



UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA
ANDREIA MARIA FAEDO

TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS E NOVAS ALTERNATIVAS PARA O
TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS

Florianópolis

2010

ANDREIA MARIA FAEDO

**TECNOLOGIAS CONVENCIONAIS E NOVAS ALTERNATIVAS PARA O
TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS**

Trabalho de conclusão de especialização apresentado ao curso de Eng. do controle da poluição ambiental da Universidade do Sul de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de especialista em Eng. Do Controle da Poluição Ambiental.

Orientador: Prof. Carlos Bavaresco

Florianópolis

2010

“um rio é alguma coisa mais que um simples acidente geográfico, ou uma linha no mapa, ou uma parte do terreno que não pode ser descrito de maneira adequada em termos de topografia ou geologia, um rio é uma coisa viva, algo que possui energia, movimento, que muda”

Phelps E. B.(1944)

AGRADECIMENTOS

A Deus pelas oportunidades. . .

Ao meu orientador, professor Carlos Bavaresco, pela disponibilidade.

A professora Anelise Leal Cubas, pela disponibilidade, paciência e acima de tudo pela maneira atenciosa de conduzir os trabalhos.

Aos meus amigos e companheiros de pós-graduação Tessa e Gustavo pelo companheirismo durante todo o período de curso.

Aos meus amados pais e irmão pelo amor incondicional.

Ao meu mais que amigo Yuri por toda parceria mesmo distante geograficamente.

Aos meus amigos do coração Luís, Fernanda, Juan, Rúbia que ajudaram hora com palavras de apoio, hora ajudando a revisar a monografia ou simplesmente por estarem ao meu lado.

Ao meu colega de trabalho “DJ” pelas dicas.

A Universidade do Sul de Santa Catarina - UNISUL

A Secretaria da Educação do Estado de Santa Catarina pelo auxílio financeiro através da bolsa do programa FUMDES.

RESUMO

Dentre os serviços de saneamento básico, a coleta e tratamento do esgoto sanitário são os que estão menos presentes nos municípios brasileiros. O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento de efluentes domésticos vem principalmente da necessidade de manter os padrões de qualidade dos corpos receptores e mananciais de abastecimento, preservando o ecossistema aquático, os inúmeros usos da água e mantendo as condições mínimas para saúde da população. A evolução no entendimento dos processos microbiológicos fez com que o interesse pelas tecnologias de tratamento de esgoto por processos similares aos naturais aumentasse. Não existem sistemas de tratamento que atendam sozinho integralmente a todos os requisitos técnico-econômicos, entretanto existem várias alternativas viáveis de aliar eficiência e redução de custos. Para a realidade brasileira é desejável sistemas de tratamento simplificados, assim como os sistemas baseados na atividade dos microrganismos, pois são os mais próximos ao que realmente ocorre na natureza. A intenção da revisão foi exemplificar os processos de tratamento de esgoto doméstico convencionais e os alternativos, ou seja, os que priorizam simplicidade e sustentabilidade.

Palavras-chave: Saneamento. Esgoto doméstico. Processos microbiológicos. Processos convencionais. Tecnologias alternativas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema tanque séptico + Filtro anaeróbio -----15

Figura 2: Sistema reator UASB -----17

Figura 3: Recirculação do lodo do filtro percolador -----19

Figura 4: Remoção e retenção de nutrientes -----20

Figura 5: Etapas do sistema de lodos ativados convencional -----22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens dos processos biológicos ----- 24

Tabela 2: Eficiências típicas de remoção de poluentes por processos biológicos ---25

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	9
1.1 OBJETIVO	11
2.0 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	12
2.1 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS	12
<i>2.1.1 FOSSA E TANQUE SÉPTICO</i>	<i>13</i>
<i>2.1.2 TANQUE SÉPTICO + FILTRO ANAERÓBIO</i>	<i>14</i>
<i>2.1.3 LAGOA ANAERÓBIA</i>	<i>16</i>
<i>2.1.4 REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE E MANTA DE LODO (UASB)</i>	<i>16</i>
<i>2.1.5 REATOR ANAERÓBIO (UASB) + FILTRO PERCOLADOR</i>	<i>18</i>
<i>2.1.6 TERRAS ALAGADAS OU WETLANDS</i>	<i>19</i>
<i>2.1.7 LODOS ATIVADOS</i>	<i>21</i>
<i>2.1.8 VALOS DE OXIDAÇÃO</i>	<i>22</i>
2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PROCESSOS BIOLÓGICOS	23
3.0 PROCESSOS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	26
<i>3.1 REATOR ANAERÓBIO-AERÓBIO COM SUPORTE DE POLIURETANO</i>	<i>27</i>
<i>3.2 FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR COM MEIO SUPORTE PLÁSTICO</i>	<i>28</i>
<i>3.3 REATORES ANAERÓBIOS COM MEIO SUPORTE DE BAMBU</i>	<i>30</i>
<i>3.4 TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO COM MEIO SUPORTE DE BAMBU E FILTROS DE AREIA</i>	<i>31</i>

<i>3.5 CASCAS DE OSTRAS EM PROCESSOS AERÓBIOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS</i>	32
<i>3.6 UTILIZAÇÃO DE ENRAIZADAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES</i>	33
4.0 CONCLUSÕES	35
5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1.0 INTRODUÇÃO

O Brasil, como inúmeros países, enfrenta hoje o dilema de desenvolver-se e ao mesmo tempo preservar e recuperar seus mananciais. Desde a década de 70 o manejo criterioso dos recursos hídricos e energéticos vem sendo analisado como a melhor alternativa contra a degradação antropogênica. O acesso a esses recursos é uma necessidade básica da população e a sua utilização vem aumentando devido ao crescimento acelerado principalmente dos países emergentes. A questão tem recebido atenção cada vez maior, dando origem a diversas iniciativas primeiramente lideradas pelas agências multilaterais de desenvolvimento e posteriormente por diversas organizações não governamentais.

No Brasil cerca de 3% do consumo total de eletricidade é do setor de abastecimento de água e tratamento de esgoto, sendo que 90% desse consumo destinam-se ao uso de motores e bombas, equipamentos que nem sempre operam em boas condições, onerando tarifas de água, esgoto e energia (PROSAB5, 2004). Segundo o banco mundial suprir as necessidades de infraestrutura dos recursos básicos é questão de sustentabilidade global, assim se faz necessário apresentar alternativas tecnológicas que harmonizem desenvolvimento sócio-econômico e preservação dos recursos hídricos.

Dentre os serviços de saneamento básico o esgoto sanitário é o que tem a menor presença nos municípios brasileiros, em 2000 dos 5507 municípios pesquisados pelo censo do IBGE (2000), apenas 52,7% dispunham do serviço de coleta. Os municípios com coleta de esgoto sanitário se dividiam entre 1/3 que tratavam o esgoto coletado (33,8%) e os quase 2/3 que não forneciam nenhum tipo de tratamento ao esgoto (66,2%); nestes municípios, o esgoto era despejado bruto nos corpos receptores ou no solo, sendo que do total de distritos que não tratavam o esgoto sanitário coletado, a grande maioria (84,6%) despeja o esgoto nos rios. Na região sul o tratamento de esgoto atingia 38,9% dos municípios, sendo que destes 17,2% eram apenas coletados e 21,7% coletados e tratados.

O desenvolvimento de tecnologias para o tratamento de efluentes vem da necessidade de manter os padrões de qualidade dos corpos receptores e mananciais de abastecimento, preservando o ecossistema aquático e os inúmeros usos da água. Atualmente existe um grande esforço para desenvolver e aplicar sistemas de tratamento de esgoto que visem desenvolver

tecnologias voltadas principalmente às pequenas populações e comunidades rurais. Apesar de não existirem sistemas de tratamento que atendam integralmente todos os requisitos técnico-econômicos (baixo custo de implantação e operação, simplicidade, eficiência, elevada vida útil, aplicação em pequena escala, etc) existem várias alternativas viáveis tais como os conhecidos tanques sépticos e filtros biológicos.

Apesar dos efluentes líquidos domésticos não apresentarem concentrações saturadas de compostos poluidores, estes quando lançados sem o devido tratamento nos corpos hídricos, alteram consideravelmente o equilíbrio do ecossistema aquático. Um exemplo da consequência do lançamento de esgoto bruto é o aumento das concentrações de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, denominada de "eutrofização", esta pode causar expressivos prejuízos à sociedade e a biota local, tais como, problemas de saúde pública, de produtividade pesqueira, restrições quanto à balneabilidade, dentre outros. Em contra partida se tratado adequadamente o efluente doméstico, os nutrientes contidos nele podem ser reutilizados em atividades como piscicultura, irrigação, transformando um problema ambiental em uma solução sustentável.

Os principais constituintes do esgoto doméstico são os sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, matéria orgânica, nutrientes (N e P) e organismos patogênicos (vírus, bactérias, protozoários, helmintos). O tratamento do esgoto tem por finalidade remover ou minimizar as concentrações de todos os constituintes citados de maneira que ao ser lançado no corpo receptor atenda aos padrões exigidos pelo CONAMA 20/86. As modalidades de tratamento se dividem basicamente em duas classes: individual/estático ou coletivo/dinâmico. No caso dos sistemas individuais pode-se citar como exemplos a fossa séptica e as diversas variáveis do tanque séptico; já nos sistemas coletivos tem-se a rede coletora seguida da Estação de Tratamento de Esgoto (que podem ser aeróbios, anaeróbios ou os dois juntos podem ser simplificados ou mecanizados) por fim o corpo receptor. O último sistema contempla quatro principais etapas: tratamento preliminar, primário, secundário e pós-tratamento (von Sperling, 1996).

Para a realidade brasileira é desejável sistemas de tratamento simplificados, assim os sistemas biológicos constituem uma alternativa racional relacionando viabilidade técnica e econômica. A discussão sobre qual processo deve-se utilizar (nos sistemas dinâmicos), anaeróbio ou aeróbio é freqüente. A combinação dos dois processos aproveita as vantagens de cada um minimizando aspectos negativos. Como resultado busca-se maior remoção da matéria orgânica,

nutrientes e patógenos, contudo com baixos custos de implantação e operação, além de sistemas mais compactos com menor produção de lodo e se possível reuso da água.

A seguir são apresentadas diversas possibilidades de tratamentos convencionais e alternativos através de processos anaeróbios e aeróbios, porém nem todos os sistemas que são utilizados estão presentes nessa revisão, pois se levou em consideração a sua utilização para pequenas comunidades, comunidades rurais, localidades com pouco espaço disponível.

1.1 OBJETIVO

A revisão a seguir tem como principal intenção exemplificar os processos de tratamento de esgoto doméstico utilizados no Brasil atualmente, apresentando uma rápida descrição da característica de cada tecnologia, comparando sua eficiência quando utilizados sozinhos ou em associação a outros métodos; quais métodos são mais indicados para pequenas comunidades, ou seja, os que priorizam simplicidade e sustentabilidade.

2.0 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

O destino final de qualquer efluente doméstico são os corpos receptores, estes podem ser águas de superfície ou subsolo. Quando lançada nos corpos receptores a matéria orgânica é convertida em produtos inertes por mecanismos puramente naturais, nas diversas tecnologias que envolvem processos biológicos para o tratamento de esgoto os mesmos fenômenos básicos ocorrem, a diferença é que há emprego de processos que visam fazer com que a conversão da matéria orgânica se desenvolva em condições controladas (controle da eficiência) e em taxas mais elevadas (solução mais compacta).

Para alcançar o objetivo primordial do tratamento de esgoto, utilizam-se tecnologias de tratamento que se baseiam na atividade metabólica dos microorganismos, particularmente bactérias e algas. Os principais processos biológicos são a oxidação biológica como, por exemplo, a aeróbia como lodos ativados, filtros biológicos, valos de oxidação e lagoas de estabilização; e anaeróbia como os reatores de fluxo ascendente; e a digestão do lodo como, por exemplo, a aeróbia e anaeróbia fossas e tanques sépticos (JORDÃO 1995).

2.1 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS

Os processos anaeróbios ocorrem através de complexas reações bioquímicas, onde na ausência de oxigênio, bactérias anaeróbias e facultativas transformam a matéria orgânica em biogás e água. A partir da década de 70, houve uma evolução significativa dos sistemas de tratamento anaeróbio, o Brasil tornou-se um dos países líderes no mundo no uso de processos anaeróbios para o tratamento de esgoto sanitário, principalmente devido às vantagens geradas pelo clima favorável e pelo melhor entendimento dos processos microbiológicos envolvidos.

Esses fatores ampliaram significativamente a aplicação dos sistemas anaeróbios que podem ser praticamente usados para qualquer tipo de água residuária, como unidade única, em múltiplos estágios, ou em combinação com outras unidades (aeróbia e físico-química).

A digestão aeróbia ocorre através de um processo de oxidação bioquímica com abundância de oxigênio dissolvido. O objetivo principal do uso desse sistema é a redução de matéria orgânica biodegradável e odores. Os primeiros trabalhos com sistemas aeróbios foram realizados na década de 50, no Brasil existem várias unidades de tratamento de esgoto por processos aeróbios, indo desde lagoas aeradas até lodos ativados com remoção biológica de nutrientes.

O resultado seja utilizando a tecnologia aeróbia ou anaeróbia, é que a concentração de matéria orgânica se reduz e o efluente final apresenta baixo teor DBO. As diferenças entre os processos, aeróbio e anaeróbio, estão no tipo de crescimento biológico, aderido ou suspenso, no fluxo, contínuo ou intermitente e na hidráulica, mistura completa, fluxo de pistão ou fluxo arbitrário (ANDRADE 1997).

2.1.1 FOSSA E TANQUE SÉPTICO

A fossa séptica é um dos mais antigos processos anaeróbios, sua primeira versão chamada de fossa Moura foi criada por volta de 1872 na França, em 1896 sofreu mudanças estruturais e foi patenteada na Inglaterra denominada de “tanque séptico”. A partir de 1896 começou a ser difundida com algumas inovações que aumentaram sua eficiência (tanque séptico) até ser concebida a que é utilizada até os dias de hoje, porém sem perder seu conceito inicial de simplicidade na construção e na operação (ANDRADE 1997). No Brasil é conhecida e utilizada desde a década de 30, estima-se que 37,68% da população urbana, aproximadamente 68 milhões de habitantes e 63,72% da população rural cerca de 12 milhões de habitantes, tenham seus esgotos tratados por fossas ou tanques sépticos (IBGE, 2007).

A diferença primordial entre fossa séptica e tanque séptico é que na fossa o esgoto não sofre nenhum tipo de tratamento é apenas depositado, enquanto que no tanque ocorre o tratamento do esgoto, ou seja, o esgoto é tratado por processos de sedimentação, flotação e digestão por fim seu efluente deve ter um destino final adequado, por exemplo, a infiltração no solo ou ainda este pode ser associado a filtros biológicos (CHERNICHARO, 1996).

O sistema de fossa normalmente utilizado no Brasil é a fossa absorvente, ou poço absorvente, nesse sistema encontram-se desde sistemas rudimentares, apenas um buraco no solo, até construções com paredes de sustentação em alvenaria, cobertas normalmente com laje de concreto e fundo sem revestimento para permitir a infiltração do esgoto no solo. Outro sistema é a fossa estanque, totalmente impermeável, nesse modelo o esgoto é apenas depositado para posterior retirada, sua estrutura geralmente é de concreto. (PROSAB5 2004).

Os tanques sépticos (NBR 7229-93 orienta construção e utilização) consistem de câmaras únicas ou em série, horizontais ou verticais. Independente do modelo as funções do tanque séptico são as mesmas: reter através de decantação os sólidos suspensos presentes no esgoto os quais sedimentam e sofrem o processo de digestão anaeróbia no fundo do tanque. A manutenção consiste basicamente em remover e dispor o lodo em local adequado em certo período de tempo, que normalmente é de dois anos, entretanto geralmente essa operação não é realizada adequadamente, na maioria das vezes por falta de orientação. O uso dos tanques sépticos obtém sucesso quando aplicado principalmente a pequenas e médias vazões, pois se trata de um sistema compacto, de baixo custo, fácil e eventual manutenção, sua desvantagem esta na pouca eficiência na remoção de patógenos e sólidos dissolvidos, porém quando associado a um pós-tratamento para seu efluente os resultados são satisfatórios, geralmente 40 a 70% de remoção de DBO.

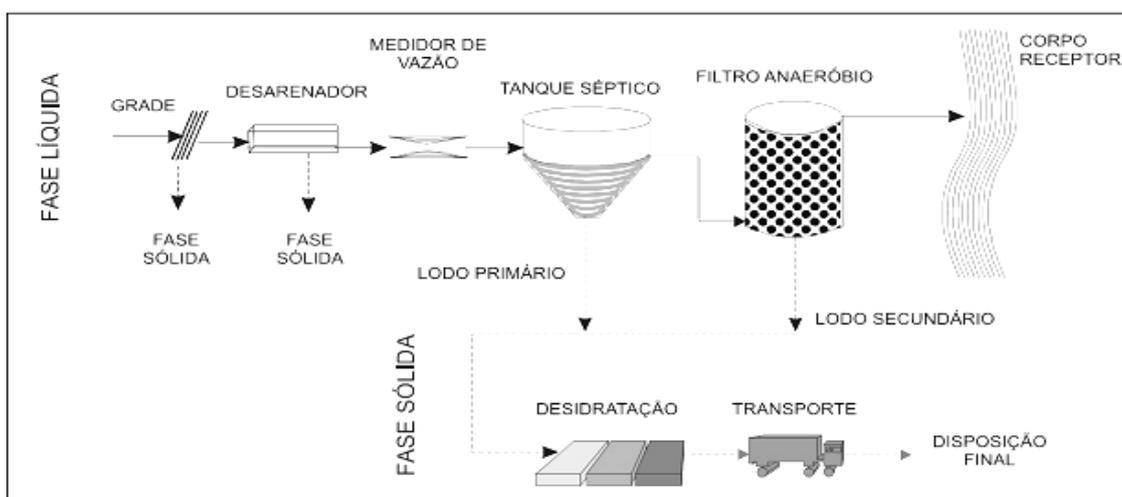
2.1.2 TANQUE SÉPTICO + FILTRO ANAERÓBIO

O tanque séptico como descrito no subitem 2.1.1, produz um efluente que requer um pós-tratamento antes do despejo em um corpo hídrico ou no solo, a NBR 13969/1997 propõe

uma série de pós-tratamentos, filtro anaeróbio, filtro aeróbio submerso, filtro de areia, vala de filtração, lodo ativado por batelada e outras para disposição final, vala de infiltração, canteiro de infiltração, evapotranspiração, sumidouro, águas superficiais e reuso local.

Uma boa alternativa é utilizar o tanque séptico como tratamento preliminar e um filtro anaeróbio como pós-tratamento (TS + FAn) para efetuar uma remoção complementar de DBO solúvel. O filtro biológico consiste de um tanque com leito preenchido com material suporte, geralmente pedras ou outro material inerte de grande área superficial que permanece estacionário e submerso (dependendo do fluxo do afluente), os microorganismos se desenvolvem aderidos ao material suporte formando um biofilme e nos espaços vazios na forma de flocos ou grânulos, proporcionando assim a retenção da biomassa contida no esgoto.

Figura 1: Sistema tanque séptico + Filtro anaeróbio



Fonte: von Sperling, 2005.

O fluxo do afluente no filtro pode ser ascendente ou descendente, dependendo da concentração de sólidos presentes no esgoto a ser tratado. Para esgotos diluídos com baixa concentração de sólidos em suspensão, como no caso do esgoto sanitário proveniente do tanque séptico, o mais indicado é o filtro com fluxo ascendente, onde a maior fração dos sólidos permanece na forma grânulos e flocos presentes nos espaços entre o material suporte sem que seja necessária recirculação do esgoto. A manutenção dos filtros consiste em uma limpeza do

meio filtrante através de uma lavagem no fluxo contrário para retirada do excesso de lodo a cada três ou seis meses (ANDRADE 1997).

2.1.3 LAGOA ANAERÓBIA

As lagoas anaeróbias são reatores de fluxo horizontal onde ocorre à sedimentação e digestão da matéria orgânica sob condições estritamente anaeróbias sem a necessidade de penetração de luz, permitindo receber esgotos com altas taxas de DBO como os provenientes de frigoríficos, laticínios. Sua eficiência é da ordem de 50-60% necessitando de um pós-tratamento, em geral são utilizadas em combinação com outros tipos de lagoas, como as facultativas, de maturação, precedendo lagoas de estabilização fotossintéticas (ANDRADE 1997).

A temperatura é um fator altamente relevante para a eficiência das lagoas anaeróbias, as bactérias anaeróbias necessitam de temperaturas elevadas para estabilizar a matéria orgânica, assim o clima do Brasil é propício para utilização desse tipo de lagoa. Outro fator importante é a profundidade da lagoa que deve ser de 4-5m para reduzir a penetração de oxigênio, sendo esse fator também uma vantagem, pois por ser mais profunda a área superficial requerida é menor. Sua desvantagem reside na qualidade do efluente, no aspecto estético e no desprendimento de maus odores, este último fator dependente do complexo equilíbrio entre a fase ácida e a básica da digestão anaeróbia (von SPERLING 1996).

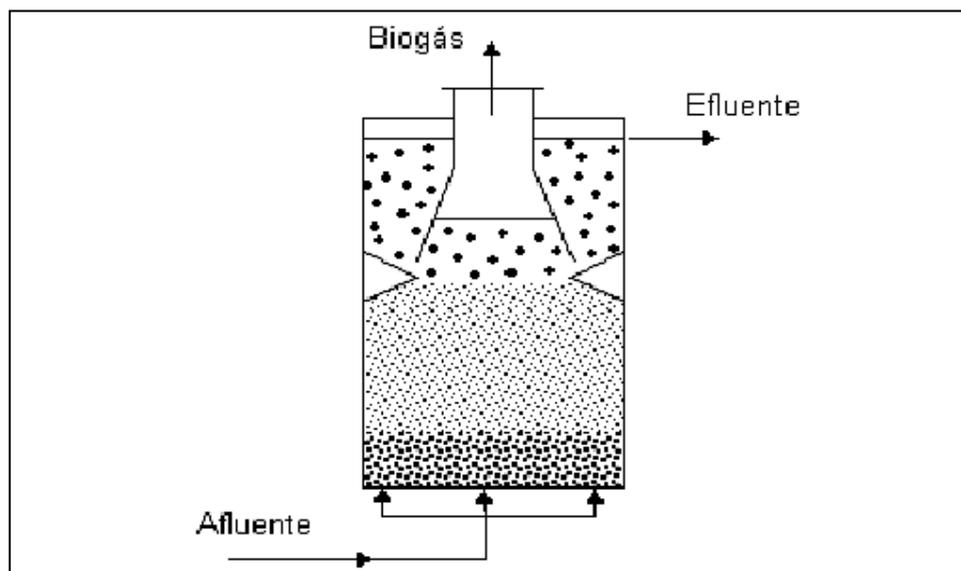
2.1.4 REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE E MANTA DE LODO (UASB)

O reator anaeróbio de manta de lodo UASB (upflow anaerobic sludge blanket), foi desenvolvido na década de 70 pelo Dr. Gatzke Lettinga e colaboradores na universidade Wageningen na Holanda (ANDRADE 1997). O UASB foi originalmente desenvolvido para

efluentes industriais de alta concentração a partir de estudos anteriores efetuados com o filtro anaeróbio ascendente (tanque biológico de Phelps - 1908). No Brasil o reator também é conhecido como RAFA, (outras denominações, RAFA, RAFAALL, etc) é utilizado desde a década de 80 no Paraná (SANEPAR) e em São Paulo (CETESB) e atualmente é o país que mais faz uso dessa tecnologia devido às suas características técnicas e econômicas.

O reator UASB consiste de um tanque de fluxo ascendente no qual os microorganismos presentes no manto de lodo do reator na forma de flocos ou grânulos retêm os sólidos e convertem a DBO (biogás + água). Na sua parte superior há um separador trifásico (sólido-líquido-gás), onde ocorre a remoção do gás produzido, assim como a sedimentação e retorno automático do lodo à câmara de digestão.

Figura 2: Sistema reator UASB



Fonte: Adaptado von Sperling, 2005

O reator UASB desempenha várias funções simultaneamente, decantador primário, pois ocorre sedimentação dos sólidos suspensos; reator biológico, pois, ocorre a transformação da matéria orgânica em metano e gás carbônico; digestor de lodo propriamente dito, pois ocorre a digestão da parte sólida retida produzindo um lodo já estabilizado, requerendo depois somente secagem quando do descarte do lodo de excesso.

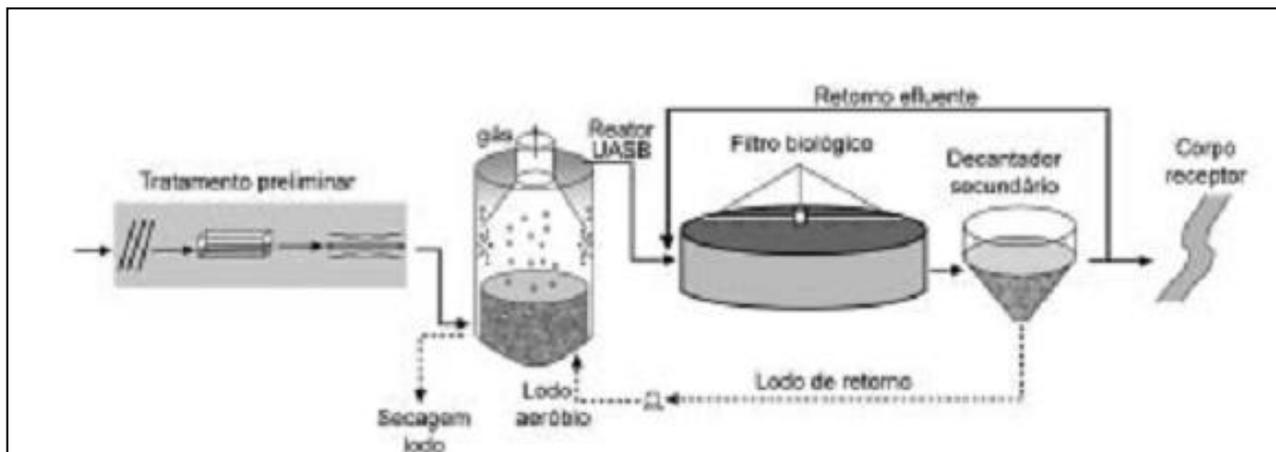
As vantagens do UASB consistem no curto tempo de detenção, pouca produção de lodo estabilizado, não ocorre consumo de energia ao contrário é gerada energia que pode ser aproveitada para outros fins, eficiência satisfatória na remoção de DBO, sistema compacto. Suas desvantagens residem na grande interferência da velocidade das vazões sobre o equilíbrio do sistema, na necessidade de um bom pré-tratamento, na complexidade operacional e na necessidade de um pós-tratamento.

Utilizado de maneira isolada o UASB apresenta uma eficiência de aproximadamente 70% na remoção de DBO, sendo necessário um pós-tratamento. Praticamente todos os processos podem ser usados em conjunto com o UASB como, por exemplo, lagoas de polimento, aplicação no solo, lodos ativados.

2.1.5 REATOR ANAERÓBIO (UASB) + FILTRO PERCOLADOR

O filtro biológico aeróbio ou filtro de contato trata-se de uma tecnologia compacta, de fácil operação, baixo consumo de energia e custo operacional, consiste de um leito preenchido com material inerte que pode ser pedras, pedregulhos, escórias da construção civil, pvc ou outro material suporte altamente poroso. Seu funcionamento baseia-se no fluxo contínuo e uniforme dos esgotos que percolam pelo meio suporte permitindo o crescimento bacteriano na superfície do material suporte, formando um biofilme, o sistema é aberto para permitir a circulação de oxigênio, necessário a respiração dos microrganismos. Através de uma transformação das substâncias coloidais e das dissolvidas, em sólidos estáveis, a película que se desgarrar do meio suporte sedimenta-se facilmente e é removida em uma unidade de decantação secundária. O lodo aeróbio não estabilizado retorna para o reator UASB onde sofre adensamento e digestão juntamente com o lodo anaeróbio, conforme esquema apresentado na figura 3 (PEREIRA 2005).

Figura 3: Recirculação do lodo do filtro percolador



Fonte: adaptado von Sperling, 2005.

Os filtros percoladores possuem a desvantagem de serem deficientes na remoção de coliformes fecais, e normalmente requerem desinfecção do efluente final, para atendimento à legislação ambiental em vigor.

2.1.6 TERRAS ALAGADAS OU WETLANDS

A disposição no solo é uma das formas mais antigas de depuração do esgoto, com a urbanização, desenvolvimento de tecnologias compactas e valorização da terra, essa metodologia cedeu lugar à disposição em corpos hídricos. A disposição de esgoto sanitária no solo pode funcionar tanto como destino final como tratamento para esse efluente.

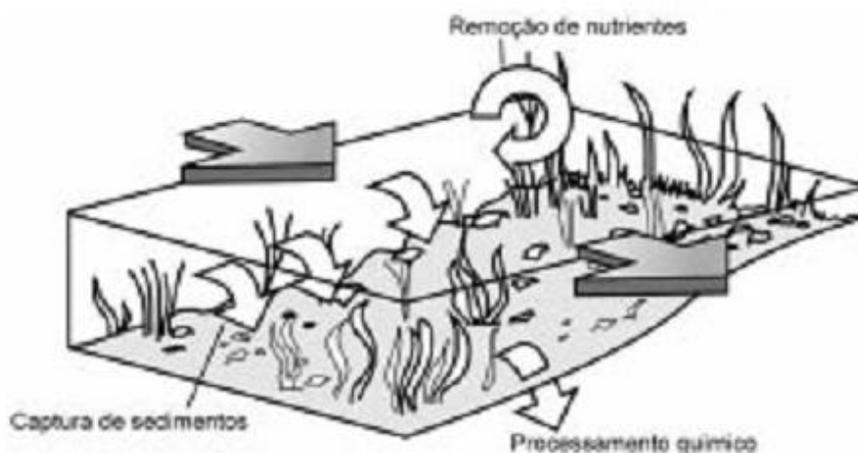
Quando dispostos no solo os efluentes domésticos, em parte, podem ser incorporados pelas plantas (enraizadas) ou ao próprio solo sendo levados para o lençol freático e a evapotranspiração e por fim ao corpo hídrico. A relação solo, microrganismos, plantas, estabiliza o esgoto promovendo certo grau de purificação. Esse tipo de metodologia apresenta pontos fortemente positivos em relação a outras técnicas apresentadas nessa revisão, tais como,

reciclagem dos nutrientes no solo, com menores custos e possibilidade reuso da água para outros fins.

Alguns exemplos de disposição no solo são as chamadas terras alagadas, wetlands ou zonas de raízes, estas podem ser naturais ou construídas. Esses sistemas são constituídos de canais rasos com plantas aquáticas, podem ser de fluxo superficial, quando o efluente escoo sob a superfície do substrato através das raízes das macrófitas (o substrato pode ser areia, brita, cascalho ou o próprio solo) ou fluxo pode ser subsuperficial (nível d'água abaixo do nível do solo).

As terras alagadas contribuem para a manutenção da qualidade do efluente final através da remoção e retenção de nutrientes principalmente pelas raízes das plantas. Conforme a água atravessa a terra alagada, as macrófitas agem como uma barreira diminuindo a velocidade de avanço do efluente em direção ao corpo receptor, fazendo com que os sedimentos e poluentes precipitem sendo capturados e degradados através de processos aeróbios e anaeróbios pelas enraizadas.

Figura 4: Remoção e retenção de nutrientes



Fonte: Adaptada CHERNICHARO (PROSAB 2007)

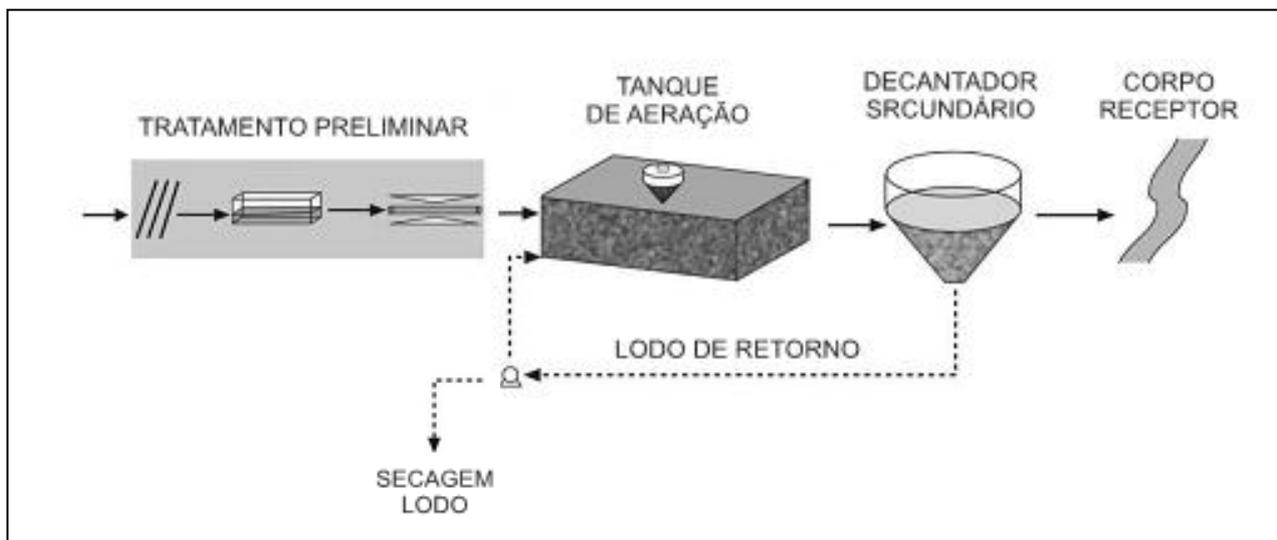
2.1.7 LODOS ATIVADOS

O sistema de lodos ativados é o mais utilizado dos sistemas aeróbios, foi desenvolvido em 1914 na Inglaterra por Ardern & Lockett apresenta grande utilização para o tratamento de esgotos domésticos em situações que se exige uma elevada qualidade do efluente final e a disponibilidade de área é limitada. Utilizado em cerca de 90% das estações de tratamento de médio e grande porte é uma alternativa bastante interessante para regiões de clima quente, pode ser aplicado como tratamento direto ou mais recentemente como pós-tratamento para reatores anaeróbios.

O funcionamento do sistema de lodos ativados baseia-se na oxidação biológica do esgoto, mediada por bactérias ativas diversificadas mantidas em suspensão na forma de flocos, na presença de O₂ dissolvido por adsorção forçada da atmosfera ou injeção de ar no meio líquido. A eficiência do processo depende, dentre outros fatores, da capacidade de floculação da biomassa ativa e da composição dos flocos formados. A desvantagem desse sistema consiste na necessidade de um índice de mecanização superior aos demais, implicando em uma operação mais sofisticada e em um maior consumo de energia elétrica (PROSAB5).

No tanque de aeração ocorrem as reações de conversão da matéria orgânica e em certas condições de matéria nitrogenada (nitrificação biológica), conforme esquema da figura 5. A biomassa se utiliza do substrato presente no esgoto bruto para se desenvolver. Os microorganismos presentes no tanque formam flocos que podem ser removidos no decantador secundário, parte do lodo é recirculado para manter a maior concentração possível de microorganismos ativos no tanque de aeração e a parte excedente é descartada para tratamento. A alimentação contínua do efluente associada à reciclagem contínua lodo, microorganismos, garante a realização de uma seleção natural ativa, ou seja, só sobreviverão os microorganismos que realmente são capazes de utilizar os substratos contidos no esgoto.

Figura 5: Etapas do sistema de lodos ativados convencional



Fonte: adaptado von Sperling, 2005.

Existe uma diversidade de processos de lodos ativados classificadas de acordo com as características hidráulicas e de aeração dos processos. O sistema de lodos ativados pode ser adaptado para incluir remoções biológicas de nitrogênio e fósforo, com relação à remoção de coliformes e organismos patogênicos, devido aos reduzidos tempos de detenção nas unidades do sistema de lodos ativados, tem-se uma eficiência baixa e insuficiente para atender aos requisitos de qualidade exigidos nos corpos receptores, assim uma etapa de desinfecção pode ser incluída nas etapas do processo.

2.1.8 VALOS DE OXIDAÇÃO

Os valos de oxidação possuem o mesmo princípio básico do tratamento aeróbio lodos ativados, porém com períodos maiores de aeração e uma mecanização mais simplificada. Surgiram na Holanda com PASSVER e KESSNER a partir da necessidade de preservação das águas superficiais e destinados principalmente a pequenas populações e áreas com espaço limitado. Os primeiros sistemas foram instalados na Holanda (1956) e na Alemanha (1957), no

Brasil em 1964 já existiam 13 unidades para tratamento de efluentes produzidos na indústria da fécula da mandioca.

O sistema de valos de oxidação apresenta uma eficiência de remoção de DBO na faixa de 98% e 70% de remoção de nitrogênio que ocorre devido à alternância de passagem do efluente hora por uma zona aeróbia (próxima aos rotores) ou por uma zona anóxida (nos arredores da zona aeróbia). Podem ser incluídas ainda unidades de decantação e cloração no sistema, dependendo do tipo de esgoto e das condições do corpo receptor.

Em relação ao sistema de lodos convencional, os valos exigem menor investimento, e têm menos problemas operacionais, têm a vantagem de remover nitratos e fosfatos. Em confronto com as lagoas de estabilização têm a vantagem de exigir menor superfície de terreno, mesma eficiência de tratamento, exigindo, porém, maior investimento em equipamento, gasto energético e de pessoal na operação.

2.2 VANTAGENS E DESVANTAGENS DOS PROCESSOS BIOLÓGICOS

Em sistemas anaeróbios a maior parte da matéria orgânica biodegradável é convertida em biogás, aproximadamente 60%, apenas uma pequena parcela da matéria orgânica é convertida em lodo cerca de 10%. O material não convertido em biogás, ou em biomassa 30%, deixa o reator como material não degradado. Em relação aos microorganismos patogênicos e nutrientes ocorre apenas uma redução dos níveis, tendo então o pós-tratamento a função de “polir” esse efluente removendo a matéria orgânica excedente, os nutrientes e os patógenos (CHERNICHARO 2007).

No caso de sistemas aeróbios ocorre somente cerca de 40 a 50% de degradação biológica, com a conseqüente conversão em CO₂ e uma geração de lodo excedente de 50-60%. O material orgânico não convertido em gás carbônico, ou em lodo, cerca de 30% deixa o reator como material não degradado (CHERNICHARO 2007).

A tabela abaixo apresenta um resumo das principais vantagens e desvantagens na utilização de processos biológicos:

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens dos processos biológicos:

PROCESSO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
ANAERÓBIO	Baixa produção de sólidos, cerca de 5 – 10 vezes inferior a que ocorre nos processos aeróbios;	Bactérias anaeróbias susceptíveis a inibição por grande número de compostos; Microbiologia anaeróbia complexa;
ANAERÓBIO	Baixo consumo de energia, geralmente associada à elevatória de chegada; Baixa demanda de área;	A partida do processo pode ser lenta na ausência de lodo;
ANAERÓBIO	Baixos custos de implantação da ordem de R\$20 – 40 <i>per capita</i> ;	Possibilidade de geração de maus odores;
ANAERÓBIO	Produção de metano gás combustível que pode ser reaproveitado;	Remoção de nutrientes e patógenos insuficiente;
ANAERÓBIO	Possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação por vários meses.	Geralmente necessário pós-tratamento para o efluente gerado;
AERÓBIO	Não apresenta gases tóxicos, mal cheirosos.	Maior custo de implantação e operacional devido à energia consumida.
AERÓBIO	Eficiente redução de óleos e graxas.	Não permite aproveitamento de gás;
AERÓBIO	Menores teores de sólidos solúveis, nitrogênio amoniacal e fósforo total.	Grande geração de lodo;
AERÓBIO	Reduz a baixo nível a presença de microrganismos patogênicos.	O lodo proveniente da digestão leva mais tempo para secar devido a sua difícil filtrabilidade.

Fonte: Adaptada CHERNICHARO. **Aplicabilidade da tecnologia anaeróbia para o tratamento de esgoto doméstico**. PROSAB 2007 e JORDÃO 1995.

Apesar dos processos anaeróbios apresentarem algumas deficiências na remoção de DBO, nutrientes e patógenos quando utilizados sozinhos, em associação a outros processos os resultados são claramente positivos. Abaixo segue tabela 2 com as eficiências comumente encontradas para diversas possibilidades de sistemas anaeróbios associados a pós-tratamentos aeróbios.

Tabela 2: Eficiências típicas de remoção de poluentes por processos biológicos:

SISTEMA	DBO ₅ (%)	DQO (%)	SS (%)	AMÔNIA-N (%)	N TOTAL (%)	P TOTAL (%)	CTer (NMP/100mL)
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa + lagoa Maturação	80-85	70-83	73-83	50-65	50-65	>50	3-5
Lagoa anaeróbia + lagoa facultativa	75-85	65-80	70-80	<50	<60	<35	1-2
Tanque séptico + filtro anaeróbio	80-85	70-80	80-90	<45	<60	<35	1-2
UASB	60-75	55-70	65-80	<50	<60	<35	≈1
UASB + lodos ativados	83-93	75-88	87-93	50-85	<60	<35	1-2
UASB + biofiltros aerado submerso	83-93	75-88	87-93	50-85	<60	<35	1-2
UASB + filtro anaeróbio	75-87	70-80	80-90	<50	<60	<35	1-2
UASB + filtro percolador	80-93	73-88	87-93	<50	<60	<35	1-2
UASB + lagoa de polimento	77-87	70-83	73-83	50-60	50-60	>50	3-5
UASB + escoamento superficial	77-90	70-85	80-93	35-65	<65	<35	2-3

Fonte: Adaptada CHERNICHARO. **Aplicabilidade da tecnologia anaeróbia para o tratamento de esgoto doméstico.** PROSAB 2007.

Os valores apresentados na tabela 2 comprovam o bom desempenho obtido quando se trabalha com processos associados, principalmente processos anaeróbios seguidos de aeróbios.

3.0 PROCESSOS ALTERNATIVOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

No final do século 19 na Inglaterra tiveram início às pesquisas relacionadas aos processos biológicos, com finalidade de tratar os efluentes domésticos. Nesse período os tratamentos com processos físico-químicos eram mais populares, porém pouco eficientes e demasiadamente onerosos. Inicialmente restritos aos tanques sépticos, filtros biológicos e percoladores os processos biológicos ganharam cada vez mais espaço, principalmente os que faziam uso da tecnologia de biomassa suspensa.

No Brasil, devido ao clima, os reatores anaeróbios possuem grande aplicabilidade para o tratamento de efluentes domésticos, entretanto seu efluente normalmente não atende as exigências presentes na legislação para lançamento em corpos hídricos sendo necessário um pós-tratamento. Neste âmbito pesquisas voltadas ao desenvolvimento de tecnologias ou mesmo adaptação de tecnologias convencionais para um pós-tratamento do efluente anaeróbio ganham cada vez mais espaço.

Uma das características mais interessantes dos reatores anaeróbios é a retenção da biomassa ativa em seu interior, para tanto a utilização de suportes onde a biomassa desenvolve-se aderida, como apresentado no experimento descrito no capítulo anterior, apresenta-se como excelente alternativa para aumentar a eficiência do processo; essa biomassa desenvolve-se e por meio de um processo de adsorção que retém a matéria orgânica presente no meio.

Com o desenvolvimento e melhor entendimento dos processos biológicos, surgiu a preocupação com a qualidade do efluente final. Essa preocupação viabilizou diversos estudos para o desenvolvimento de novas tecnologias, atualmente busca-se cada vez mais universalizar o tratamento, assim é essencial ter opções que estejam ao acesso de toda população principalmente nos casos onde os recursos ou mesmo o espaço físico, são escassos.

No capítulo a seguir serão abordados alguns artigos referentes a experiências desenvolvidas com tecnologias alternativas para tratamento de esgotos domésticos principalmente voltados a pequenas comunidades. Essas tecnologias são ditas alternativas principalmente no que se refere à inovação no uso de diferentes e acessíveis materiais ou mesmo adaptando as técnicas conhecidas a realidade da população local, obtendo com isso uma diminuição no consumo energético, no custo de implantação e operação.

3.1 REATOR ANAERÓBIO-AERÓBIO COM SUPORTE DE POLIURETANO

Para obter-se a eficiência desejada em sistemas de tratamento de esgoto muitas vezes é necessário unir processos para tender a um equilíbrio operacional como fez ABREU, S. B (2008) após pesquisar as características mais importantes dos processos biológicos desenvolveu um experimento para avaliar um reator com funcionamento compartimentado, trabalhando hora exclusivamente com processo anaeróbio hora trabalhando associado anaeróbio-aeróbio. O reator de leito fixo foi idealizado como alternativa ao reator UASB, utilizou-se como meio suporte espuma de poliuretano, o autor orientou seu experimento de maneira a explorar as características positivas de cada processo.

A intenção do autor, além de adaptar os conceitos dos processos biológicos a novas possibilidades de materiais, era de verificar até que ponto a utilização do processo aeróbio como pós-tratamento tinha condições de remover o residual de matéria orgânica (matéria carbonácea solúvel) proveniente do processo anaeróbio, além de promover a nitrificação. A água residuária utilizada no desenvolvimento dessa pesquisa foi obtida na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Campus da Universidade de São Paulo (USP) em São Carlos, SP. Durante a execução do experimento foram monitorados os parâmetros temperatura, demanda bioquímica de oxigênio (DQO), pH, alcalinidade, ácidos voláteis, sólidos solúveis, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.

O reator foi construído com tubos de acrílico com volume total de 6,4L e o leito foi dividido em quatro compartimentos de igual volume, separados por placas de PVC perfuradas. O reator constituído de duas partes: a câmara de alimentação e distribuição do esgoto e o leito reacional. Partículas de espuma de poliuretano foram dispostas em todos os compartimentos do reator para imobilização a biomassa.

O reator operou inicialmente somente como anaeróbio em três diferentes tempos de detenção hidráulica (TDH) em um período de 105 dias. O resultado que apresentou maior eficiência para o processo anaeróbio foi para uma TDH de 10h quando o valor de DQO foi reduzido de 389 ± 70 mg/L para 137 ± 16 mg/L (considerando apenas matéria orgânica carbonácea), quando operado em associação anaeróbio-aeróbio obteve-se a melhor eficiência para TDH de 12h (6 h no estágio anaeróbio e 6 h no aeróbio) quando o valor de DQO foi reduzido de 259 ± 69 mg/L para 93 ± 31 mg/L. O valor médio da concentração de sólidos em suspensão voláteis (SSV) para o efluente no TDH de 10h foi de 48 ± 17 mg/L reator operando como anaeróbio e para operação em associação num TDH de 12h foi de 10 ± 4 mg/L. A remoção de nitrogênio amoniacal quando aerado o sistema atingiu valores de até 85%.

Os resultados obtidos para valores de DQO e para nitrificação comprovaram que o processo associado acarreta maiores benefícios ao resultado final, pois além da oxidação da matéria orgânica carbonácea em um primeiro estágio anaeróbio a aeração do sistema contribuiu para a nitrificação e para degradação da DQO solúvel ainda presente no efluente.

3.2 FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR COM MEIO SUPORTE PLÁSTICO

Outro pós-tratamento bastante utilizado para reatores anaeróbio é o que foi pesquisado por PEREIRA SANTOS (2005) em sua dissertação, a autora apresentou uma experiência a partir de um filtro aeróbio para pós-tratamento. O filtro biológico percolador em questão utilizou dois diferentes meios suportes de material plástico em três diferentes taxas hidráulicas superficiais

($40\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, $65\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, $80\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$) e orgânicas volumétricas ($0,9\text{kgDBO}/\text{m}^3.\text{d}$, $1,5\text{kgDBO}/\text{m}^3.\text{d}$ e $2,1\text{kgDBO}/\text{m}^3.\text{d}$). Os suportes plásticos foram utilizados em substituição aos usuais de pedra por apresentarem maior leveza e menor volume, admitem com menor área superficial a aplicação de cargas orgânicas relativamente maiores o que de certa forma contribui para a eficiência do filtro, dependendo do material plástico normalmente apresenta baixo custo e fácil acessibilidade.

A pesquisa de PEREIRA SANTOS (2005) foi desenvolvida em escala real levando em consideração comunidades de até 400 habitantes utilizando o esgoto gerado no Campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro como efluente. Foram analisados durante a pesquisa os seguintes parâmetros físico-químicos DQO, DBO, SST, SSV, SSF, pH, temperatura e turbidez.

O esgoto tratado pelo filtro biológico percolador pela pesquisadora apresentou características típicas de um esgoto doméstico dito “fraco”, diluído, baixa concentração de óleos e graxas com valores médios de DQO, DBO e SST, respectivamente, 167 mg/L , 82 mg/L e 64 mg/L . O tratamento preliminar foi o convencional normalmente utilizado em diversas ETE (grades e desarenador). A estrutura do filtro fabricada em fibra de vidro com aberturas laterais para facilitar a entrada de oxigênio no processo de digestão. O esgoto foi introduzido por uma canalização na parte superior do filtro onde o mesmo era espalhado através de uma placa com diversos orifícios para facilitar a vazão.

Após 232 dias de ajustes, avaliações e operação do experimento, a pesquisadora constatou que independente do tipo de material plástico (anéis randômicos e bloco cross flow) utilizado e das taxas hidráulicas aplicadas, a unidade satisfaz ao padrão de lançamento em 80%, pois se obteve concentrações médias efluentes de DQO, DBO e SST muito satisfatórias, de respectivamente 96mg/l , 40mg/l e 32mg/l . A autora recomendou que fosse utilizada uma taxa hidráulica de aproximadamente $65\text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, valor bem próximo ao limite máximo preconizado pelas literaturas, sugeriu também uma continuação desse estudo variando os tipos de materiais plásticos e outras modificações funcionais do sistema de modo que torne-se possível avaliar também a nitrificação na etapa com aeração e inserir uma etapa que contemple se possível a desnitrificação do efluente. O resultado final obtido demonstra a possibilidade de aplicar essa tecnologia a locais onde à demanda de efluente é pequena e que não dispõe de recursos para aplicação de tecnologias complexas, mecanizadas, por exemplo.

3.3 REATORES ANAERÓBIOS COM MEIO SUPORTE DE BAMBU

Seguindo a linha dos processos que fazem uso dos reatores anaeróbios com biomassa aderida em meio suporte tem-se o estudo realizado por CAMARGO (2000), este monitorou um filtro anaeróbio (FA) de fluxo ascendente com enchimento de bambu para tratamento de esgotos domésticos. O meio suporte de bambu foi escolhido por ser acessível e apresentar baixo custo quando comparado a outros meios como o plástico, por exemplo.

A pesquisa desenvolveu-se nas instalações da ETE da cidade de Limeira. O efluente analisado passou pelo mesmo tratamento preliminar dos processos convencionais, o filtro foi operado por um período de 745 dias onde o tempo de detenção hidráulica (TDH) foi variado de modo a obter-se ao termino de cada processo um efluente com menor valor de DBO. Os parâmetros analisados foram DBO, Sólidos Suspensos Totais (SST) e valores de pH.

Nesse estudo CAMARGO (2000) observou que variando a TDH obtinha uma eficiência maior ou menor do filtro e que o mesmo era mais eficiente para efluentes mais “concentrados”, ou seja, para valores maiores de DBO; além disso, a autora avaliou o sistema frente a uma diminuição brusca do pH que promoveu uma redução na remoção de DBO e SST, devido a um decaimento na população de microrganismos responsáveis pela degradação anaeróbia do efluente e muito dependentes dos valores de pH e alcalinidade (carbonato) empregados no processo.

Nesse experimento a autora teve uma preocupação maior em avaliar a influência da TDH no processo, do que o meio suporte propriamente dito, porém sem sombra de dúvida os anéis de bambu demonstraram eficiência tanto quanto os outros meios suportes, pois constituem na sua irregularidade natural uma boa área superficial útil facilitando a formação de biofilme e por consequência uma boa adsorção da matéria orgânica carbonácea.

3.4 TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO COM MEIO SUPORTE DE BAMBU E FILTROS DE AREIA

Outro experimento que fez uso de bambu como meio suporte foi o desenvolvido por TONETTI (2004) juntamente com outros pesquisadores da Unicamp, a pesquisa foi desenvolvida a partir dos estudos precursores nessa linha de Costa Couto (1993). Nesse caso além da utilização do meio suporte de bambu o pesquisador analisou a eficiência de um filtro com leito de areia para diversas vazões e profundidades.

O sistema estudado apresentou baixo custo, pouco consumo energia e produziu uma quantidade mínima de lodo, porém a remoção de organismos patogênicos, nutrientes e matéria orgânica não atendiam à legislação brasileira como a maioria dos reatores anaeróbios vistos até o momento. Para melhorar a eficiência do reator foi associado ao mesmo um filtro de areia, alternativa que preservou o baixo custo e as mínimas necessidades de operação e manutenção. Outra opção apresentada pelo pesquisador foi de dispor o efluente do reator anaeróbio controladamente no solo ou reutilizá-lo na irrigação ou no consumo não humano.

A pesquisa foi realizada em uma área experimental situada na ETE da cidade de Limeira, estado de São Paulo, o esgoto doméstico utilizado proveniente de um bairro residencial. O reator anaeróbio foi operado com fluxo ascendente, vazão de 2 L/min e tempo de detenção hidráulica de 3 horas.

O efluente passou inicialmente pelos filtros anaeróbios com suporte de anéis de bambu, e posteriormente com cargas de 20, 40, 60, 80 e 100 L/min sobre as superfícies de cada um dos quatro filtros de areia, estes com diferentes profundidades, todas empregadas em três diferentes frequências. O percentual de remoção de matéria orgânica para todos os leitos (diversas vazões e profundidades) foi superior a 75%, sendo que no filtro com vazão de 100L/m oscilou entre 96% e 99%, comprovando assim que houve ação dos microrganismos presentes no filtro de areia.

Os resultados obtidos por TONETTI (2004) com a associação do filtro anaeróbio seguido do filtro de areia demonstraram que o sistema é de simples operação e possível de ser aplicado ETE descentralizadas; no que diz respeito aos valores de DBO o reator anaeróbio foi capaz de remover cerca de 50% e os filtros de areia realizaram o tratamento complementar

chegando a um valor final de 96-99%. Quanto ao oxigênio dissolvido, ocorreu um aumento significativo da concentração após a passagem do efluente anaeróbio pela camada de areia. Destaca-se que os leitos de areia que possuíam 0,75 e 1,00 m de profundidade suportaram o aumento das cargas de afluente sem levar a um acréscimo significativo na DBO dos efluentes.

3.5 CASCAS DE OSTRAS EM PROCESSOS AERÓBIOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

No sistema de lodos ativados o desenvolvimento do floco de biomassa ativa é fortemente dependente das condições de pH e alcalinidade (carbonato) do meio. Esses dois fatores também contribuem para as reações de nitrificação biológica, que por sua vez interferem na formação do floco de biomassa e como consequência final na remoção de matéria orgânica. Durante as reações de nitrificação biológica as bactérias nitrificantes liberam ácidos, como há presença de substâncias alcalinas no esgoto, estas mantêm o equilíbrio do sistema (sistema tampão), entretanto em alguns casos essa alcalinidade é baixa provocando uma diminuição brusca no pH do meio, ocasionando a destruição dos flocos de biomassa.

O estudo da influência da alcalinidade e da desnitrificação é relevante devido à relação direta com fatores econômicos e operacionais tais como, menor produção de lodo excedente, menor consumo de energia para aeração.

Hoffman (2005) desenvolveu um estudo levando em consideração a contribuição da alcalinidade do esgoto bruto na nitrificação e posterior desnitrificação em um sistema aeróbio de lodos ativados com pré-tratamento anaeróbio em tanque séptico. A autora avaliou como esses fatores contribuíam para a degradação da matéria orgânica carbonácea no processo anaeróbio e sugeriu como alternativa para controlar a alcalinidade do sistema com baixo custo a utilização de cascas de ostra no tanque séptico. O experimento desenvolveu-se a partir de um reator piloto do

tipo lodos ativados com fluxo por batelada utilizando efluente doméstico proveniente da rede pública de esgoto.

Na primeira etapa do estudo realizou-se o pré-tratamento anaeróbio em um tanque séptico (2-3 dias) seguindo para o reator aeróbio, os parâmetros físico-químicos acompanhados foram DQO, DBO₅, SST, pH, alcalinidade, série nitrogenada, temperatura e turbidez. Quando se observou a diminuição do pH foi adicionado ao reator cal para que se mantivesse as reações de nitrificação e posterior desnitrificação controlada. Em uma etapa subsequente a pesquisadora desenvolveu uma correlação matemática, baseada nos dados obtidos na primeira etapa, entre a alcalinidade do meio as reações de nitrificação realizadas e a posterior desnitrificação necessária de maneira a manter o efluente final em equilíbrio.

Na terceira etapa Hoffman (2005) considerou os dados obtidos nas duas etapas iniciais e avaliou um sistema onde foram colocadas cascas de ostra (5% do tanque) no tanque séptico, para manter a alcalinidade natural do meio, e um tanque sem cascas (tanque controle). Observou-se que no tanque controle ocorreu uma diminuição de pH prejudicando a desnitrificação, pois diminuiu o valor de DQO, os flocos de biomassa foram destruídos resultando num efluente final turvo. No tanque séptico com 5% de cascas de ostra foi observado um aumento de 20-25% da alcalinidade em relação ao tanque controle resultante num valor médio de 313mg de CaCO₃/L o que manteve as reações de nitrificação e 65% de desnitrificação, comprovando que essa alternativa é capaz de manter o equilíbrio do meio para esgotos com baixa alcalinidade sem que seja necessário aplicar complexas operações de manutenção, tornando esse sistema aplicável a ETE de pequenas cidades ou mesmo ser utilizados quando o tanque séptico é a única forma de tratamento, como o caso de algumas localidades rurais.

3.6 UTILIZAÇÃO DE ENRAIZADAS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

A necessidade de buscar estratégias sustentáveis para equilibrar as atividades antrópicas com o meio sócio-ambiental tem dado vazão aos estudos para aplicação de tecnologias mais simples e a retomada de tecnologias nem tão recentes, porém, deixadas de lado pelo avanço

principalmente da mecanização dos tratamentos sanitários. Um bom exemplo é o tratamento através de enraizadas ou wetlands como é mais conhecido; a interação entre as plantas e os microrganismos presentes promove a degradação dos poluentes e absorção dos nutrientes pelas raízes.

As enraizadas são vantajosas nos quesitos custo e eficiência, principalmente no caso dos nutrientes como nitrogênio e fósforo, a desvantagem desse tipo de tecnologia reside na necessidade de áreas para a implantação dos alagados. Assim essa tecnologia é bastante indicada para comunidades rurais por ser um processo de depuração natural que utiliza apenas a força gravitacional, plantas e microrganismos, ou seja, simples aplicação e manutenção. Devido à degradação ambiental que ocorre nas áreas de enraizadas naturais, os novos estudos estimulam a adaptação desse processo natural para as terras úmidas construídas.

As terras úmidas podem ter fluxo superficial, nesse caso a desvantagem é a possível proliferação de insetos e o mau cheiro. Já as terras úmidas com fluxo subsuperficial não apresentam esses problemas, pois, funcionam como filtros onde o esgoto percola por ação da gravidade horizontalmente através de um meio preenchido com material que pode ser desde pedras, resíduos de construção civil até palha de arroz. Esse sistema pode ser dito físico-biológico, pois, as reações que ocorrem na rizosfera (zona de raízes) das macrófitas levam ao desenvolvimento de várias bactérias que por sua vez realizam as reações de nitrificação-desnitrificação.

Naime e Garcia (2005) em seu artigo, que faz uma revisão teórica sobre terras úmidas, sugerem a utilização dessa tecnologia para o tratamento de efluentes industriais como o proveniente de laticínios rico em matéria orgânica. Os autores relacionam efluentes de diversos segmentos industriais relacionando com a quantidade de DBO encontrada em cada um, a ênfase é dada aos efluentes agroindustriais, por existir uma carência de pesquisas para esse tipo de esgoto.

A viabilidade dessa modalidade de tratamento é dependente do local a ser implantada e do clima da região, das características físico-químicas do solo. Outro fator relevante é a escolha das espécies, os juncos (gênero *Phragmites*) são os mais utilizados, porém segundo Naime e Garcia (2005) é importante dar preferência a plantas nativas da região, levando em conta a capacidade de transferência de oxigênio na zona de raízes.

4.0 CONCLUSÕES

A evolução no entendimento dos processos microbiológicos fez com que o interesse pelas tecnologias de tratamento de esgoto por processos similares aos naturais aumentasse. Cada vez mais, grupos de pesquisa têm retomado o estudo de tecnologias de tratamento já conhecidas, porém em novas versões que priorizam principalmente a simplicidade sem com isso perder a eficiência.

O censo do IBGE de 2007 verificou que a maioria da população principalmente rural, utiliza tecnologias como o tanque séptico, esse sistema pode obter resultados satisfatórios desde que sua manutenção preventiva seja realizada periodicamente. Se associado a outro processo como terras úmidas seu potencial de depuração aumenta, contudo o conceito de simplicidade é mantido.

Observa-se durante toda a revisão que os sistemas que operam em associação, sejam eles convencionais ou alternativos, apresentam uma eficiência relativamente maior que os que operam com uma única metodologia. O custo relacionado a esses processos também acaba sendo inferiores, principalmente devido à adaptação de materiais alternativos, como no caso dos filtros biológicos.

Apesar do grande número de programas e investimentos atuais em saneamento, o setor possui uma enorme carência, que atinge justamente a parcela da população que deveria ter maior atenção dos governos. As projeções apontam para uma situação de avanços controlados que deve persistir por um longo tempo ainda, o que faz com que a meta da universalização dos serviços demore um pouco mais a chegar às localidades com menos recursos. Contudo iniciativas interessantes têm surgido, promovendo a proteção dos mananciais, conservação dos ecossistemas aquáticos, o combate ao desperdício e a inclusão a um serviço essencial.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 3a ed. 2005.

_____**Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 2. Princípios básicos do tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 3a ed. 1996.

_____**Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 3. Lagoas de estabilização.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG. 3a ed. 1998.

CHERNICHARO, C.A.L, **Reatores anaeróbios.** 1.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 245 p. (Princípio do tratamento biológico de águas residuárias, 5). 1997.

ANDRADE NETO, C.O. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira.** Rio de Janeiro: ABES, 1997.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos.** Associação brasileira de engenharia sanitaria e ambiental.3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 683p

Os novos livros do PROSAB. *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2009, vol.14, n.4, pp. 04-06.

Bastos M. S. F.; von Sperling, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção.** Rio de Janeiro: PROSAB 5, ABES, 2009. 428p.

Andreoli C. V.; **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final.** Rio de Janeiro: PROSAB 5 ABES, 2009. 388p.

ABREU, S. B.. ZAIAT, M. **Desempenho de reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário. *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2008, vol.13, n.2, pp. 181-188.**

SILVA, G. H. R., NOUR, E. A. A.. **Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 9, n2 , p.268-275, 18 abr. 2005.

www.ibge.gov.br. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Acesso em 10/12/2009.

CAMARGO, S. A. R. **Filtro anaeróbio com enchimento de bambu para tratamento de esgotos sanitários: avaliação da partida e operação.** Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 141p. 2000.

PEREIRA S. A. S. **Avaliação de Desempenho de um Filtro Biológico Percolador em Diferentes Meios.** Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2005.

www.finep.gov.br/prosab/. Programa de pesquisa em saneamento básico. Acesso em: 15/12/2009.

TONETTI, A. L. **Pós-tratamento de filtro anaeróbio por filtros de areia.** Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas/São Paulo, 140p. 2004.

COSTA COUTO, L. C., **Avaliação do desempenho de filtros anaeróbicos com diferentes meios de enchimento no tratamento de esgotos sanitários.** Dissertação de mestrado apresentada a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo, 181p. 1993.

OLIVEIRA, S. M. A. C., VON SPERLING, M. **Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho.** *Eng. Sanit. Ambient.*, Dez 2005, vol.10, no.4, p.347-357

BRASIL (2005). Resolução CONAMA nº 357, 17 de março de 2005. **Estabelece a classificação das Águas Doces, Salobras, e Salinas. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente.** Brasília/DF.

Hoffmann, H. C. *et al.* **Uso de cascas de ostras para estabilização de processos aeróbios de tratamento de esgotos com baixa alcalinidade.** Rio de Janeiro, ABES, 2005. p.1-7, Ilus, tab.

NAIME, R., GARCIA, A. C. **Utilização de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais.** Estudos tecnológicos – Estudos Tecnológicos. Vol.1, n.2, 9-20. 2005.

UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA. Pró-Reitoria Acadêmica. Programa de Bibliotecas. **Trabalhos acadêmicos na Unisul: apresentação gráfica para tcc, monografia, dissertação e tese.** 2. ed. rev. e ampl. Tubarão: Ed. Unisul, 2008.