d'água desiguais nos vertedores dos compartimentos.

Esta deficiência pode ser prevenida e/ou corrigida ajustando-se as tubulações e canais afluentes; orientando o sentido do fluxo; e nivelando os vertedores.

- 2) *Grande quantidade de sólidos nas superfícies do líquido e no efluente*: causada por acumulação excessiva ou remoção deficiente da espuma aderida nas paredes; sólidos transpondo a abertura da câmara de decantação; e grande concentração de sólidos no afluente.

A prevenção e recuperação, neste caso, pode ser realizada através do ajuste das chicanas; remoção com maior frequência da espuma agregada e do lodo de acordo com a frequência de acumulação; evitar uso excessivo de jatos de água na limpeza; evitar o excesso de recirculação da espuma pela chaminé de gás; e verificar a concentração dos sólidos sedimentáveis no afluente e efluente;

- 3) *Grande acumulação de espuma*: causada geralmente pela grande quantidade de material flutuante no esgoto bruto. Sua prevenção e recuperação pode ser realizada com o aumento da frequência e quantidade de líquido recirculado; remoção de toda espuma quando o gás e o lodo forem forçados a passar pela abertura da câmara de decantação; e localização e redução da quantidade de material flutuante transportado pelo esgoto, quando possível, desconectando ou removendo na fonte.

- 4) *Intumescimento de lodo*: geralmente causada pela grande quantidade de lodo cru ou sementeira deficiente; acréscimo de temperatura na zona de digestão; alto teor de matéria orgânica no esgoto bruto; e capacidade insuficiente da câmara de digestão.

A prevenção e recuperação, pode ser realizada pela redução da quantidade de lodo no tanque, de modo a garantir um afastamento em torno de 0,60 m da câmara de decantação, cujo nível pode ser controlado por sondas; retirada do lodo frequentemente em pequenas quantidades, mantendo em torno de 15% de lodo bem digerido, como sementeira; redução da carga orgânica afluente; inclusão de novas unidades de tratamento; remoção temporária da unidade de

serviço; aspersão de água em alta pressão para desintegrar as bolhas de gás da espuma, podendo-se usar o retorno do sobrenadante; agitação mecânica ou manual, para liberar as bolhas de gás; cloração do esgoto bruto; e ajuste do pH, para o valor 7, por meio de cal hidratada.

- 5) *O lodo não flui através da tubulação de descarga:* podendo ser causado pelo lodo demasiadamente viscoso ou denso; e obstrução da tubulação (areia, trapos, lodo duro, etc.). A prevenção e recuperação pode ser realizada através da utilização de mangueira com alta pressão de água na tubulação de descarga de lodo; vistoria das válvulas; remoção do lodo adensado próximo à entrada da tubulação; e remoção da areia acumulada no fundo do tanque.

4.1.3 Aspectos construtivos

A construção ou implantação de decanto-digestores é extremamente simples, não requer detalhes especiais. Exige apenas que o construtor execute o projeto com fidelidade, obedecendo às especificações técnicas, que normalmente seguem procedimentos usuais da construção civil.

Merecem atenção todos os esforços aos quais a estrutura será submetida, inclusive cargas sobre a cobertura e possível empuxo de fundo devido à elevação sazonal do lençol d'água.

As unidades podem ser pré-fabricadas ou construídas no local. Os materiais devem ser resistentes à agressividade química dos esgotos.

O mais comum é a construção em alvenarias de tijolos. Nesse caso, deve ser dada preferência a tijolos cerâmicos maciços com bom cozimento. A alvenaria deve ser revestida de modo a assegurar estanqueidade. Ao término da construção devem ser realizados testes de estanqueidade.

Deve ser providenciada inscrição visível e indelével (de preferência na tampa de inspeção) da data de construção, volume útil e tempo de esgotamento.

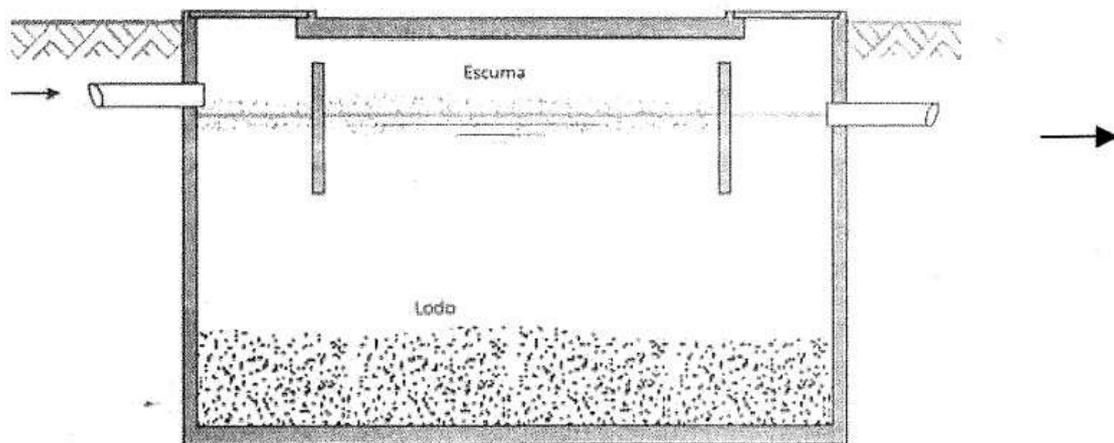


Figura 1 - Decanto-digestor de câmara única (corte longitudinal)

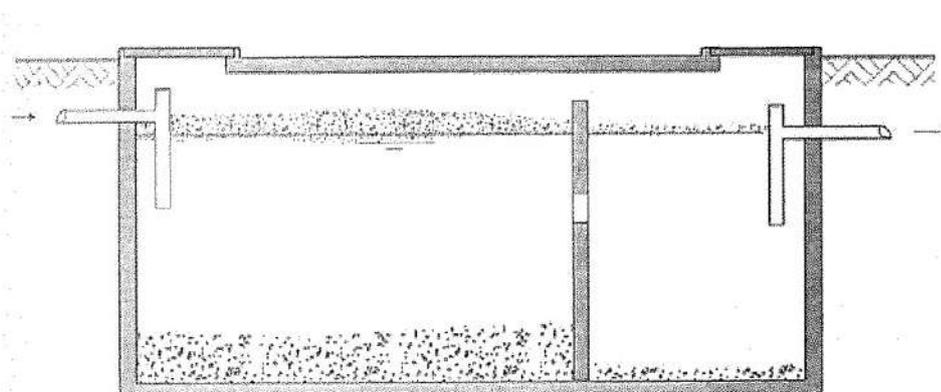


Figura 2 - Decanto-digestor de câmaras em série (corte longitudinal)

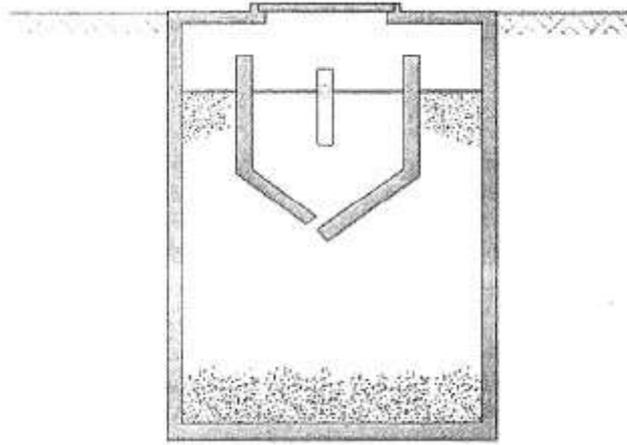


Figura 3 - Decanto-digestor de câmaras sobrepostas (corte transversal)

4.1.4 Aspectos operacionais

A operação de um decanto-digestor, além de muito simples, é eventual. Consiste basicamente na remoção do lodo na frequência prevista no projeto (tempo de esgotamento), geralmente períodos de meses ou anos. O tempo de esgotamento previsto no projeto pode ser corrigido, se um desejável monitoramento (análise de DQO e sólidos suspensos, no mínimo) indicar a necessidade de modificação em função da qualidade necessária do efluente.

Essa operação, embora muito simples, não pode ser negligenciada ou descuidada, sobretudo quanto à data de esgotamento. Se no tempo adequado o lodo não for removido, o espaço destinado à decantação será ocupado por sólidos e o reator não terá qualquer função eficaz de tratamento de esgotos.

4.1.5 Aplicabilidade e vantagens

O sucesso do decanto-digestor deve-se, certamente, à construção e operação muito simples, não exigindo técnicas construtivas especiais, nem equipamentos, e sua operação não requer a presença constante do operador.

Embora sejam mais aplicados para pequenas vazões, os decanto-digestores servem, também, para tratar vazões médias e grandes, principalmente quando construídos em módulos.

Em muitas situações os decanto-digestores são suficientes para resolver os problemas de tratamento dos esgotos. Quando não, são recomendáveis para anteceder reatores mais eficientes.

É uma tecnologia simples, compacta e de baixo custo. Como outros processos anaeróbios, não apresenta alta eficiência, principalmente na remoção de patogênicos, mas produz um efluente razoável, que pode facilmente ser encaminhado a um pós tratamento ou ao destino final.

Podem anteceder variados tipos de unidades de tratamento de esgotos e são muito vantajosos quando associados aos que removem matéria orgânica dissolvida. Removem a maior parte de matéria orgânica e dos sólidos suspensos, com produção de lodo relativamente baixa, reduzindo o custo total do sistema de tratamento quando são associados a unidades mais sofisticadas ou que necessitam de grandes áreas para implantação.

Na prática, as alternativas aplicadas para pós-tratamento e destino final dos efluentes de decanto-digestores são muitas, destacando-se o filtro anaeróbio para pós-tratamento e a disposição no solo como destino final.

Além dos inúmeros pequenos sistemas locais, que atendem a residências ou conjunto de prédios, quase sempre com infiltração dos efluentes no solo, tem-se, no Brasil, já um bom número de decanto-digestores de grande porte. Há várias aplicações de grandes decanto-digestores antecedendo pequenas lagoas de estabilização, substituindo as lagoas anaeróbias, para evitar maus odores. Alguns sistemas que associam tanque séptico e filtros anaeróbios já são utilizados para o atendimento de até duas mil pessoas.

As grandes vantagens dos decanto-digestores, em comparação com outros reatores anaeróbios e de resto com todas as opções de tratamento de esgotos, estão na construção muito simples, na operação extremamente simples e eventual e nos custos.

A extrema simplicidade da operação, eventualmente, pode ser fator decisivo na escolha do decanto-digestor para a aplicação no tratamento de esgotos em locais onde não se pode assegurar uma operação competente, atenciosa e constante.

A eficiência dos decanto-digestores depende de vários fatores, principalmente: carga orgânica volumétrica, carga hidráulica, geometria, compartimentos e arranjo das câmaras, dispositivos de entrada e saída, temperatura e condições de operação. Portanto, a eficiência varia bastante em função da competência de projeto. Normalmente, situa-se entre 40% e 70% na remoção de DBO ou DQO e 50% a 80% nas remoção dos sólidos suspensos.

4.2 Filtro Biológico Anaeróbio

Os filtros anaeróbios são utilizados para tratamento de esgotos pelo menos desde a década de 1950, mas constituem-se ainda uma tecnologia em franco desenvolvimento. A busca de alternativas para o material de enchimento, que é responsável pela maior parcela dos custos e pelo volume, e o aperfeiçoamento de detalhes construtivos, incluindo o sentido do fluxo e a facilidade de remoção do lodo de excesso, são os aspectos que merecem maior atenção no desenvolvimento tecnológico dos filtros anaeróbios.

No Brasil, o filtro anaeróbio tornou-se mais popular a partir de 1982, quando a NBR 7229 da ABNT incorporou diretrizes básicas para o projeto e construção dos filtros anaeróbios, incentivando o seu uso associado aos tanques sépticos, como unidade de pós tratamento.

O filtro anaeróbio não se presta apenas para pós-tratamento de efluentes de pequenos tanques sépticos, sendo recentemente aplicados no Brasil para pós tratamento (polimento) de efluentes de grandes decanto-digestores e de reatores anaeróbios de manta de lodo.

4.2.1 Descrição da tecnologia

Os filtros anaeróbios mais comuns consistem em um tanque cheio de pedras britadas ou outro material inerte que serve de suporte para aderência e desenvolvimento de microorganismos, constituindo um leito com elevado grau de vazios. Podem ter fluxo ascendente, horizontal ou descendente. Nos filtros de fluxo ascendente, o líquido penetra pela base, distribuído por um fundo falso ou tubos perfurados, flui através do material de enchimento e é descarregado pelo topo, coletado em canaletas ou tubos perfurados. Nos de fluxo descendente, o caminho é inverso e o leito pode ser submerso (afogado) ou não.

Na superfície de cada peça do material de enchimento ocorre a fixação e o desenvolvimento de microorganismos na forma de biofilme e, nos filtros afogados, principalmente nos de fluxo ascendente, também agrupam-se microrganismos na forma de flocos ou grânulos nos interstícios do material de enchimento. O esgoto percola nos interstícios do leito filtrante, em contato com o lodo ativo retido.

O principal objetivo dos reatores anaeróbios com fluxo através do lodo ativo é propiciar maior tempo de retenção celular, para obter contato longo entre a biomassa ativa e o esgoto a ser tratado. Exploram a imobilização e retenção de bactérias, na forma de biofilme, flocos ou grânulos, em maior tempo possível e nas maiores concentrações admissíveis, mesmo para tempos de retenção hidráulica curtos. O fluxo dos esgotos por meio desse lodo ativo, retido, propicia maior eficiência na remoção do material dissolvido que nos reatores nos quais o material não sedimentável sofre pouca ou nenhuma ação metabólica da massa bacteriana.

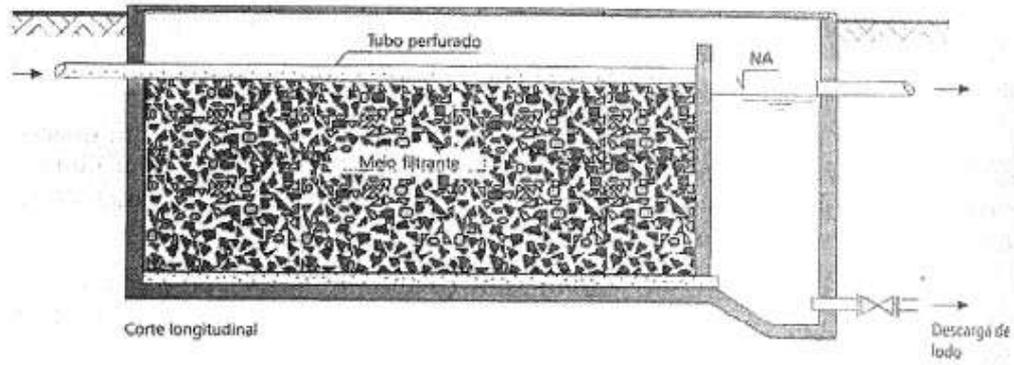


Figura 4 - Filtro de fluxo descendente afogado (corte longitudinal)

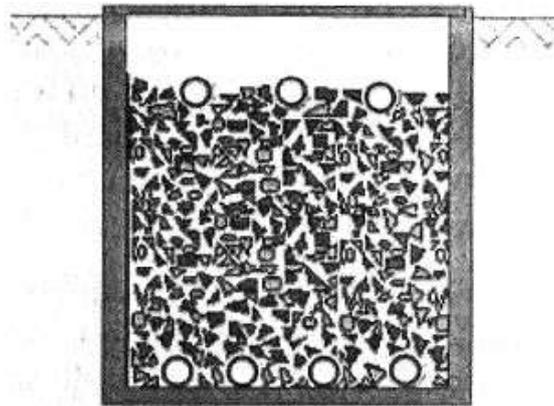


Figura 5 - Filtro de fluxo descendente afogado (corte transversal)

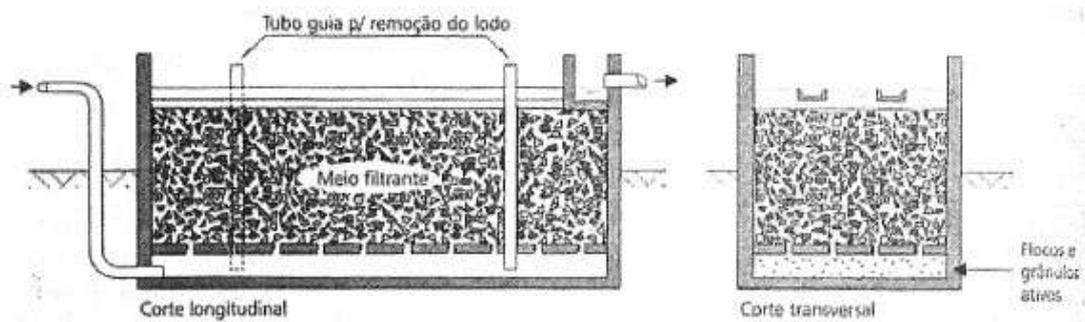


Figura 6 - Filtro de fluxo ascendente, fundo falso, coleta de efluente em calhas e remoção do lodo em excesso por sucção, por meio de tubos guia.

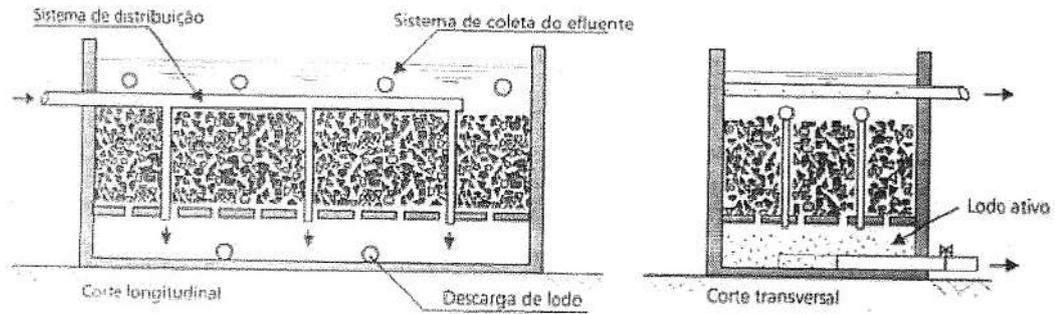


Figura 7 - Filtro de fluxo ascendente, com entrada distribuída, fundo falso e coleta do efluente em tubos afogados e descarga de fundo de lodo.

4.2.2 Aspectos construtivos

A construção de filtros anaeróbios não apresenta dificuldades. Consiste basicamente na execução de um tanque impermeabilizado, com dispositivos de entrada e saída e para expurgo do lodo, e na seleção, limpeza e colocação do material suporte em seu interior.

O tanque pode ser pré-fabricado ou construído no local. Os materiais devem ser resistentes à agressividade química dos esgotos. O mais comum é a construção em alvenaria de tijolos. Nesse caso, deve ser dada preferência a tijolos cerâmicos maciços com bom cozimento. A alvenaria deve ser revestida de modo a assegurar estanqueidade. Ao término da construção devem ser realizados testes de estanqueidade.

Os detalhes construtivos dos dispositivos de entrada e saída dos esgotos são determinados principalmente pelo sentido de fluxo no reator. Nos reatores de fluxo ascendente, os esgotos são distribuídos na base, através de tubos perfurados ou abaixo de um fundo falso vazado que suporta o leito, e são coletados no topo, através de canaletas ou tubos perfurados afogados. Nos de fluxo descendente, os dispositivos são semelhantes, com caminho inverso.

Antes da colocação do material suporte no interior do filtro, deve-se proceder a seleção e limpeza do mesmo, com lavagem, se necessário, e verificação de sua estanqueidade.

4.2.3 Aspectos operacionais

Embora a operação dos filtros anaeróbios seja muito simples, não se pode ser negligenciada. É necessário que se proceda, periodicamente, a remoção do excesso de lodo do meio filtrante.

A operação de remoção do lodo em excesso (limpeza do leito) consiste em drenar os líquidos (por descarga de fundo ou sucção) com vazão maior que no fluxo normal, provocando velocidades de escoamento nos interstícios bem mais elevados, forma a carrear parte do lodo em excesso ali acumulado. Esta operação pode ser auxiliada por aspersão de efluente tratado ou água limpa sobre o leito.

A freqüência de remoção do lodo em excesso, depende, principalmente, das concentrações do afluente, do tipo de material suporte (granulometria e forma) e da altura do leito. Deve estar prevista no projeto, mas as condições reais de operação podem indicar a modificação da freqüência de limpeza. Normalmente a limpeza se faz necessária em períodos de quatro a seis meses.

Nos filtros anaeróbios, a eficiência cresce na medida em que a concentração de lodo aumenta, até atingir um estado de eficiência máxima. Com o tempo, o lodo vai ficando velho, acumulando resíduos inertes, a eficiência decresce e os interstícios vão ficando parcialmente obstruídos.

4.2.4 Problemas operacionais

As unidades de filtração biológicas caracterizam-se pela simplicidade de operação. A manutenção, relativamente simples, dos parâmetros adotados em projeto, garantem uma eficiência média satisfatória. As variações bruscas não chegam a afetar por muito tempo o funcionamento da unidade, a qual é facilmente recuperada.

Algumas irregularidades podem acontecer durante o funcionamento de uma ETE dotada de FB. As mais importantes são citadas em seguida:

- 1) *Formação de poças na superfície do FB*: ocorre quando o volume de vazios entre as pedras é tomado por crescimento da camada biológica cujas causas principais são: o material selecionado para o meio suporte é de dimensões demasiadamente pequenas ou de formas irregulares (vazios inadequados); carga orgânica excessiva em relação à carga hidráulica; e folhas de árvores ou outros objetos estranhos no meio suporte.

A prevenção e recuperação, pode ser realizada pela remoção da camada biológica do meio suporte na área afetada; aplicação de jatos de água (com alta pressão) na região empoçada; paralisação do distribuidor rotativo em cima da área afetada, de modo que a alta carga hidráulica aplicada promova o arraste da causa do empoçamento; cloração do afluente ao filtro biológico (5 mg/l) durante algumas horas; retirada da unidade afetada de operação durante o período de 24 horas ou mais, suficiente para ressecar a camada biológica; e substituição do meio filtrante por outro meio mais adequado, quando esta solução é economicamente justificável.

- 2) *Proliferação demasiada de moscas*: está intimamente relacionada com a operação; estes insetos passam através de telas comuns das janelas e atingem os olhos, bocas e ouvidos. O raio de ação pelo vôo é limitado, a presença de moscas distantes dos filtros é ocasionada pelos ventos. A presença da mosca indica um bom equilíbrio biológico. Sua prevenção e cura pode ser obtida através da aplicação de carga hidráulica continuamente. As cargas intermitentes favorecem a proliferação de moscas, entre outros problemas; remoção da camada biológica do meio suporte; inundar o meio suporte durante, no mínimo, 24 horas, considerando-se que o intervalo entre cada inundação é estabelecido pelas observações da proliferação periódica de moscas; lavar rigorosamente as paredes internas do filtro, preferidas pelas moscas, através de jatos d'água; aplicar cloro no afluente do FB durante algumas horas em períodos estabelecidos pelo ciclo de vida das moscas.

- 3) *Odor desagradável*: causado pela decomposição anaeróbia do esgoto, lodo da camada biológica. Sua prevenção e recuperação pode ser obtida através da manutenção das condições aeróbias todas as unidades da estação, principalmente o decantador primário e o esgoto afluente ao FB; redução da acumulação de lodo da camada biológica; clorar o afluente ao FB durante pequenos períodos; adotar um dos processos de recirculação citados; e controlar a admissão de alguns despejos industriais (laticínios, alimentícios e outros com elevada carga orgânica), os quais promovem a acumulação de sólidos no meio suporte, provocando empoçamento e conseqüentemente, odores desagradáveis.

Além dos citados acima, a obstrução do leito é um dos principais problemas dos filtros anaeróbios. Este problema é mais freqüente nos filtros anaeróbios de fluxo ascendente, contendo pedras e britas. Os filtros preenchidos com peças de plástico ou outros materiais com grande índice de vazios não tem apresentado problemas de entupimento. Os riscos de entupimento do meio filtrante aumentam com a concentração de sólidos suspensos do afluente.

4.2.5 Aplicabilidade e vantagens

Os filtros anaeróbios apresentam vantagens dos reatores anaeróbios com fluxo através do lodo ativo, destacando-se, comparativamente, nas seguintes vantagens específicas: resistem bem às variações do afluente e propiciam boa estabilidade ao efluente, com baixa perda dos sólidos biológicos; não necessitam de inóculo para a partida; propiciam enorme liberdade de projeto; e tem a construção e operação muito simples.

Podem ser utilizados como única e direta forma de tratamento de esgotos, contudo são mais apropriados para o tratamento de águas residuárias com contaminantes predominantemente dissolvidos, que propiciam menor risco de

entupimento dos interstícios do meio suporte. Portanto, são mais adequados para o pós-tratamento.

Prestam-se para o pós tratamento de outras unidades anaeróbias, conferindo elevada segurança operacional e maior estabilidade ao efluente, mas também podem ser aplicados com vantagens para pós-tratamento de outros processos, como, por exemplo, para remoção de algas do efluente de pequenas lagoas de estabilização, devido ao metabolismo anaeróbio, essencialmente catabólico, que produz pouco lodo.

Certamente estarão mais bem associados quando precedidos de um reator que retenha sólidos sedimentáveis, como o decanto-digestor, promovendo depuração complementar pela ação ativa do lodo sobre a parcela dissolvida dos esgotos.

De forma geral, o efluente de um filtro anaeróbio é bastante clarificado e tem relativamente baixa concentração de matéria orgânica, inclusive dissolvida, porém é rico em sais minerais. Presta-se muito bem para a disposição no solo, não somente por infiltração, mas também, para irrigação. Pode receber tratamento complementar para remoção de nutrientes eutrofizantes, por meio de variados processos, quando necessário ou conveniente. Contém ainda grande quantidade de microorganismos patogênicos e, quando necessário, deve sofrer desinfecção, para a qual podem ser aplicados quaisquer dos processos usuais.

Considerando as várias configurações, genericamente, os filtros anaeróbios apresentam as vantagens dos reatores anaeróbios com fluxo através do lodo ativo, inclusive na remoção de parte significativa da matéria orgânica dissolvida, com baixa produção de lodo e sem necessidade de consumir energia, destacando-se, as seguintes vantagens específicas: resistem bem às variações de vazão afluente e propiciam boa estabilidade ao efluente, com baixa perda dos sólidos biológicos retidos no leito fixo; não exigem grandes alturas ou escavações profundas; tem construção e operação simples; não necessitam de inóculo para a partida; não há necessidade de

recircular efluente ou lodo nem de decantar o efluente; podem ser utilizados para esgotos concentrados ou diluídos; e propiciam enorme liberdade de projeto em termos de configurações e dimensões.

Em comparação com outros reatores anaeróbios, suas principais limitações são: risco de obstrução do leito (entupimento ou colmatação dos interstícios) o que necessita de atenção na operação, inclusive do pré-tratamento, e projeto adequado; volume relativamente grande, devido ao espaço ocupado pelo material inerte de enchimento, que limita a aplicação a vazões pequenas e médias; e custo adicional do próprio material suporte.

4.3 Reator anaeróbio de manta de lodo (UASB)

Embora com várias denominações no Brasil (RAFA, DAFA, RAFAALL, RALF), este reator se consagrou como UASB (upflow anaerobic sludge blanket), nomenclatura original dada em inglês por um de seus pioneiros na Holanda (Lettinga et al.).

Há uma certa semelhança com o filtro anaeróbio ascendente, tendo este inclusive servido como modelo inicial do desenvolvimento que se seguiu.

A diferença primária é que o UASB não possui qualquer material de enchimento para servir de suporte para a biomassa. A imobilização dos microorganismos ocorre por meio de auto-adesão, formando flocos ou grânulos densos suspensos, que se dispõem em camadas de lodo a partir do fundo do reator.

4.3.1 Descrição da tecnologia

São tanques de concreto ou outro material, aos quais os esgotos brutos tem acesso pelo fundo, distribuídos uniformemente. O processo consiste basicamente em propiciar um fluxo ascendente ao esgoto através de um leito denso e de elevada atividade biológica. O perfil de estratificação dos sólidos no interior do reator varia de

muito denso próximo ao fundo (leito) até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo). A estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação (leito e manta), sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional e pelas bolhas dos gases gerados. O esgoto entra pelo fundo e deixa o reator através do vertedor, enquanto que a fase gasosa é direcionada por meio de defletores, de forma a impedir um arraste de sólidos e conseqüente prejuízo à eficiência do sistema.

O sistema tem a capacidade de desenvolver uma biomassa de elevada atividade que se apresenta na forma de grânulos e o cultivo de um lodo anaeróbico de boa qualidade é conseguido através de um processo cuidadoso de início de operação do sistema. O lodo mais pesado geralmente se desenvolve junto ao fundo do reator.

O projeto de reatores de manta de lodo é razoavelmente simples e não demanda a implantação de qualquer equipamento sofisticado ou de meios suporte para retenção da biomassa. O processo foi desenvolvido inicialmente para esgotos concentrados (industriais), mas atualmente tem-se utilizado também para esgotos de menor concentração (sanitários).

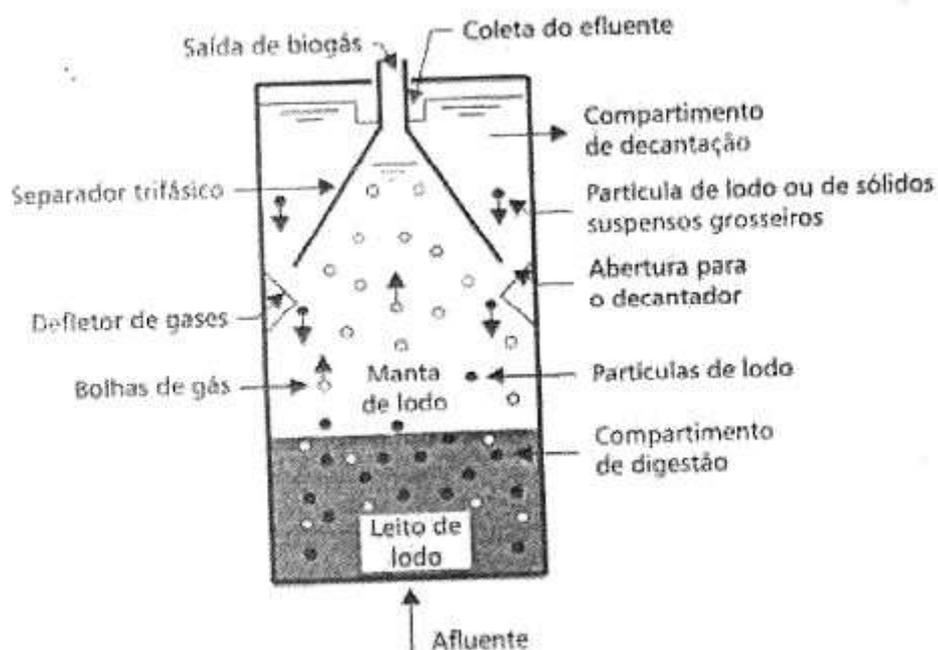


Figura 8 - Desenho esquemático de um reator UASB

4.3.2 Aspectos construtivos

a) *Altura do reator*: é função precípua do tipo de lodo, das cargas orgânicas aplicadas e/ou cargas volumétricas que definem as velocidades ascendentes impostas ao sistema;

b) *Materiais empregados*: 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;

Por questões construtivas e de custo, o concreto e o aço tem sido os materiais mais empregados na construção de reatores UASB, sendo normalmente feita uma proteção interna à base de epóxi. O separador de gases 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;

c) *Proteção anti-corrosiva*: a resistência à corrosão pode ser intrínseca ao próprio material (PVC, fibra de vidro) ou pode ser conferida ao mesmo por meio de aditivos e revestimentos especiais (concreto, aço). No caso do emprego do aço como material de construção dos reatores, os cuidados para evitar a corrosão devem ser ainda maiores, incluindo a utilização de aços especiais e controle rigoroso dos revestimentos empregados. Quando o material empregado for o concreto armado, deve-se considerar fatores tais como a utilização de concreto com baixa relação água/cimento, compactação rigorosa do concreto e adequado processo de cura, de forma a se obter baixas taxas de absorção e de permeabilidade.

4.3.3 Aspectos operacionais

A redução do período necessário à partida e à melhoria do controle operacional dos processos anaeróbios são fatores importantes para aumentar a eficiência e a competitividade dos sistemas anaeróbios de alta taxa. No entanto, é muito difícil uma

discussão mais crítica das semelhanças, diferenças e vantagens dos diferentes sistemas anaeróbios de alta taxa, em relação à partida, operação e ao monitoramento, uma vez que o compostamento do processo depende fundamentalmente das características do esgoto a ser tratado.

De maneira geral, os processos anaeróbios de alta taxa podem ser operados com cargas orgânicas bem superiores às dos reatores anaeróbios convencionais, mas muitas vezes esses processos de elevada eficiência necessitam de períodos mais longos para a partida, melhor controle operacional e quadro de operadores mais qualificados, para que o desempenho máximo do sistema seja alcançado, sem contudo colocar o processo em risco de falha. Do ponto de vista prático, é mais econômico operar o reator com cargas mais baixas, diminuindo, dessa forma, os esforços para o controle da operação e do processo.

4.3.4 Problemas operacionais

Uma das maiores objeções ao uso dos reatores UASB em zonas urbanas é o possível odor resultante dos processos anaeróbios. Embora seja possível minimizar tais problemas, cobrindo os reatores e tratando o gás produzido, várias das unidades já implantadas não cuidaram adequadamente do controle de odores gerados, fato que já vem produzindo alguma rejeição ao uso desses reatores junto a áreas urbanas.

Um cuidado especial com os reatores UASB deve ser em relação à corrosão das estruturas de concreto, próximo e acima do nível do líquido. Várias unidades implantadas, sem a devida proteção do concreto, já se apresentam bastante comprometidas.

Embora os reatores UASB incluam amplas vantagens, principalmente, no que diz respeito a requisitos de área, simplicidade e baixos custos de projeto, operação e manutenção, algumas desvantagens ainda são atribuídas aos mesmos: as bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos;

a partida do processo pode ser lenta na ausência de lodo de semente adaptado; alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária; a bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas e ainda precisam ser mais estudadas; possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis; possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável; remoção de nitrogênio, fósforo e microorganismos patogênicos insatisfatória.

4.3.4.1 Cargas orgânicas e hidráulicas:

As cargas orgânicas e hidráulicas são fatores inter-relacionados à concentração do esgoto a ser tratado. A carga hidráulica se tornará apenas um fator limitante no tratamento de esgoto de baixa concentração, ao passo que para o esgoto de concentração média e alta a carga orgânica é sempre fator limitante.

O principal efeito das cargas hidráulicas muito altas é a queda na eficiência do tratamento devido os contatos curtos demais. Além do mais, o desgaste da massa bacteriana viável pode ultrapassar o crescimento desta, levando o digester ao colapso.

Sendo assim, duas situações extremas devem ser consideradas: subcarregamento e supercarregamento.

Supercarregamento em sistemas de tratamento, principalmente de esgoto dissolvido, resultará numa queda de eficiência dos mesmos, provavelmente devido à inibição temporária da metanogênese pelos ácidos voláteis acumulados.

No tratamento de esgoto não dissolvido supercarregado também resultará numa acumulação de alimentação de sólidos suspensos, e conseqüentemente numa acentuada queda na capacidade de metanogênese no lodo, uma fraca decomposição dos componentes e um fraco grau de estabilização dos sólidos.

O efeito do subcarregamento é muito menos drástico, desde que a temperatura do digestor não seja mantida acima de 25° C por um extenso período.

4.3.4.2 Mistura

Mistura mecânica pode as vezes ser requisitada para prevenir a montagem de uma camada de espuma e também para prevenir curto-circuito (canalização) na manta de lodo de um reator UASB, ou seja, efetuar o contato desejado entre o lodo e a água de esgoto a ser tratada. A agitação pode ser efetuada pela recirculação do gás, recirculação de lodo ou pela mistura mecânica.

4.3.4.3 Características de alimentação

Uma importante consideração ao aplicar a digestão anaeróbia ao tratamento de esgoto é se os poluentes orgânicos estão ou não presentes numa forma dissolvida. Um acúmulo significativo de alimento na manta de lodo pode ocorrer num tratamento de esgoto contendo uma apreciável fração de material insolúvel e este acúmulo depende da assentabilidade e características de floculação deste material, a carga aplicada na biodegradabilidade da matéria orgânica.

4.3.5 Aplicabilidade e vantagens

O processo anaeróbio por meio de manta de lodo apresenta inúmeras vantagens em relação aos processos aeróbios convencionais, notadamente quando aplicado em locais de clima quente, como é o caso da maioria dos municípios brasileiros. Esse sistema apresenta as seguintes características principais: sistema compacto, com baixa demanda de área; baixo custo de implantação e operação; baixa produção de lodo; baixo consumo de energia (apenas para a elevatória de chegada, quando for o caso); satisfatória eficiência de remoção de DBO e de DQO, da ordem de 65% a 75%; possibilidade de rápido reinício, mesmo após longas paralisações; elevada concentração do lodo excedente; e boa desidratabilidade do lodo.

No que pesem as grandes vantagens dos reatores de manta de lodo, a qualidade do efluente produzido não se enquadra nos padrões estabelecidos pela legislação ambiental.

4.4 Reatores anaeróbios de leito fluidizado ou expandido

O reator de leito fluidificado aplicado ao tratamento de águas residuárias foi desenvolvido por Jewell et al (1981), visando o aumento de retenção de grande quantidade de biomassa e, ao mesmo tempo, eliminando problemas de colmatção ocasionados pelo acúmulo de materiais sólidos nos interstícios, como ocorre em reatores de leito fixo.

Os reatores aeróbios ou anaeróbios de leito fluidificado ou expandido, com meio suporte inerte para a aderência e fixação dos microorganismos, se assemelham em concepção e funcionamento, uma vez que a operação em geral ocorre em sistema trifásico em ambos os casos (gás-líquido-sólido). A diferença fundamental se relaciona com o gás, sendo ar ou oxigênio adicionado no reator aeróbio, ao passo que o biogás (metano e gás carbônico) é gerado no reator anaeróbio. Outra diferença menor se refere ao separador de fases na parte superior dos reatores, havendo coleta e retirada específica de biogás, no caso de reatores anaeróbios. Entretanto, pode-se considerar que os reatores anaeróbios de leito fluidizado ou expandido apresentam duas variantes com algumas especificidades próprias, os conhecidos como EGSB e IC.

4.4.1 Reator anaeróbio de leito granular expandido - EGSB

O reator anaeróbio de leito granular expandido (EGSB), para muitos é considerado como um melhoramento do reator UASB, uma vez que a sua concepção é a mesma, com diferença apenas na aplicação das cargas hidráulicas ou velocidade ascensionais. Sendo assim, as características hidrodinâmicas se aproximam exatamente às dos reatores de leito expandido, com diferença no uso de material suporte inerte neste e de lodo granular no EGSB. A geometria do reator EGSB é

semelhante ao do reator de leito expandido, com relação entre altura e diâmetro elevada. Da mesma forma existe usualmente a recirculação do efluente.

Devido às características operacionais, é essencial o uso já na sua inoculação de lodo granular de boa qualidade, que, via de regra, é obtido de reatores tipo UASB. Para manter o requisito de alta retenção de biomassa ativa, é obrigatória a instalação, como nos reatores de leito expandido, de um eficiente sistema de separação de sólidos, caso contrário haveria o risco de perda de biomassa com o efluente, podendo reduzir a sua quantidade e conseqüentemente a sua eficiência.

As potencialidades desse reator são promissoras, pois apresenta as mesmas vantagens do reator de leito expandido, além das vantagens intrínsecas dos reatores UASB.

A aplicabilidade do reator EGSB em escala real tem sido no tratamento de efluentes industriais de cervejarias e de processamento de alimentos, que, em muitos casos, se caracterizam pela geração de esgotos mais diluídos e, as vezes, em baixas temperaturas. São para essas condições que se aplicam muito bem esses reatores, pelas suas características hidrodinâmicas, que resultam em alto grau de mistura e contato necessário entre os substratos e os microorganismos.

4.4.2 Reator de recirculação interna (IC)

A semelhança hidrodinâmica desse reator IC (internai circulation) com o reator de leito expandido é a mesma apresentada pelo reator EGSB. O reator IC é considerado uma versão tecnológica mais desenvolvida do reator EGSB. A geometria e velocidades ascensionais são similares, com alto nível de agitação e grau de mistura hidráulica. O lodo utilizado também é granular, porém com um diferencial que tinha sido observado em reatores tipo UASB e EGSB e também nos próprios reatores anaeróbios de leito expandido: o uso intencional de biogás produzido para auxiliar e melhorar o grau de agitação interna. A influência do gás na hidrodinâmica daqueles

reatores tem sido reportada como possivelmente mais importante que a próprias agitação provocada hidraulicamente, em função da velocidade ascensional do líquido.

O reator IC se caracteriza pelo uso do biogás formado e que se acumula na parte superior em tanque apropriado e pressurizado, que força a circulação interna do líquido e de lodo.

Em geral o reator IC possui duas zonas distintas, uma inferior formada pelo leito de lodo granular que se mantém em constante agitação e expansão, em função da vazão afluyente e do líquido recirculado internamente, este através de tubulação central conectado ao tanque de gás. A segunda é a zona superior, separada da primeira por dispositivos que forçam a passagem ascensional do líquido, porém retém a maior parte do lodo na zona inferior de grande turbulência. Essas características o indicam para o uso em tratamento de efluentes diluídos, que requerem alto grau de contato, portanto, também para o pós-tratamento.

Apesar das reconhecidas vantagens hidrodinâmicas e eficiência de tratamento, esses reatores requerem uma operação mais cuidadosa e pessoal mais treinado e experiente.

4.4.3 Descrição da tecnologia

Em princípio pode-se considerar que os reatores de leito expandido/fluidificado são classificados como reatores de leito móvel e filme fixo.

Consiste de um reator vertical, de fluxo ascendente, em que é mantida velocidade de escoamento ascensional adequada para promover a suspensão de partículas componentes do leito, as quais servem de suporte para os consórcios de microorganismos que realizam a decomposição dos materiais degradáveis, presentes no efluente.

A pequena dimensão das partículas proporciona grande superfície específica para fixação dos microorganismos, ao mesmo tempo que sua densidade, sendo maior que a dos próprios microorganismos, possibilita a aplicação de velocidades relativamente altas, sem ocorrer seu arraste pelo efluente.

Os reatores de leito expandido/fluidificado são constituídos por região de reação, região de retenção de sólidos em suspensão, dispositivo de coleta de biogás e sistema de recirculação.

A região de reação consiste do reator ocupada pelo leito na qual ocorre a degradação do substrato.

A região de retenção de sólidos suspensos geralmente é incluída no próprio reator ou pode constituir uma unidade independente, sendo empregada para evitar o carreamento de partículas suspensas no efluente tratado. Essa região é imprescindível, pois evita a perda de biopartículas.

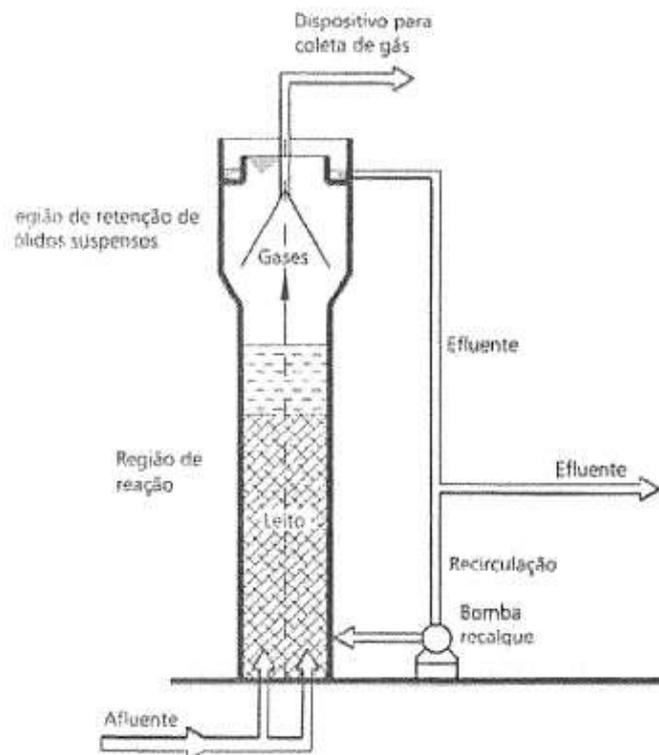


Figura 9 - Esquema do reator de leito fluidificado/expandido

4.4.4 Aspectos construtivos

O reator anaeróbio de leito expandido/fluidificado pode ser construído em concreto, fibra de vidro reforçada ou chapa metálica. Os reatores de fibra de vidro são menos atingidos pelos compostos agressivos presentes no ambiente anaeróbio, contudo o mesmo não ocorre com os reatores de concreto ou de chapa metálica, que precisam de revestimento especial para sua proteção.

Independente do tipo de material, o reator deve apresentar uma base sólida, pois a área para distribuição da carga é relativamente pequena. Neste ponto, os reatores de fibra de vidro apresentam-se mais vantajosos, pois são mais leves que os de chapa metálica e de concreto.

Além disso, o projeto de um reator anaeróbio de leito expandido/fluidificado deve ser considerada a possibilidade de modulação, para permitir maior flexibilidade operacional e menor custo inicial de investimento.

Para o tratamento biológico anaeróbio é necessária a construção de unidade de gradeamento, poço de entrada de esgoto sanitário, estação elevatória de esgoto bruto, unidade de retenção de sólidos grosseiros, unidade de retenção de areia e unidade de remoção de óleos e graxas.

Quando se utiliza reator anaeróbio de leito expandido/fluidificado, ainda é necessária a construção de um poço de recirculação e de um conjunto motor-bomba para recirculação de parte do efluente tratado.

4.4.5 Aspectos operacionais

No caso de reatores de leito expandido é esperado o desenvolvimento predominante de consórcios de microorganismos na forma de biofilmes, ou seja, aderidos a um material suporte.

A entrada em operação (partida) desse tipo de reator pode ocorrer com a utilização ou não de inóculo; adaptação prévia do meio suporte ao inóculo ou ao esgoto sanitário; aumento gradual da vazão de alimentação ou aplicação imediata da vazão de projeto; ou aumento gradual da vazão de recirculação ou aplicação imediata da vazão de projeto.

É fundamental que o substrato envolva as partículas suporte e que a velocidade ascensional não produza força de cisalhamento muito elevada a ponto de destruir e arrastar fragmentos do biofilme.

A operação desse tipo de reator depende do controle da velocidade ascensional da massa líquida, a qual é diretamente relacionada com as vazões das bombas de esgoto bruto e de recirculação.

Uma maneira eficiente para controlar a velocidade ascensional é a utilização de inversores (variadores) de frequência para alterar a rotação dos motores e, com isso, modificar a vazão das bombas de esgoto sanitário e de recirculação.

Na operação há também controles adicionais tais como: percentual de expansão/fluidificação do leito suporte; perda de carga na zona de reação; taxa de recirculação; volume de biogás; porcentagem de metano no biogás; quantidade produzida de lodo; tempo de detenção hidráulica; e consumo de energia elétrica dos conjuntos motor-bombas.

Além desses controles operacionais, há a necessidade de realização de monitoramento das características físicas, químicas e biológicas do esgoto sanitário e do efluente do reator para determinar a real eficiência do tratamento.

Quanto a manutenção do reator de leito expandido, esta restringi-se praticamente a vistoria diária das instalações para verificação visual da clarificação do efluente tratado e do borbulhamento de biogás.

Eventualmente pode ser necessária a remoção manual de material flotante na parte superior do reator e a limpeza da tubulação coletora de efluente tratado.

Uma outra atividade de manutenção/operação é a retirada do lodo armazenado no interior do reator, contudo essa atividade demora meses para ser realizada.

4.4.6 Aplicabilidade e vantagens

Os reatores anaeróbios de leito expandido podem ser utilizados para tratamento anaeróbio e aeróbio de efluentes líquidos industriais e de esgotos sanitários, podendo-se apontar como aspectos positivos a alta concentração de biomassa ativa aderida, permitindo significativa retenção de microorganismos e grande eficiência na conversão de substratos orgânicos biodegradáveis; custo de implantação reduzido em função da pequena área necessária e dos volumes menores, em relação aos de outros reatores, para tratar a mesma vazão de águas residuárias; pequena espessura do biofilme, facilitando a difusão do substrato; grande área específica da biopartícula, ocasionando boas condições de transferência de massa; e facilidade para introduzir material novo ao leito e para remoção de sólidos gerados (lodo).

As condições que definem a eficiência dos reatores dependem da concepção de configuração da unidade, das características do material suporte, da composição dos esgotos (presença de materiais tóxicos ou de óleos e graxas) e dos controles operacionais.

A viabilidade de prever modulação e a pequena área para instalação desses reatores reduz os custos de desapropriação de áreas urbanas e, com isso, possibilita que os recursos disponíveis sejam também aplicados em outras áreas.

4.5 Reator anaeróbio seqüencial em batelada

O processo de tratamento de esgotos por reator anaeróbio seqüencial em bateladas tem sido preconizado para esgotos domésticos e industriais, de pequenas comunidades, loteamentos, parques industriais de pequeno porte, pelas suas possíveis vantagens operacionais e de custo.

O tratamento biológico em batelada apresenta as vantagens tais como, a equalização dos picos de vazão e de carga orgânica, o controle da qualidade do efluente por controle de tempos de reação e de sedimentação, a biomassa que permanece no reator (microorganismos) sem a necessidade de sistema de recirculação ou decantador secundário e portanto, controle de bactérias filamentosas, a oxidação do lodo parcial ou totalmente por anoxia.

4.5.1 Aspectos operacionais

O tratamento é efetuado em um tanque único, em uma seqüência operacional que compreende: (i) fase de enchimento com esgoto, (ii) fase de tratamento propriamente dita, por meio de reações ou transformações dos constituintes do esgoto pelos microorganismos que se desenvolvem, (iii) fase de sedimentação final do lodo biológico, após as reações se completarem e (iv) fase de esvaziamento do tanque, do líquido tratado e clarificado.

A fase de enchimento envolve a adição de substrato ao reator, que pode ser feita com ou sem mistura, dependendo do objetivo operacional. O volume de alimentação é determinado com base no tempo de detenção hidráulica, na carga orgânica, nas características de sedimentação do lodo, entre outros. Uma vez terminado o enchimento, começa a fase de reação, na qual com mistura completa o substrato orgânico é biodegrado anaerobicamente. O tempo necessário para que isso ocorra dependerá de inúmeros fatores, como: características e concentração do substrato, qualidade requerida do efluente, concentração da biomassa e temperatura.

Durante a fase de sedimentação, a agitação é interrompida, permitindo que o próprio reator funcione como um decantador. O tempo necessário para essa fase varia em função das características de sedimentação do lodo. Este tempo deve ser suficiente para permitir boa clarificação do sobrenadante, mas, por outro lado, não pode ser longo demais, de modo a evitar a ressuspensão do lodo pela produção de gases advindos da degradação anaeróbia. Outras variáveis envolvidas nesse processo são a concentração de sólidos no lodo e a relação alimento/microorganismos.

Finalmente, a retirada do efluente clarificado é realizada. O volume a ser removido é geralmente igual ao volume alimentado. O tempo necessário é função do volume a ser retirado, da vazão da bomba e da velocidade máxima permitida no interior do reator, de modo a não causar arraste de sólidos. Uma vez terminada a retirada do efluente, o reator está pronto para receber outra batelada de esgoto.

Este tipo de reator apresenta vantagens importantes em relação aos reatores anaeróbios convencionais. Nele é possível conseguir uma baixa razão alimento/microorganismos (que favorece a floculação biológica e a sedimentação) e, ao mesmo tempo, processar esgotos a altas taxas. A concentração de alimento é maior logo após a alimentação, diminuindo com o tempo de reação. A concentração de substrato, antes da nova fase de alimentação, é mais baixa nesse reator do que em um sistema contínuo. Dessa forma, nesse tipo de reator, pode-se obter biofloculação, biodegradação e sedimentação melhores que nos sistemas contínuos anaeróbios de contato, por exemplo.

5.0 ANÁLISE DE TECNOLÓGICAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES PARA COMUNIDADES DE PEQUENO PORTE

5.1 Introdução

No Brasil, até a década de 1970, o uso de processos anaeróbios para o tratamento de esgoto era restrito basicamente às lagoas anaeróbias, aos decanto-digestores (tanques sépticos e tanques Imhoff) e aos digestores de lodos produzidos no tratamento da fase líquida de ETE's.

O uso de tanques sépticos era normalmente associado a uma posterior infiltração no terreno através de sumidouros ou ainda, raramente, através de valas de infiltração. A alternativa de uso de tanques sépticos conjugadas ao tratamento complementar por valas de infiltração não ocorreu devido ao alto custo desta solução.

Tendo em vista a necessidade de uma alternativa mais econômica do que as valas de infiltração para os efluentes dos tanques sépticos, em locais onde não era possível a sua infiltração, a revisão da NB 41 de 1963, que deu origem à NBR 7229 - Construção e Instalação de Tanques sépticos e Disposição dos Efluentes Finais da ABNT, incluiu o uso de filtros anaeróbios para o pós-tratamento de efluentes dos tanques sépticos.

Com a publicação da NBR 7229/1982, houve uma proliferação de sistemas compostos por tanque séptico seguido de filtro anaeróbio para o tratamento de esgotos de novos loteamentos urbanos, com um grande número de sistemas desse tipo implantados em loteamentos junto a praias e de outros locais desprovidos de redes coletoras de esgotos.

A sua proliferação ocorreu principalmente devido ao fato desse sistema ser extremamente simples de construir e operar e também de projetar com o uso da NBR 7229, que dispensava a necessidade de especialistas em tratamento de esgoto, além de Ter custo aceitável de implantação.

Atualmente, o sistema tanque séptico e filtro anaeróbio continua sendo utilizado para novos loteamentos, com populações inferiores a 1.000 habitantes.

O tanque Imhoff, com câmara de decantação na parte superior e câmara de digestão de lodo na parte inferior, normalmente utilizado em conjunto com leitos de secagem de lodo, foi inicialmente utilizado como única unidade de tratamento de esgotos, porém, como a qualidade do efluente não era boa, passou a ser utilizado tendo como tratamento complementar filtro biológico seguido de decantador secundário. O lodo produzido no filtro biológico e retido no decantador secundário era encaminhado ao tanque Imhoff para digestão, em conjunto com lodo removido na câmara de sedimentação desse tanque.

Nas décadas de 1930 a 1950, várias ETE's com essa concepção foram implantadas no Estado de São Paulo, para populações inferiores a 10.000 habitantes, tendo a maioria sido abandonada após relativamente pouco tempo de implantação, por falta de operação adequada.

Os tanques Imhoff, há vários anos não são mais construídos no Brasil, uma vez que podem ser substituídos por outros sistemas anaeróbios mais econômicos e de maior eficiência.

No começo da década de 1980, iniciavam-se no Brasil estudos para utilização do reator anaeróbio do fluxo ascendente e manta de lodo (reator UASB). Por sua simplicidade, altas taxas de tratamento e eficiência bem maior que os tratamentos primários, produzindo lodo já estabilizado e a custo atraente, os reatores UASB passaram a merecer a atenção de vários pesquisadores.

A exploração inadequada dos reatores UASB para o tratamento de esgotos sanitários e despejos industriais, por alguns profissionais com conhecimento deficiente a respeito desse sistema depurador, que apregoava uma qualidade do efluente desses reatores equivalente ao do tratamento por processos biológicos aeróbios, e uma operação livre de problemas de odores, levou a alguns resultados bem inferiores àqueles prometidos, ocasionando inclusive o comprometimento da credibilidade dos reatores UASB diante de vários órgãos estaduais e municipais de saneamento básico e órgãos de controle de poluição das águas.

Todavia, com a continuidade dos estudos e pesquisas de tratamento anaeróbio por reatores UASB, estes vem retomando a sua credibilidade para o tratamento de esgotos sanitários.

5.2 Legislação Ambiental Brasileira e as características dos efluentes

As legislações federal e estaduais classificaram os seus corpos d'água em função de seus usos preponderantes, tendo sido estabelecidos, para cada classe de água, os padrões de qualidade a serem obedecidos.

A maioria dos corpos d'água receptores, no Brasil, se enquadra na classe 2, onde se destacam os parâmetros indicados na tabela 4, como padrões de qualidade a serem mantidos no corpo receptor.

Tabela 4 - Padrões de qualidade a serem mantidos no corpo receptor

Parâmetro	Valor limite no corpo receptor
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	≤ 5 mg/l
Oxigênio dissolvido (OD)	≥ 5 mg/l
Nitrogênio amoniacal	$\leq 3,0$ mg/l
Nitrato	≤ 10 mg/l
Fósforo	$\leq 0,025$ mg P/l
Coliformes fecais	≤ 1.000 CF/100 ml
Coliformes totais	≤ 5.000 CT/100 ml

Fonte: Resolução CONAMA n° 20, 18/06/1986

Além de estabelecerem padrões para os corpos de água, as legislações impõem, também, a qualidade mínima a ser atendida por efluentes de qualquer fonte poluidora, para lançamento em corpos d'água. A resolução CONAMA n° 20 de 1986 estabelece como padrões de lançamento de efluentes, dentre outros, os valores apresentados na tabela 5.

Tabela 5 - Padrões de lançamento de efluentes

Parâmetro	Valor limite
PH	Entre 5 e 9
Materiais sedimentáveis	≤ 1 ml/l
Óleos e graxas <ul style="list-style-type: none"> • Óleos minerais • Óleos vegetais e gorduras animais 	≤ 20 mg/l ≤ 50 mg/l
Materiais flutuantes	Ausentes
Amônia	≤ 5 mg N/l

Fonte: Resolução CONAMA n° 20, 18/06/1986

5.2.1 Considerações em relação à demanda bioquímica de oxigênio - DBO

Um dos parâmetros que mais tem merecido a atenção dos órgãos de controle ambiental é a DBO. A limitação da DBO é provavelmente o fato que mais tem restringido o usos de sistemas anaeróbios (sem pós-tratamento), para o tratamento de esgotos, conforme pode-se depreender a partir das faixas de valores mais comuns para os processos anaeróbios, quando bem operados, apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Valores comuns de DBO do efluente e de remoção em sistemas anaeróbios

Sistema anaeróbio	DBO do efluente (mg/l)	Eficiência de remoção de DBO (%)
Reator UASB	60 a 100	55 a 75
Tanque séptico (TS)	80 a 150	35 a 60
Tanque Imhoff	80 a 150	35 a 60
TS + filtro anaeróbio	40 a 60	75 a 85
Reator de leito expandido	60 a 100	60 a 75

Em vista da limitação da DBO do efluente a 60mg/l, mesmo que o corpo receptor tenha capacidade de receber o efluente de um sistema anaeróbio, quase sempre é necessário utilizar tratamento aeróbio (como complemento ao anaeróbio), que tem custo de implantação e operação bem maior, dificultando a construção do sistema depurador de esgotos. Apenas o uso de sistemas compostos de tanque séptico seguido de filtro anaeróbio, que só é viável para pequenas populações, dispensaria o uso de sistemas aeróbios para atender ao limite estabelecido. O uso de reator UASB seguido de filtro anaeróbio também atende a esse limite de DBO, porém também deve ser restrito a populações relativamente pequenas, pelo menos atualmente, em vista dos parâmetros utilizados para o dimensionamento dos filtros anaeróbios, que resulta em custos ainda elevados dessas unidades.

5.2.2 Considerações em relação ao fósforo

Deve-se ressaltar que o valor limite da concentração de fósforo em rios de classes 2 e 3, de 0,025 mg P/l é extremamente restritivo, muito difícil de ser cumprido, na maioria dos casos em que não se tem elevada diluição dos efluentes da ETE, mesmo com o uso de tratamento com processos aeróbios convencionais, a não ser que sejam projetados especificamente para a remoção de fósforo. Em vista disso, os órgãos de controle ambiental tem se preocupado com o fósforo apenas em casos em que há problemas de eutrofização de lagos e represas. Os processos anaeróbios de tratamento não apresentam capacidade de remoção de fósforo, podendo em alguns casos, propiciar um aumento das concentrações efluentes.

5.2.3 Considerações em relação aos compostos de nitrogênio

Com relação ao nitrogênio, a limitação da concentração de amônia a 5mg N/l, para qualquer efluente, tem gerado muita controvérsia, sendo interpretado por alguns órgãos de controle ambiental como o limite para amônia livre, já que na própria resolução n° 20 do CONAMA de 1986, aparece especificamente uma limitação para nitrogênio amoniacal. Para a interpretação do limite de amônia de 5 mg N/l, como sendo o limite de nitrogênio amoniacal, tal limitação impediria o uso de lagoas de

estabilização, lagoas aeradas, filtros biológicos de alta taxa, sistemas de lodos ativados de alta taxa e também sistemas anaeróbios, como processos únicos de tratamento. Somente seriam permitidos sistemas depuradores aeróbios, com nitrificação, ou sistemas com nitrificação-desnitrificação, que apresentam maior custo de implantação e operação.

Para o corpo receptor, os limites das diferentes formas de nitrogênio devem ser obedecidos, quando então se pode requerer a nitrificação dos esgotos ou até a nitrificação e desnitrificação para a remoção de nitrogênio. O processo de nitrificação não ocorre em tratamentos anaeróbios.

5.2.4 Considerações em relação aos sólidos sedimentáveis

Com relação aos sólidos sedimentáveis nos efluentes dos sistemas anaeróbios, apenas ocasionalmente se ultrapassa 1 ml/l em efluentes dos reatores UASB, pela subida ocasional de placas de lodo do fundo da zona de decantação, onde o retido ainda produz um pouco de gás. A saída de sólidos sedimentáveis pode ser minimizada pelo uso de cortinas, para reter os sólidos que flutuam e impedir a sua saída pelos vertedores do efluente da zona de decantação. Uma boa operação dos reatores UASB produzirá, basicamente em quase todo tempo, sólidos sedimentáveis inferiores a 1 ml/l.

Os filtros anaeróbios somente terão efluente com sólidos sedimentáveis ultrapassando 1 ml/l após períodos de operação superiores a 4 a 6 meses, se não houver “limpeza” do filtro.

Os demais sistemas de tratamento anaeróbios usuais no Brasil, como os decanto-digestores (tanques sépticos e tanques Imhoff) e lagoas anaeróbias, quando bem operados, garantem um efluente sem problemas em relação aos sólidos sedimentáveis.

5.3 Análise das tecnologias para o tratamento de efluentes sanitários

Como já citado anteriormente, não há um sistema de tratamento de esgotos que possa ser indicado como o melhor para quaisquer condições, mas obtém-se a mais alta relação custo/benefício, respeitando-se o aspecto ambiental, quando se escolhe criteriosamente um sistema que se adapta às condições locais e aos objetivos em cada caso.

A escolha entre as diversas alternativas disponíveis para o tratamento de efluentes sanitários é ampla e depende de vários fatores, tais como: baixo custo de implantação; elevada sustentabilidade do sistema com pouca dependência de fornecimento de energia, peças e equipamentos de reposição; simplicidade operacional, de manutenção e de controle; baixos custos operacionais; adequada eficiência na remoção das diversas categorias de poluentes (matéria orgânica biodegradável, sólidos suspensos, nutrientes e patogênicos); pouco ou nenhum problema com a disposição do lodo gerado na estação; baixos requisitos de área; existência de flexibilidade em relação às expansões futuras e ao aumento da eficiência; elevada vida útil; ausência de problemas que causem transtornos à população vizinha; possibilidade de recuperação de subprodutos úteis, visando sua aplicação na irrigação e na fertilização de culturas agrícolas; existência de experiência prática.

5.3.1 Decanto-digestores (Tanques sépticos e Tanques Imhoff)

Os tanques sépticos são normalmente utilizados para soluções individuais, precedendo a infiltração do efluente no terreno ou precedendo filtros anaeróbios. Para populações de até cerca de 500 a 1.000 habitantes, os tanques sépticos são normalmente utilizados precedendo filtros anaeróbios. Por terem remoção de lodo no máximo uma vez por ano, os tanques sépticos devem ter um volume razoavelmente grande para armazenamento de lodo, o que limita a sua aplicação àquela faixa da população.

Os tanques Imhoff, que tem remoção de lodo mais freqüente e são, na realidade, uma fossa com câmaras sobrepostas, também podem ser utilizados precedendo filtros anaeróbios, porém para populações que não ultrapassem 2.000 a 3.000 habitantes. Para populações maiores, os reatores UASB tem se mostrado mais vantajosos do que os tanques Imhoff.

5.3.2 Filtros Anaeróbios

São normalmente utilizados como complemento de decanto-digestores. São hoje limitados a pequenas populações. Os parâmetros atuais de dimensionamento dos filtros anaeróbios levam a unidades relativamente grandes, o que pode limitar o seu uso a apenas pequenas populações.

5.3.3 Reatores UASB

Estes sistemas vem demonstrado grande aplicabilidade para qualquer população a ser esgotada, com eficiência de remoção de DBO relativamente boa e a custo razoavelmente baixo.

Atualmente há uma grande tendência na utilização de reatores UASB seguidos de sistemas biológicos aeróbios para a remoção de matéria orgânica e mesmo para a nitrificação do efluentes final.

5.3.4 Reatores anaeróbios de leito fluidizado ou expandido e Reator anaeróbio seqüencial em batelada

Os reatores anaeróbios de leito fluidizado e seqüencial em batelada, são tecnologias de tratamento anaeróbio de efluentes domésticos e industriais, que apresentam baixo requisito de área para implantação. Suas aplicações, em escala real, para o tratamento de efluentes domésticos, ainda não estão muito difundidas, sendo realizadas diversas pesquisas acerca da aplicação das mesmas.

6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em qualquer análise de tecnologias para o tratamento de esgotos é fundamental que se conheça as características do esgoto a ser tratado, bem como a qualidade do efluente que se deseja para a sua destinação final, seja sua disposição no solo ou lançamento em cursos d'água. Vale lembrar que a qualidade do efluente está relacionada com a eficiência do sistema de tratamento proposto.

Considerando-se a atual situação no Brasil, em termos de coleta e tratamento de efluentes domésticos, a pouca disponibilidade de recursos financeiros, além das precárias condições ambientais e sanitárias na maioria dos municípios brasileiros, é necessário que sejam adotadas medidas urgentes para a minimização dos impactos, ambientais e sanitários, da disposição inadequada dos efluentes domésticos.

O trabalho em questão, apresenta algumas alternativas de tratamento anaeróbio de efluentes domésticos, cujas principais vantagens estão no reduzido investimento inicial, baixos custos e simplicidade de operação e manutenção, reduzida demanda de área para sua implantação e satisfatória eficiência na remoção de matéria orgânica.

Ressalta-se no entanto, que para o alcance da eficiência desejada, se faz necessária, a observância dos aspectos construtivos e operacionais descritos, o que muitas vezes é negligenciado, causando o colapso do sistema proposto.

As tecnologias descritas, são comumente utilizadas em comunidades de pequeno e médio porte, atendendo de forma satisfatória quanto a remoção de matéria orgânica, no entanto, a remoção de nutrientes (N e P) e microorganismos patogênicos, dificilmente atende aos padrões estabelecidos pela legislação ambiental brasileira, sendo portanto de grande importância, o pós-tratamento desses efluentes.

O pós-tratamento objetiva o polimento do efluente, não só da qualidade microbiológica deste, considerando-se os riscos de saúde pública, mas também da qualidade em termos de matéria orgânica e nutrientes, em função dos danos ambientais provocados pelas descargas remanescentes destes constituintes nos corpos receptores.

Dessa forma, na análise de tecnologias para o tratamento de esgotos, deverá ser considerada a possibilidade de diversas combinações entre processos anaeróbios, aeróbios e desinfecção do efluente, para o atendimento dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental, garantindo assim, a preservação do meio ambiente e saúde pública.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7229. *Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. 1993. 28 p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969. *Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: projeto, construção e operação*. 1997. 60 p.
- BRASIL. Resolução CONAMA n° 20, Ano 1986: “Estabelece classificação das águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional”. Data da legislação: 18/06/1986.
- CAMPOS, José Roberto. *Remoção de DQO e de Nitrogênio em um sistema de três reatores biológicos de filme fixo em série*. São Carlos: EESC/USP, 1989. (Tese de Doutorado para obtenção do título de Livre-Docente).
- CAMPOS, José Roberto. *Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo*. Programa de Pesquisas de Saneamento Básico – PROSAB. Escola de Engenharia de São Carlos – USP. Rio de Janeiro: ABES, 464p., 1999.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores anaeróbios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. Belo Horizonte, 246p., 1997.
- CHERNICHARO, C. A. L. *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. Programa de Pesquisas de Saneamento Básico – PROSAB. Escola de Engenharia da UFMG. Belo Horizonte, 544p., 2001.
- EDELIN, F. *L' épuration biologique des eaux résiduaires*. Editions CEBEDOC s.p.r.l. Technique & documentation/paris.
- JORDÃO, E. P. e PESSOA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 3ª Edição, 1995, Rio de Janeiro, 683p.
- LETTINGA, G. Introduction. In: *International course on anaerobic treatment*. Wageningen Agricultural University / IHE Delft. Wageningen, 1995.

METCALF & EDDY. *Wastewater engineering - treatment, disposal and reuse*. 3ª edition, McGraw-Hill, Inc. New York, 1334 p. 1991.

ROQUES, H. *Fondements théoriques du traitement biologique des eaux*". Technique et documentation. V. 2: 1980

ROVATTI, M., NICOLELLA, C., CONVERTI, A. GHIGLIAZZA, R. DIFELICE, R. *Phosphorus removal in fluidized bed biological reactor (FBBR)*. Wat. Res., 29 (12):2627-34, 1995.

SANEVIX ENGENHARIA LTDA. *Manual de operação de ETEs do tipo UASB + BFs* - Vitória (ES). 88 p. 1999.

VON SPERLING, Marcos. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Volume 1: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, 1995.

VON SPERLING, Marcos. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - Volume 3: Lagoas de Estabilização*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. Belo Horizonte, 1996.