

# ALTERNATIVAS SUSTENTÁVEIS PARA O ESGOTAMENTO SANITÁRIO DE RESIDÊNCIAS E DE PEQUENOS ASSENTAMENTOS RURAIS

<sup>1</sup>Fernando Frigo

<sup>2</sup>Nemésio Neves Batista Salvador

## RESUMO

Um problema ambiental sério que pode ocorrer quando da ocupação da zona rural é o relacionado ao manejo e destinação dos esgotos sanitários, causando a poluição do solo, das águas superficiais e subterrâneas e, inclusive, colocando em risco a saúde das comunidades locais. Este trabalho tem por objetivos apresentar e discutir soluções práticas simples, não complexas, para o esgotamento sanitário de residências e de pequenos assentamentos rurais. Embora simples, as soluções propostas são sanitária e ambientalmente adequadas, seguindo técnicas e normas apropriadas. São também compatíveis com a realidade socioeconômica dessas comunidades, podendo ser executadas de forma simplificada e econômica, utilizando mão-de-obra local, em regime de autoconstrução, com materiais acessíveis e de baixo custo, além de demandar operação e manutenção também bastante simples, com nenhuma ou baixa utilização de energia elétrica. Desta forma, tais soluções podem ser consideradas como sustentáveis e envolvem a coleta dos esgotos sanitários por meio de sistemas alternativos, como coletores simplificados e ramais condominiais, e o tratamento desses esgotos, mediante técnicas não sofisticadas e de baixo custo, com o emprego de fossas sépticas, filtros anaeróbios, poços absorventes, lagoas de estabilização e terras úmidas (*wetlands*). São discutidas também as formas de manejo e disposição dos resíduos sólidos (lodos) proveniente do tratamento dos esgotos, que podem ser utilizados como fonte de matéria orgânica (esterco) para o solo em certas culturas locais.

Palavras-chave: esgotamento sanitário, sustentabilidade, assentamentos rurais.

<sup>1</sup>Biólogo, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente da UNIARA.

<sup>2</sup>Engenheiro Civil, Doutor em Hidráulica e Saneamento e Docente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente da UNIARA.

## **INTRODUÇÃO**

Os esgotos sanitários, de origem doméstica ou não, se constituem em significativa fonte de poluição ambiental, principalmente pelo seu conteúdo de matéria orgânica biodegradável representada pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), de nutrientes (Nitrogênio e Fósforo) e de organismos patógenos.

Quando os esgotos são lançados brutos nos corpos d'água, sem o devido tratamento prévio, a DBO promove a sua poluição pelo consumo do Oxigênio Dissolvido para a sua degradação, podendo tornar esses corpos d'água "mortos", sem vida aquática aeróbia, como é o caso dos rios Tietê e Pinheiros, na cidade de São Paulo. No interior paulista, vários rios também se encontram na mesma situação ou então, estão ameaçados.

Os nutrientes presentes nos esgotos promovem a fertilização das águas, resultando na sua eutrofização, desenvolvimento excessivo de plantas macrófitas aquáticas e algas, com a consequente poluição dos corpos d'água.

Os organismos patógenos presentes nas fezes humanas e nos esgotos – bactérias, vírus, vermes, protozoários e fungos, contaminam o solo e as águas, podendo causar inúmeras doenças, como gastroenterites, verminoses, micoses etc. A presença de patógenos é indicada pela presença de bactérias Coliformes Fecais, que vivem no intestino dos animais de sangue quente e estão presentes em suas fezes e, portanto, nas fezes humanas e nos esgotos.

Todos esses problemas podem ser prevenidos ou evitados com soluções práticas adequadas de saneamento básico - coleta, tratamento e disposição dos esgotos, mesmo quando realizadas na zona rural, pela própria comunidade local.

A zona rural e mesmo algumas regiões da periferia das cidades não costumam ser atendidas pelos prestadores públicos de serviços de saneamento básico, como as autarquias municipais e companhias estaduais de saneamento. Daí a importância de se realizar as referidas soluções localmente, de forma autônoma, em que comunidade possa participar e mesmo implementar e gerenciar este processo.

Isto só é possível com o emprego de sistemas alternativos de saneamento viáveis, não só técnica e ambientalmente, mas principalmente em termos econômicos e de facilidade e praticidade de construção, operação e manutenção, tendo em vista que as comunidades de assentamentos rurais normalmente possuem limitações financeiras e de tempo.

Há que se ressaltar que, para viabilizar tais soluções, se faz necessário a conscientização, união e mobilização das comunidades, bem como a sua educação sanitária e ambiental e o treinamento de alguns de seus membros que irão trabalhar nos sistemas de saneamento a serem implementados.

A seguir, são apresentadas e discutidas soluções alternativas adequadas e sustentáveis de esgotamento sanitário envolvendo a coleta, tratamento e disposição dos esgotos e lodos, e que podem ser aplicadas para casas isoladas e para grupos de casas ou vilas rurais. São exemplificadas soluções para comunidades de 12 e de 200 pessoas.

Será buscado nessa apresentação e discussão a utilização de linguagem técnica simples, compreensível para as pessoas leigas, sem formação específica em saneamento. As alternativas ou soluções propostas são baseadas principalmente no trabalho de Salvador (2013).

## **COLETA DOS ESGOTOS**

Na coleta dos esgotos são empregados coletores simplificados ou ramais condominiais, que podem ser construídos em regime de autoconstrução, com materiais e técnicas simples e de baixo custo.

### **Coletores Simplificados**

O uso de coletores simplificados e de redes simplificadas de esgotos no Brasil vem ocorrendo desde o início da década de 1980, sendo sua implantação bem mais barata do que a dos coletores

e redes convencionais (FERNANDES, SANTORO e SALVADOR, 1984; FERREIRA, 2003; LOBO, 2003).

Os coletores simplificados podem ser de tubos e conexões de PVC, próprios para esgoto, com diâmetro de 100mm, para uma casa (unifamiliar) ou para um grupo de casas (multifamiliar), dependendo da população a ser atendida e da declividade da tubulação.

Não se deve ter coletores aparentes, sobre o solo, pois a luz solar deteriora o PVC. Eles podem ser rasos, com profundidade variando de 30 a 50cm na geratriz inferior, o que faz com que as valas para o seu assentamento sejam também rasas e possam ser executadas manualmente, com o emprego de enxadas, enxadões, pás, picaretas e outros.

Coletores rasos, no entanto, não devem ser localizados em locais onde passam veículos como carros, carroças, caminhões, tratores etc., pois o peso desses veículos pode danificá-los ou mesmo rompê-los.

A declividade dos coletores vai depender da topografia do terreno, devendo ser no mínimo de 0,5%, valor este que resulta para terrenos planos em um desnível da tubulação de 5 cm para cada 10m. Nestas condições, um coletor de 100mm de diâmetro tem capacidade para atender ou esgotar até cerca de 1.600 pessoas.

Mesmo no caso de se esgotar apenas uma casa não devem ser usados diâmetros menores que 100mm porque o risco de obstrução dos coletores é muito grande.

Portanto, para terrenos planos ou com declividades inferiores a 0,5% os coletores podem ter uma declividade padrão de 0,5% e para terrenos com declividades iguais ou superiores a 0,5% os coletores devem ter a mesma declividade do terreno, sendo então assentados paralelos ao mesmo. Desta forma, isto torna mais fácil o posicionamento dos tubos no fundo das valas.

Nas mudanças de direção, na união de coletores ou a cada 50m devem ser instaladas caixas de inspeção de seção quadrada de 40x40cm ou seção circular de 50cm de diâmetro e profundidade igual à da vala. Essas caixas podem ser construídas de alvenaria de tijolos ou com tubos de concreto, sendo que existem também caixas de PVC a venda no mercado.

A caixas de inspeção substituem os poços de visita tradicionais (PVs), bem mais caros, e a sua função é permitir a limpeza ou eventual desobstrução dos coletores.

A utilização de coletores simplificados, mais ainda do que a dos coletores convencionais, requer cuidados e educação sanitária por parte dos usuários, a fim de que não lancem no esgoto objetos ou resíduos que possam causar danos ou obstruções das tubulações.

As Figuras 1 e 2 seguintes ilustram a implantação de coletores simplificados.

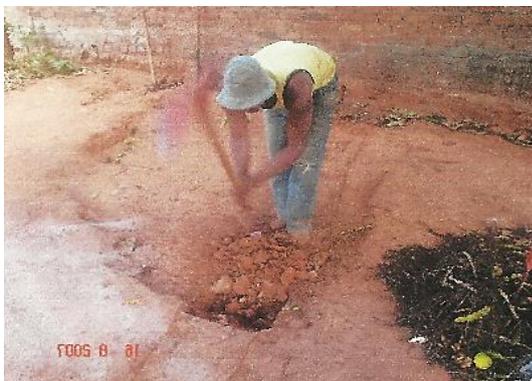


Figura 1. Abertura manual de vala para coletor simplificado e vala pronta. Fonte: Santiago (2008).

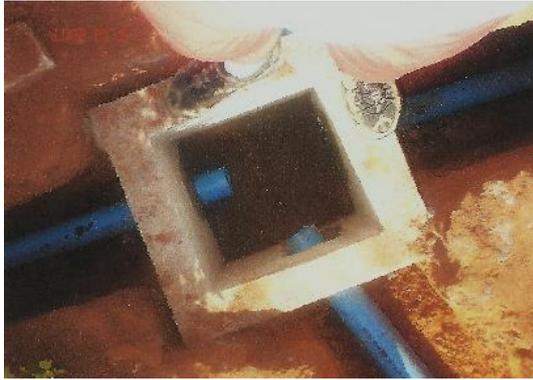


Figura 2. Detalhe da construção de uma caixa de passagem, caixa pronta e coletor assentado na vala. Fonte: Santiago (2008).

Pode-se observar nas Figuras 1 e 2, à direita, que os coletores passam de um terreno para outro, o que caracteriza um ramal condominial (ver Figura 3). Notar também a simplicidade das construções.

### **Ramais Condominiais**

Os ramais condominiais são coletivos, multifamiliares, compostos por conjuntos de coletores simplificados que atendem a grupos de casas. Sua utilização foi praticamente simultânea à dos coletores simplificados, na década de 1980; na realidade, conforme mencionado, esses coletores fazem parte dos ramais condominiais.

Os sistemas de ramais condominiais vem sendo bastante empregados no saneamento de favelas e áreas periféricas das cidades, locais não servidos por esgotamento sanitário, onde não existe arruamento definido e nos quais os órgãos oficiais de saneamento não atuam, geralmente porque esses locais não tem regularização imobiliária, sendo considerados como clandestinos.

Portanto, os ramais condominiais se constituem em uma solução interessante e apropriada para os pequenos assentamentos rurais em que existe proximidade entre as casas. Estes sistemas, como o próprio nome indica, são implantados e operados/ gerenciados na forma de condomínio, pelas próprias comunidades locais.

Os esgotos dos ramais podem ser encaminhados a uma rede pública convencional, no caso de cidades (sob permissão do órgão de saneamento), ou então dispostos no solo ou em corpos d'água, mediante tratamento prévio adequado.

Do ponto de vista técnico, construtivo e operacional, valem as mesmas considerações e indicados para os coletores simplificados, mas tendo-se em mente que numa escala maior. Isto implica em maior responsabilidade e maiores cuidados por parte dos usuários, pois o mau uso do sistema podem causar problemas para muitas pessoas.

A Figura 3 apresenta um esquema de ramais condominiais comparados com uma rede convencional de esgotos sanitários.

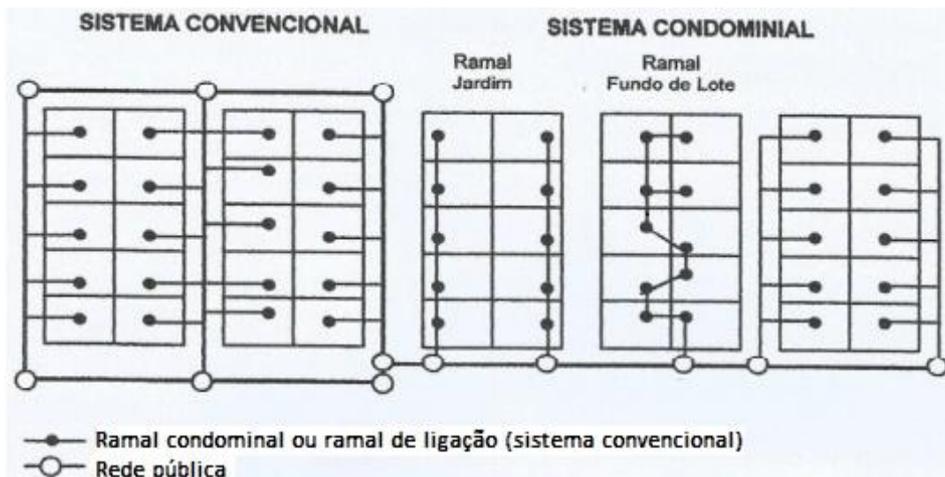


Figura 3. Esquema de ramais condominiais e rede convencional de esgotos sanitários.  
 Fonte: RISSOLI, C. A. *et al* (2011).

### TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO DOS ESGOTOS

Existem atualmente no Brasil inúmeras técnicas ou alternativas para tratamento e disposição dos esgotos sanitários, em pequena, média e grande escala. Em seguida, são apresentadas as principais alternativas apropriadas para assentamentos rurais, em pequena escala, simples, práticas e econômicas, e aplicáveis a soluções unifamiliares ou multifamiliares.

#### Fossa Séptica

De acordo com Salvador (2013), a fossa séptica, também denominada tanque séptico, é um processo simples e econômico de tratamento, em grau primário, visando atender a poucos usuários (máximo de cerca de 200 pessoas/ fossa) em unidades unifamiliares, grupos de residências, prédios e pequenas comunidades. Ela é bastante empregada em locais sem redes de esgotos, na zona rural, em áreas litorâneas, em condomínios, chácaras, pousadas, alojamentos provisórios, pequenos hotéis e, inclusive, em situações de saneamento de emergência.

Na fossa ocorrem os processos de sedimentação e digestão anaeróbia da matéria orgânica biodegradável do esgoto, com a remoção de cerca de 50 a 60% da sua DBO, portanto insuficiente para que o efluente da fossa seja disposto no meio ambiente sem um tratamento complementar. Outro motivo para isto é que a remoção de nutrientes e de patógenos na fossa também é baixa. A Figura 4 mostra o esquema de funcionamento de uma fossa séptica.

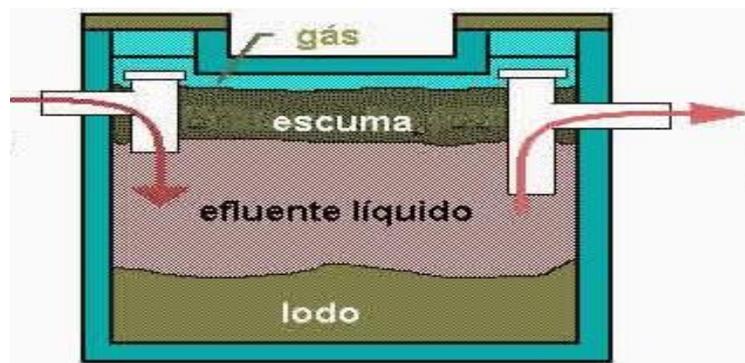


Figura 4. Funcionamento de uma fossa séptica. Fonte: Couto (2004).

A matéria orgânica sedimentada no fundo da fossa forma o lodo, o qual sofre digestão por um período prolongado, permanecendo na fossa por um tempo que, no caso de zonas rurais, recomenda-se que seja de um ano, que é o período de limpeza da fossa. A produção de lodo não é muita, mas as fossas liberam maus odores, principalmente devido ao gás sulfídrico produzido no processo anaeróbio.

Os gases produzidos nas fossas são liberados junto com seus efluentes, mas por segurança, recomenda-se que elas sejam ventiladas, a fim de evitar incômodos pelos maus odores e riscos de explosão, em eventuais casos de obstrução/ entupimento. O lodo das fossas já é estabilizado (“curtido”) e pode ser encaminhado diretamente para a secagem e disposto no solo, de forma adequada, tomadas as devidas precauções sanitárias e ambientais.

O projeto, a construção e a operação de fossas sépticas é normatizado pela NBR 7229 de 1993 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1993).

As fossas podem ser prismáticas retangulares (Figura 5) ou circulares, construídas em alvenaria revestida internamente com argamassa de cimento de forma a garantir a sua estanqueidade. Podem também serem feitas de anéis de concreto pré-moldado ou mesmo de caixas de fibrocimento. Elas devem ser fechadas, providas de tubos de ventilação e de inspeções (tampões de fechamento hermético) para a manutenção e a retirada do lodo.

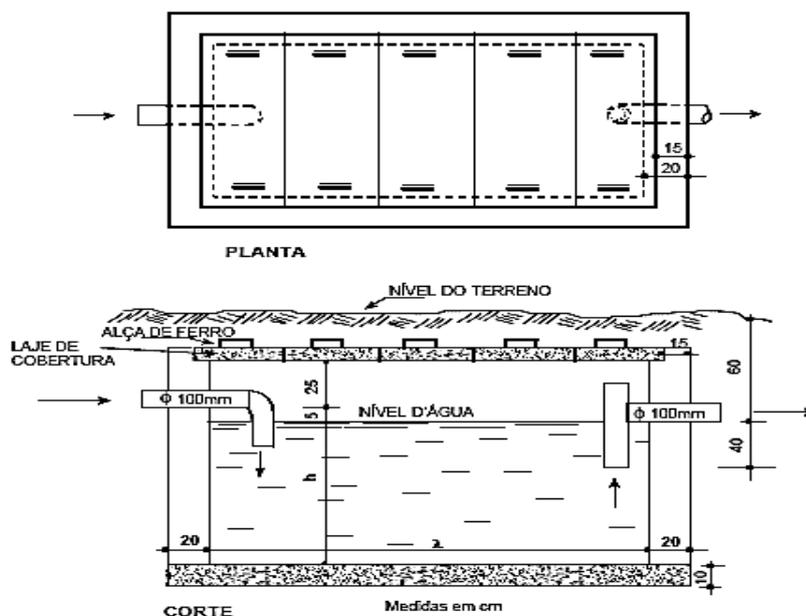


Figura 5. Vista em planta e corte de uma fossa séptica prismática retangular. Fonte: Quimilab (2008).

No esquema da Figura 5 não está indicado o tubo de ventilação, mas que deve ser instalado.

Uma fossa prismática retangular como a da Figura 5 para atender a 12 pessoas teria um volume total de 3.800L, com as seguintes dimensões internas: largura de 1,1m, comprimento de 2,3m e profundidade total de 1,5m. Já para 200 pessoas a fossa precisaria ter um volume total de 28.750L, com largura de 2,3m, comprimento de 5,0m e profundidade total de 2,5m. Com estas dimensões a construção da fossa já se torna mais difícil, principalmente pela sua grande profundidade, o que torna esta alternativa não recomendável para mais de 200 usuários.

Conforme mencionado, as fossas devem ser seguidas de outras unidades para a complementação do tratamento, podendo ser utilizados para tanto, filtros biológicos anaeróbios, sistemas de infiltração no solo (sumidouros, valas de infiltração), lagoas de estabilização, ou wetlands.

As Figuras 6 e 7 ilustram um sistema simples, composto por duas fossas em série seguidas de um filtro biológico e feito com caixas de fibrocimento de 1.000L, proposto pela EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária para uso em zonas rurais (EMBRAPA, 2002).

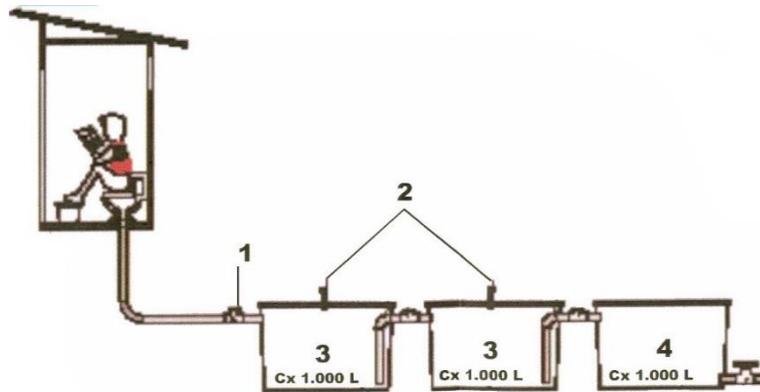


Figura 6. Esquema de um sistema de fossas e filtro de caixas de fibrocimento.  
Fonte: EMBRAPA (2002).



Figura 7. Vista do sistema de fossas e filtro de fibrocimento já implantado.  
Fonte: EMBRAPA (2002).

Notar nas fossas mostradas nas Figuras 6 e 7 que os tubos de ventilação, que podem ser mais elevados em relação ao nível do solo, para dissipar os maus odores.

As fossas não necessitam energia elétrica em sua operação, exigem pouca área, requerem pouca movimentação de terra e possuem estrutura relativamente leve. Sua operação é simples e pode ser efetuada pela própria comunidade local, sendo que a retirada anual do lodo pode ser feita também por caminhões limpa-fossa, autônomos ou de pequenas empresas costumam prestar esse tipo de serviço nas periferias das cidades e mesmo na zona rural (SALVADOR, 2013).

### **Filtro Anaeróbio**

O filtro biológico anaeróbio é considerado um tratamento em grau primário, com remoção de DBO em torno de 60 % e onde ocorre a digestão anaeróbia do esgoto e a sedimentação do lodo produzido, que sofre o mesmo processo.

O filtro é composto de um tanque de seção retangular ou circular, contendo um leito fixo submerso no qual fixam-se bactérias formando um biofilme, responsável pela degradação do esgoto. Nos interstícios do leito existem ainda flocos de bactérias que contribuem também para o processo. Ele geralmente tem fluxo ascendente, sendo que afluente adentra pela sua parte inferior e o efluente é recolhido na parte superior, junto à superfície líquida, por meio de canaletas ou tubos perfurados. Embora menos comuns, existem também filtros com fluxo descendente. O filtro não deve tratar esgoto sanitário bruto, sob pena de sofrer obstrução e por isso, geralmente ele é precedido por uma fossa séptica, servindo como complementação ao tratamento efetuado por ela. No caso, o conjunto fossa-filtro pode resultar em uma remoção de DBO adequada, em torno de 80%, mas se faz necessário uma complementação do tratamento porque a remoção de nutrientes e de patógenos neste sistema ainda é baixa. Na Figuras 6 e 7 anteriores e na Figura 8 seguinte são ilustrados sistemas de fossa-filtro anaeróbio.

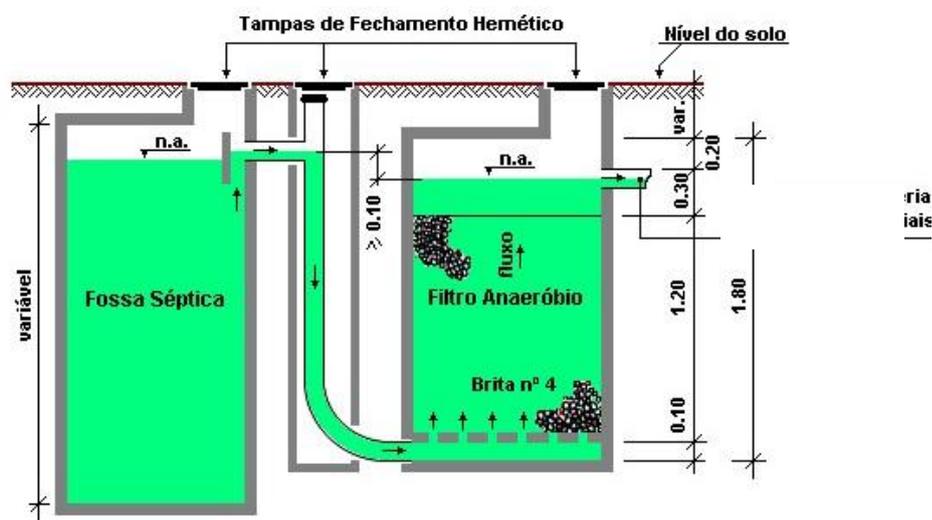


Figura 8. Corte esquemático longitudinal de um sistema fossa-filtro. Fonte: adaptado de ALPHA GV (s/d).

A complementação do tratamento pelo sistema fossa-filtro pode ser feita com sistemas de infiltração de esgotos no solo, lagoas de estabilização, ou *wetlands*. Somente em casos especiais e, assim mesmo, para sistemas de fossa-filtro de pequeno porte, deve ser feita a disposição de seus efluentes diretamente em corpos d'água. No caso, o corpo receptor não deve ser poluído a ponto de comprometer os usos que são feitos de suas águas.

O lodo formado no filtro é oriundo em sua maior parte do desprendimento do biofilme do leito e se sedimenta no seu fundo, em um poço, de onde é removido periodicamente, em intervalos de tempo similares aos da fossa séptica ou se necessário, inferiores.

Sendo um processo anaeróbio, o filtro não consome energia elétrica, tem construção e operação simples e barata, requer pouca área, demanda pouca movimentação de terra, mas utiliza estrutura mais pesada que a da fossa, devido ao peso do leito filtrante.

Um filtro para atender a 12 pessoas teria um volume total de 2.640L, podendo ser adotadas as seguintes dimensões internas: largura de 1,1m (mesma da fossa), comprimento de 1,6m e profundidade total de 1,5m. Para 200 pessoas teria um volume de 28.175L, com largura de 2,3m, comprimento de 3,5m e profundidade de 2,5m.

O filtro pode ser executado com mão-de-obra local, em alvenaria cintada ou concreto. Ele pode ser acoplado à fossa, utilizando a mesma laje de fundo, o que simplifica a sua construção.

O leito filtrante é feito de pedras (brita no. 4), peças cerâmicas ou material plástico, sendo que experiências com leitos de pequenos cilindros de bambu realizadas por Couto e Figueiredo (1993) e por Figueiredo *et al* (2000) obtiveram sucesso.

A produção de lodo, que já é estabilizado, é bastante baixa, mas o filtro liberara maus odores, problema que pode ser resolvido com a cobertura hermética do filtro, possibilitando então o armazenamento e o recolhimento dos gases que podem ser tratados ou dispersados na atmosfera, em uma altura adequada.

As Figuras 9 e 10 mostram cortes transversais e longitudinais de filtros biológicos anaeróbios de fluxo ascendente e descendente respectivamente.

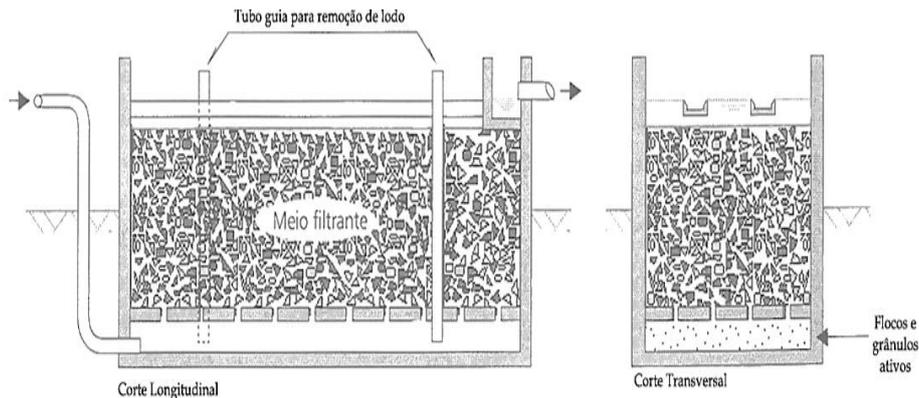


Figura 9. Cortes longitudinal e transversal de um filtro biológico anaeróbio de fluxo ascendente. Fonte: Campos e outros (1999).

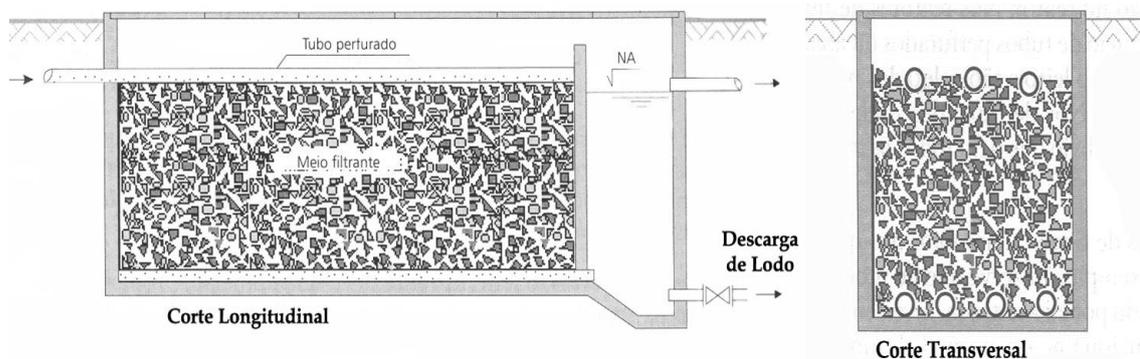


Figura 10. Cortes longitudinal e transversal de um filtro biológico anaeróbio de fluxo descendente. Fonte: Campos e outros (1999).

## Sistemas de Infiltração de Esgotos no Solo

### a) Sumidouros

Sumidouros ou poços absorventes se constituem numa forma de infiltração subsuperficial, por meio da qual efluentes primários, principalmente de fossas sépticas e de filtro anaeróbios são dispostos no solo.

Eles costumam ser profundos (de 2 a 8m), desde que não haja o comprometimento do lençol freático. Para tanto, o nível do fundo do sumidouro deve estar pelo menos a 1,5 m acima do nível máximo do lençol, condição prevalente no final do período de chuvas (março - abril). Os sumidouros devem também manter uma distância de no mínimo 20m dos poços próximos,

principalmente dos poços rasos freáticos, a fim de não contaminar as suas águas devido à percolação horizontal do esgoto infiltrado.

Os sumidouros são geralmente escavados manualmente e têm suas paredes laterais revestidas de tijolos sem rejunte ou de anéis de concreto perfurado, a fim de promover a infiltração de forma homogênea. O fundo do sumidouro é revestido com uma camada de brita 1. Geralmente os sumidouros têm área circular, mas podem ser quadradas ou retangulares. Devem ser construídos sempre dois ou mais sumidouros, operando em paralelo.

O sumidouro é considerado tratamento secundário, mas pode atingir eficiências compatíveis com o tratamento terciário, pois no solo ocorrem elevadas remoções de nutrientes, principalmente de fósforo, superior a 90 % e de coliformes fecais, superior a 99,99 %.

Para o projeto e construção de sumidouros deve-se fazer previamente ensaios de infiltração no solo, seguindo as disposições das normas NBR 7229/1993 (ABNT, 1993) e NBR 13969/1997 (ABNT, 1997). Os sumidouros são empregados para solos permeáveis, com altos coeficientes de permeabilidade e lençol freático profundo.

O sumidouro atende a poucos usuários, sendo recomendado para unidades unifamiliares, grupos de residências, prédios e pequenas comunidades. Não demanda energia elétrica, requer muito pouca área, demanda escavações mais profundas, provoca pouca movimentação de terra, depende do nível do lençol freático, utiliza muito pouca estrutura, não produz lodo nem maus odores, exige muito pouca operação e manutenção. Porém, é de suma importância que se faça a limpeza da fossa que precede o sumidouro, para se evitar o entupimento do mesmo (SALVADOR, 2013).

Visando atender a 12 pessoas, seriam empregados 2 sumidouros funcionando em paralelo, cada um com as seguintes dimensões: diâmetro de 1,3m, profundidade total de 3,5m, com lâmina d'água de 3,0m. Para 200 pessoas seriam 4 sumidouros em paralelo, com diâmetro de 4,6m, profundidade de 7,5m e lâmina d'água de 7,0m.

A Figura 11 a seguir ilustra dois tipos de sumidouro, com os respectivos detalhes.

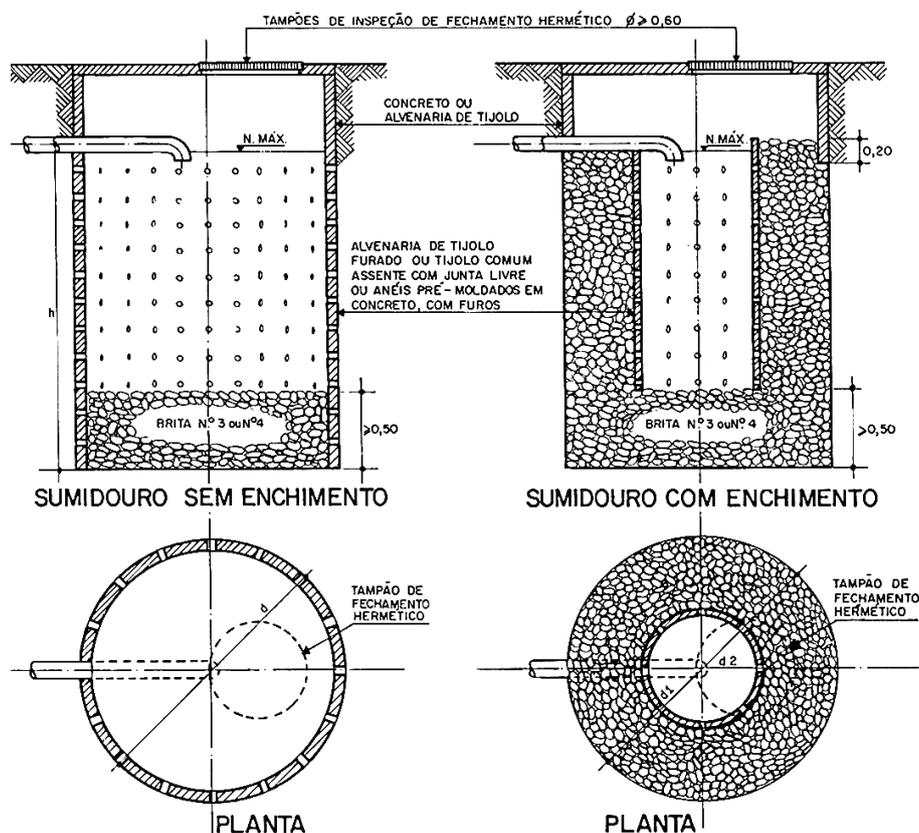


Figura 11. Vistas de dois tipos de sumidouros. Fonte: CETESB (1989).

## b) Valas/ campos de infiltração

As valas de infiltração são também uma forma de disposição subsuperficial ou infiltração de esgotos pré-tratados no solo, sendo empregadas como alternativa aos sumidouros, para casos de solos menos permeáveis ou de lençol freático raso.

As valas têm geralmente profundidade entre 0,7 e 1,2m, largura de 0,5 a 1,0m e comprimento de no máximo 30m. A exemplo dos sumidouros, o fundo das valas deve estar pelo menos 1,5m acima do nível máximo do lençol freático e elas devem guardar uma distância mínima de 20m do poço mais próximo.

Elas são compostas de tubos drenantes envolvidos em leito de brita, sobre o qual é colocado papel alcatroado, lona plástica ou manta geotêxtil para posterior reaterro, conforme mostrado na Figura 12.

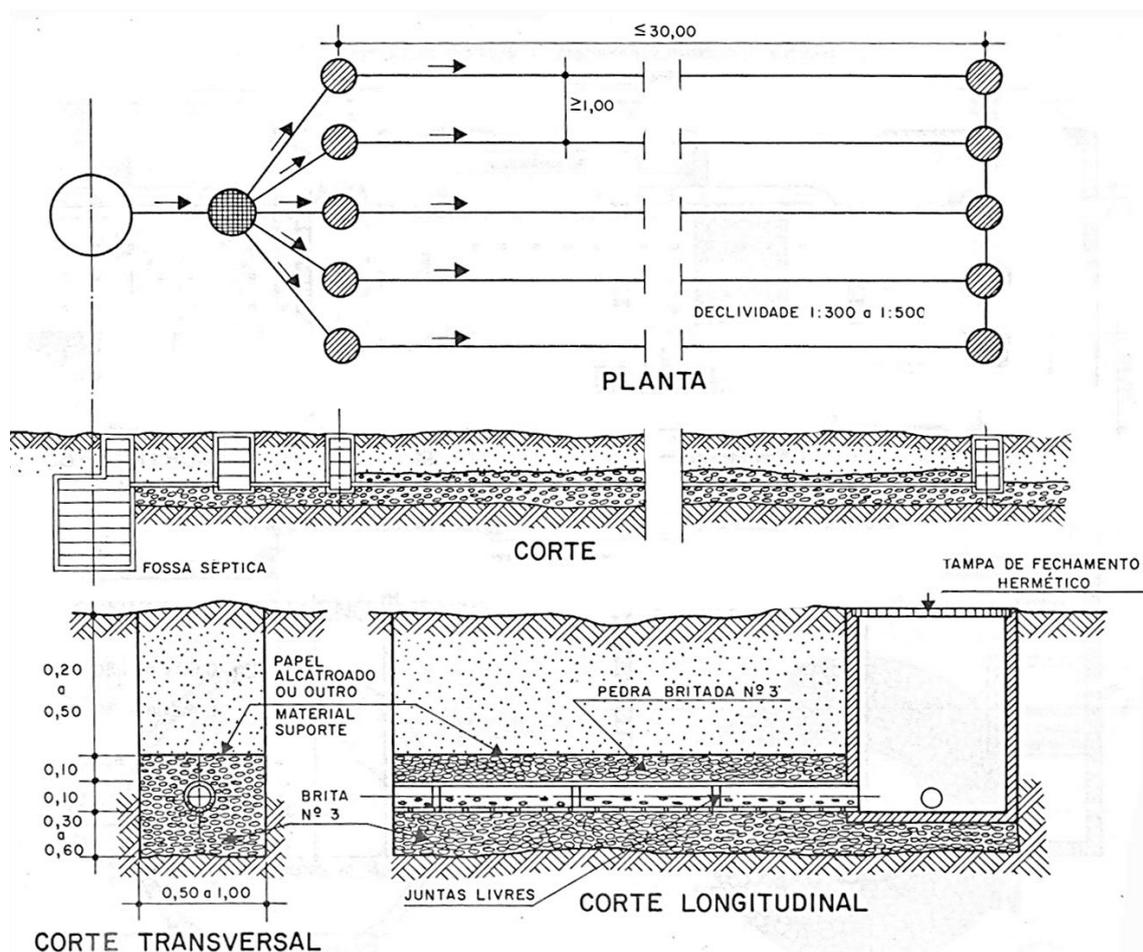


Figura 12. Campo de infiltração e respectivas valas e cortes de uma vala. Fonte: CETESB (1989).

Um campo de infiltração é formado por um conjunto de valas paralelas, espaçadas de 1,0 m, sendo possível fazer o aproveitamento do mesmo como área de lazer - jardim gramado, campo de futebol etc. O projeto e a execução de valas de infiltração devem seguir também as disposições das normas NBR 7.229/1993 (ABNT,1993) e NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997).

As valas de infiltração são consideradas tratamento secundário, com eficiências similares ou mesmo superiores às dos sumidouros para a remoção de nutrientes.

As valas atendem a poucos usuários, não demandam energia elétrica, possuem requisito médio em termos de área, não demandam escavações profundas, provocam pouca movimentação de

terra, dependem do nível freático, não utilizam estruturas, não produzem lodo nem maus odores, podem ser executadas pela própria comunidade local e exigem um nível muito baixo de operação e de manutenção. Como os sumidouros, as valas requerem a limpeza da fossa que as precedem, para não sofrerem obstrução.

Para atender a 12 pessoas seria necessário um campo de infiltração de área total de 86,0m<sup>2</sup>, com largura de 8,6m, comprimento de 10,0m e composto de 6 valas, cada uma com 0,6m de largura, comprimento de 10,0m, profundidade de 0,80m e espaçadas 1,0m umas das outras. Para 200 pessoas, seriam 2 campos de infiltração de 570,0m<sup>2</sup> cada um, com largura de 19,0m, comprimento de 30,0m, sendo 10 valas por campo, cada uma com 1,0m de largura, comprimento de 30,0m, profundidade de 0,80m e espaçamento de 1,0m entre elas.

## **Lagoas de Estabilização**

As lagoas de estabilização são classificadas em anaeróbias, facultativas e de maturação. As lagoas anaeróbias não são objeto deste trabalho por não serem totalmente apropriadas para assentamentos rurais, tendo em vista produzirem maus odores que não podem ser controlados, uma vez que lagoas são ambientes abertos. Por isso, a CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo determina que lagoas anaeróbias devem ficar no mínimo 1000m afastadas do perímetro urbano, o que deveria ser também adotado para os assentamentos rurais, praticamente inviabilizando então a sua utilização.

### **a) Lagoa facultativa**

A lagoa facultativa é uma solução multifamiliar, para atender a uma população maior do que as alternativas de tratamento apresentados anteriormente. É o mais simples e sustentável dos tratamentos secundários, onde ocorrem fundamentalmente quatro fenômenos:

- Sedimentação de matéria orgânica formando lodo;
- Decomposição anaeróbia do lodo do fundo e do esgoto na região inferior da lagoa;
- Decomposição aeróbia do esgoto na região superior da lagoa;
- Fotossíntese na região superior da lagoa.

Na região superior da lagoa, as bactérias decompondo aerobiamente o esgoto produzem gás carbônico e nutrientes, que são aproveitados pelas algas na realização da fotossíntese, liberando oxigênio a ser usado pelas bactérias na decomposição do esgoto, fechando assim um ciclo simbiótico que permite um tratamento aeróbio natural, sem a necessidade de introduzir artificialmente oxigênio no processo.

Na região intermediária da lagoa, onde a penetração da luz não ocorre o dia todo, existem bactérias chamadas facultativas, por terem metabolismo duplo: aeróbio quando há fotossíntese e oxigênio disponível e anaeróbio, quando não há fotossíntese nem oxigênio; daí a denominação de lagoa facultativa. A aerobiose na região superior evita que esse tipo de lagoa produza maus odores, devido principalmente à oxidação do gás sulfídrico.

A lagoa facultativa é relativamente eficiente, removendo de 70 a 90% da DBO, de 30 a 50% do nitrogênio total, de 20 a 60% do fósforo total e em até 99% os coliformes fecais, o que permite que na maioria dos casos seu efluente possa ser lançado diretamente nos corpos d'água.

Podem ser colocados na lagoa peixes mais resistentes às baixas concentrações de Oxigênio Dissolvido, como a tilápia comum; porém ela não deve ser destinada ao consumo humano. Os efluentes das lagoas podem ser reusados para irrigação de plantas arbóreas, não por aspersão e tomando-se os cuidados para que as pessoas não tenham contato com os mesmos, que ainda contém elevado número de Coliformes Fecais e de patógenos.

A produção de lodo na lagoa facultativa é praticamente desprezível; ela não requer escavações profundas, mas exige muita área e grande movimentação de terra; não demanda estruturas e nem

energia elétrica. Devido à movimentação de terra a execução tem de ser feita por equipamentos de terraplenagem, o que não permite então a sua autoconstrução pela comunidade local.

A lagoa tem geralmente o formato retangular e profundidade entre 1,5 e 2,0m sendo de construção simples, em terra, e impermeabilizada internamente com argila compactada e/ou manta plástica. A operação e a manutenção são relativamente simples, dispensando mão de obra qualificada, podendo ser, portanto, realizadas pela própria comunidade local.

Uma lagoa para atender a 200 pessoas ocuparia uma área de 1.716m<sup>2</sup>, incluindo o coroamento e os taludes externos, com as seguintes dimensões internas: largura de 19,0m, comprimento de 38,0m e profundidade total de 2,0m, com 1,5m de lâmina d'água. No caso, foram consideradas condições climáticas do Estado de São Paulo.

As Figuras 13 e 14 seguintes mostram respectivamente imagens de lagoas facultativas em construção e em operação.



Figura 13. Lagoas facultativas em construção. Fonte: AVESUY (2009) e Geosynthetica (2016).



Figura 14. Lagoas facultativas em operação. Fonte: SAMAE (2012) e Geosynthetica (2016).

### **b) Lagoa de maturação**

A lagoa de maturação é um sistema simples e natural de polimento e desinfecção de efluentes, onde ocorrem basicamente três processos: decomposição aeróbia da matéria orgânica residual, remoção (morte) de coliformes e patógenos por decaimento no tempo e pela ação da radiação ultravioleta.

A exemplo das lagoas facultativas, as lagoas de maturação são uma alternativa multifamiliar. Possuem grande volume e área, sendo sua profundidade pequena, em torno de 80cm, de modo a permitir maior aproveitamento da luz e eficiência da radiação ultravioleta.

As lagoas de maturação possuem baixo custo e são construídas de forma similar à das lagoas facultativas; não demandam escavações profundas, mas produzem grande movimentação de terra. São de operação e manutenção simples, sem necessidade de mão de obra qualificada; não requerem energia elétrica; não geram lodo nem maus odores.

Para atender a 200 pessoas uma lagoa de maturação ocuparia uma área de 2.139m<sup>2</sup>, incluindo o coroamento e os taludes externos, com as seguintes dimensões internas: largura de 19,0m, comprimento de 31,0m e profundidade total de 1,5m, com lâmina d'água de 1,0m.

Nas lagoas de maturação podem ser criados peixes e, dependendo da redução de coliformes, eles podem ser destinados para o consumo humano. Os efluentes das lagoas podem ser utilizados para irrigação de culturas e hortaliças, devendo-se, no entanto, não irrigar aquelas que são consumidas cruas.

A figura seguinte apresenta esquematicamente um sistema composto por lagoa facultativa e lagoas de maturação operando em série.

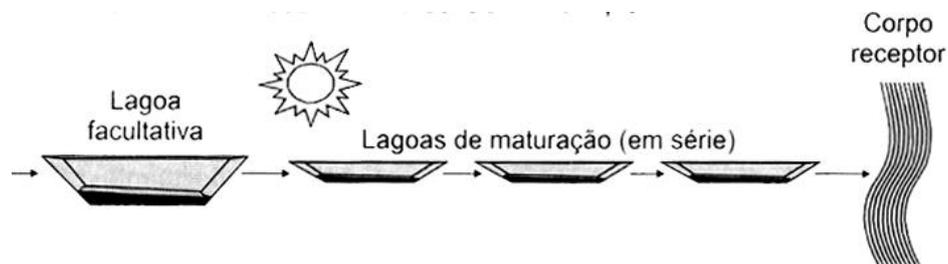


Figura 15. Sistema de lagoa facultativa e de lagoas de maturação em série. Fonte: modificado de Gonçalves e outros (2003).

### **Wetlands (Terras Úmidas)**

As wetlands são alagados ou brejos construídos e se constituem num ótimo sistema de tratamento e retenção de poluentes, por diversos processos: precipitação e filtração de sedimentos, absorção e adsorção de nutrientes, decomposição de matéria orgânica por microrganismos do solo e das raízes das plantas, nitrificação e desnitrificação (Figura 16). Além disso, as plantas aquáticas macrófitas que se desenvolvem nesse ecossistema promovem a aeração do meio, pela transferência de oxigênio através de suas raízes e rizomas.

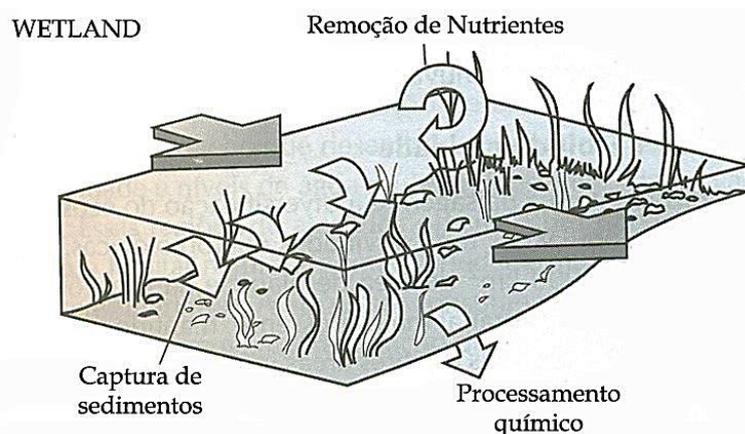


Figura 16. Esquema de funcionamento de uma wetland. Fonte: Chernicharo e outros (2001).

As wetlands podem ser de fluxo superficial ou subsuperficial; com fluxo horizontal ou vertical (ascendente ou descendente); de superfície líquida livre ou confinada; e com macrófitas aquáticas flutuantes, emergentes ou submersas.

As wetlands de fluxo superficial são bacias ou canais povoados com macrófitas, de fluxo horizontal, geralmente longos e estreitos para se evitar curtos-circuitos. Essas wetlands podem conter um leito de 20 a 50cm de altura, situado abaixo da superfície do esgoto a ser tratado, e que serve de substrato para macrófitas emergentes e/ou submersas. No caso de não haver leito, são utilizadas macrófitas flutuantes.

Nas wetlands de fluxo superficial a superfície líquida é sempre livre e pode ocorrer a produção de maus odores e a proliferação de insetos/ mosquitos, havendo conforme o caso, a necessidade de seu controle.

As wetlands de fluxo subsuperficial podem ter a superfície livre ou confinada, sendo dotadas obrigatoriamente de leito ou substrato de 30 a 80cm de altura, com macrófitas emergentes e/ou submersas, e através do qual o esgoto percola, sofrendo o tratamento. Desta forma, o leito funciona também como elemento filtrante. No caso de a superfície do esgoto ser livre, acima do leito, podem ser cultivadas também macrófitas flutuantes.

O fluxo subsuperficial pode ser descendente, com sistema de drenagem de fundo, e ascendente, com alimentação pelo fundo e sistema coletor de superfície. Neste segundo caso, se a superfície líquida for livre, o esgoto exposto já se encontra tratado, o que pode minimizar o problema de odores e de insetos/ mosquitos.

As plantas têm de ser constantemente manejadas e as mais comumente utilizadas em wetlands são:

- Flutuantes: *Eichornia crassipes* (popularmente conhecida como aguapé), *Salvinia molesta* (salvínea), *Sperrodela* (erva de pato);
- Emergentes: *Typha latifolia* (taboa); *Juncus* (junco); arroz;
- Submersas: *Isoetes lacustris*, *Elodea canadensis*.

As espécies submersas são menos utilizadas. Também já foram empregadas em WL gramíneas (braquiária), sendo que se pode utilizar sequencias de diferentes espécies ou mesmo sistemas combinados, com várias espécies misturadas.

As wetlands devem receber esgoto tratado em grau primário, de fossa ou de fossa-filtro anaeróbio, recebendo também efluente secundário de lagoa facultativa. Elas possuem boa eficiência de remoção de poluentes, sendo registrados até os seguintes valores: DBO (95%), sólidos suspensos (95%), nitrogênio total (70%), fósforo total (90%) e coliformes fecais (99,9%).

Os efluentes das lagoas também podem ser utilizados para irrigação de culturas e hortaliças devendo-se, porém, não irrigar aquelas que são consumidas cruas.

Do ponto de vista construtivo, as wetlands são relativamente simples, podendo ser construídas em terra ou alvenaria em terrenos relativamente planos, de declividade até 3%. As wetlands em terra devem ser impermeabilizadas com argila compactada e/ou manta plástica, a fim de se proteger o lençol freático. Geralmente elas possuem sistemas de distribuição e de coleta de efluente compostos de trincheiras de pedras (brita no. 1 a 4) ou de tubos de PVC perfurados.

Para o leito costumam ser utilizados os seguintes materiais: cascalho, brita (no. 1 a 4), pedrisco, areia, solo, ou mesmo resíduos orgânicos (palha de arroz, cascas de árvores).

Para atender a 12 pessoas uma wetland necessitaria de uma área de cerca de 32,0m<sup>2</sup>, largura de 4,0m, comprimento de 8,0m e profundidade total de 1,0m, com lâmina d'água variável, de 0,6m a 0,8m. Para 200 pessoas, a área necessária seria de 450,0m<sup>2</sup>, com largura de 15,0m, comprimento de 30,0m e profundidade total de 1,0m, com lâmina d'água variável, de 0,6 a 0,8m.

As Figuras seguintes mostram sistemas de wetlands. Pela sua simplicidade, as wetlands podem ser construídas e operadas por integrantes da comunidade local.

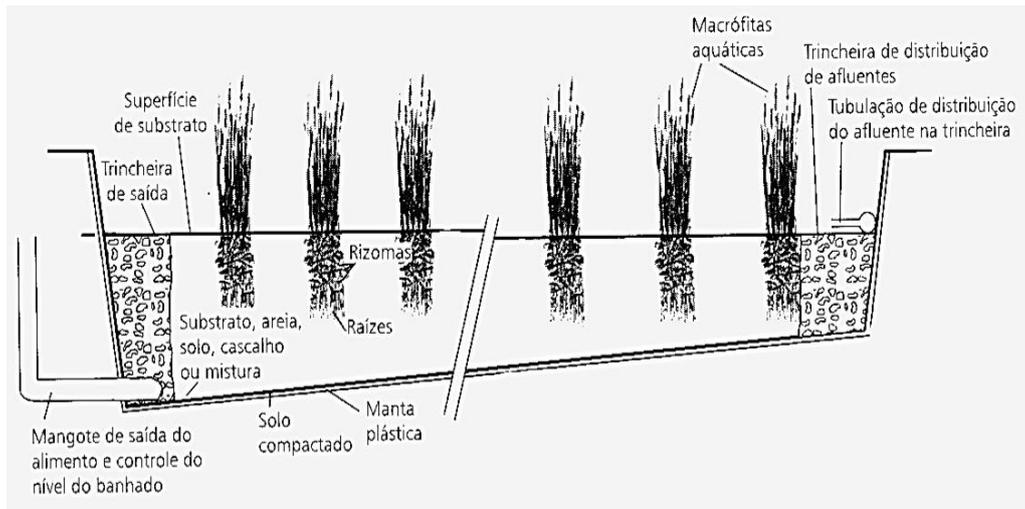


Figura 17. Sistema de wetlands construído em terra, de fluxo misto (descendente e horizontal). Fonte: Campos e outros (1999).



Figura 18. Wetlands experimentais em desenvolvimento. Fonte: Chemistry and Environment Institute (2008).



Figura 19. Vista de um sistema de wetlands operando em Staverton, Reino Unido. Fonte: VYMAZAL (2010).

## **Leitos de Secagem de Lodo**

Leitos de secagem são tanques a céu aberto onde ocorre a fase sólida do tratamento, com a desidratação do lodo, basicamente devido a dois fenômenos: evaporação e drenagem através de um sistema drenante no fundo dos leitos. A evaporação e, conseqüentemente, a performance da secagem, dependem fundamentalmente das condições climáticas - climas frios e úmidos não são recomendados para o emprego de leitos de secagem.

Os leitos de secagem são sistemas simples e de baixo custo de tratamento de lodo, não requerendo o uso de energia elétrica nem de produtos químicos; entretanto, demandam relativamente áreas grandes.

Normalmente são construídos três ou mais leitos, em alvenaria, de área retangular e profundidade variando de 0,5 a 0,8m, com lâmina d'água de 30 a 80cm. O fundo dos leitos é revestido de tijolos sem rejunte, assentados sobre uma camada de areia grossa, por onde percola a água.

Para atender a 12 pessoas seriam empregados 2 leitos de secagem com uma área total de 104,0m<sup>2</sup> e as seguintes dimensões para cada leito: largura de 4,0m, comprimento de 13,0m e profundidade total de 0,6m, com lâmina d'água de 0,3m. Para 200 pessoas seriam 4 leitos com área total de 1.312,0m<sup>2</sup> e as seguintes dimensões para cada leito: largura 8,0m, comprimento 41,0m e profundidade total de 0,8m, com lâmina d'água de 0,4m.

O lodo, pré-estabilizado, permanece nos leitos entre 15 e 30 dias até a sua secagem, dependendo das condições climáticas, quando então é removido manualmente com rodos e pás ou em ETES maiores, mecanicamente.

A desidratação é complementada pelo sistema de drenagem, composto da camada de areia e de camadas de pedrisco e brita com transição granulométrica, além de tubos drenantes sob a camada de brita, para escoar a água drenada. Entre as camadas de areia e de brita pode ser usada uma manta geotêxtil, dispensando a camada de pedrisco e a transição granulométrica. Vem sendo pesquisado ainda o uso da manta diretamente sobre a camada de brita, dispensando no caso, também as camadas de areia e de tijolos.

A água drenada, dependendo de sua qualidade, é geralmente descartada com o efluente final da ETE, mas em função do seu grau de poluição, deve ser retornada para o início do tratamento da fase líquida.

O lodo seco, com teor de sólidos variando de 30 a 40%, possui consistência de terra úmida e pode ser retirado em caçambas ou caminhões. Ele é ainda patogênico, contendo principalmente ovos e cistos de vermes, mas tomando-se os devidos cuidados de manuseio/ proteção para os empregados, ele pode ser utilizado para fins agrícolas como fonte de matéria orgânica para o solo, em plantações de espécies de maior porte (milho) ou arbóreas (café, eucaliptos).

A Figura 20 ilustra um sistema de leitos de secagem e a Figura 21 mostra o corte transversal de um leito, com detalhes do seu sistema de drenagem.

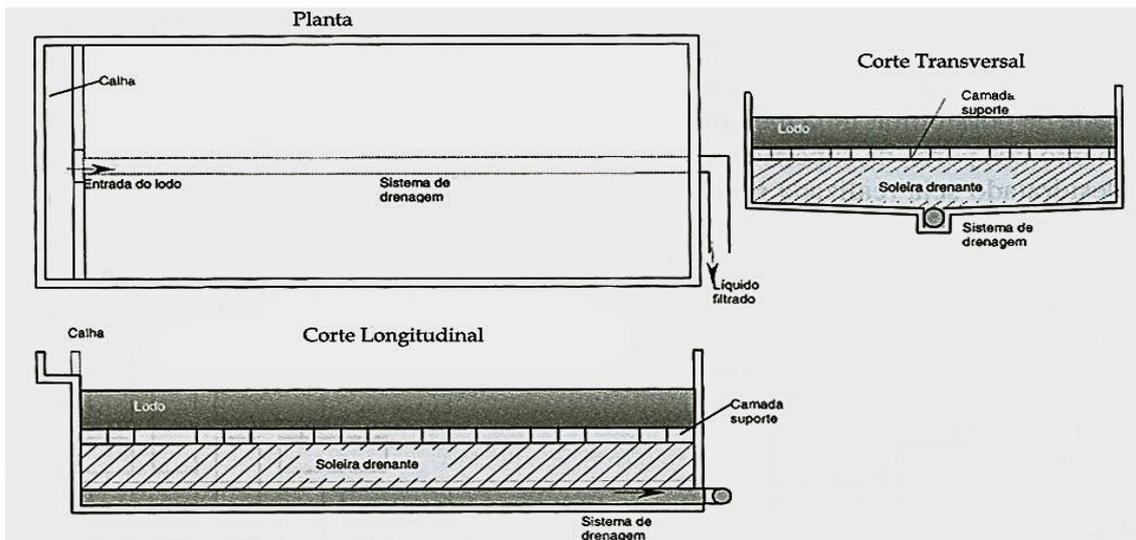


Figura 20. Esquema de um sistema de leitos de secagem. Fonte: Cleverson, Von Sperling e Fernandes (2001).

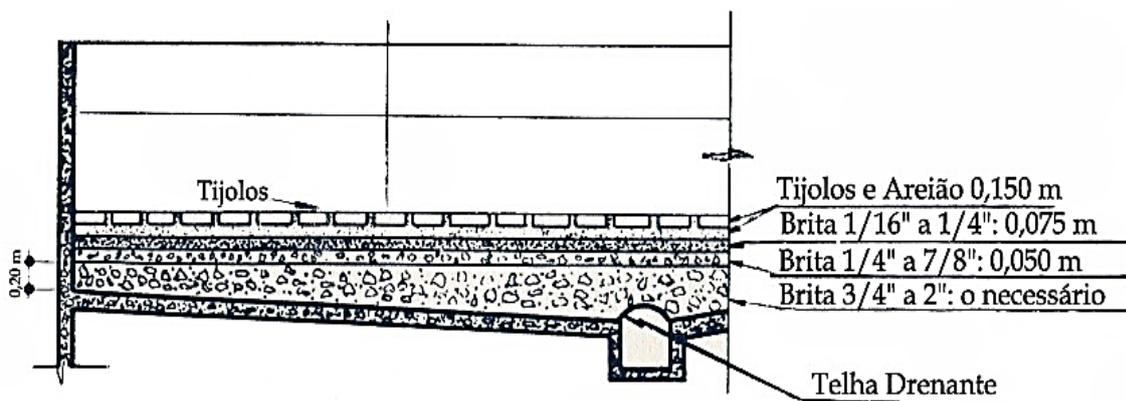


Figura 21. Corte transversal de um leito de secagem. Fonte: Pessoa e Jordão (1997).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista as diversas alternativas de tratamento apresentadas, fica uma questão – qual a melhor? Não existe em princípio uma melhor alternativa e a sua definição vai depender, segundo Salvador (2002) e Salvador (2013), de vários fatores: número de usuários atendidos, porte (vazão) e qualidade da água do corpo receptor, usos de sua água, área disponível, tipo de solo, profundidade do lençol freático etc. Portanto, a escolha de alternativas deve ser feita mediante uma análise prévia das opções disponíveis (SALVADOR, 2013).

Para poucos usuários, uma casa ou um pequeno grupo de casas, a opção recomendada é a fossa séptica e sistemas de infiltração no solo. Caso não seja possível a infiltração, pode-se empregar a fossa ou o sistema fossa-filtro anaeróbico seguidos de uma pequena wetland. Neste caso, a disposição do esgoto tratado pode ser em corpo d'água ou no solo (irrigação superficial).

No caso de um número maior de usuários a serem atendidos, possíveis alternativas seriam lagoa facultativa seguida de lagoa de maturação ou de wetlands, com posterior disposição no corpo receptor ou no solo.

Quando forem gerados lodos, a alternativa para o seu tratamento será sempre leitos de secagem, independente do porte da população atendida.

De qualquer modo, reitera-se a necessidade da análise de alternativas, a ser feita com embasamento técnico e econômico e, sobretudo, bom senso. Maiores detalhes podem ser vistos em Salvador (20013).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229/1993: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro, ABNT, 1993.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969/1997: Tanques sépticos - unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, ABNT, 1997.

ALPHA GV – Desentupidora. **Sistema fossa – filtro anaeróbio**. Cotia, SP, ALPHA GV s/d. (Disponível em: [classiwebgratis.com.br/70/51053/fossa-e-filtro-anaerobio-construcao-recuperacao-sp.html](http://classiwebgratis.com.br/70/51053/fossa-e-filtro-anaerobio-construcao-recuperacao-sp.html); acessado em 02/06/2016).

AVESUY Projetos Ambientais. **Lagoa de dejetos**. Xanxerê, SC, 2009. (Disponível em: [avesuy.com.br/index.php/dejetos](http://avesuy.com.br/index.php/dejetos); acessado em 02/06/2016).

CAMPOS, J. R. e outros. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro, PROSAB/FINEP/ABES, 1999. 464 p.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo, CETESB, 1989. 36 p.

CHEMISTRY AND ENVIRONMENT INSTITUTE. **Vertical subsurface flow constructed wetland**. Turkey, Training and Demonstration Centers, 2008. (Disponível em: [athene.geo.univie.ac.at/pucher/gallery/view\\_photo.php?set\\_albumName=album07&id=DSCF0406](http://athene.geo.univie.ac.at/pucher/gallery/view_photo.php?set_albumName=album07&id=DSCF0406); acessado em 03/06/2016).

CHERNICHARO, C. A. L. e outros. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte, PROSAB/FINEP, 2001. 544 p.

CLEVERSON, V. A.; VON SPERLING, M. V.; FERNANDES, F. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias - volume 6: lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte, DESA/UFMG, 2001. 484 p.

COUTO, J. L. V. **Risco de acidentes na zona rural**. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004. (Disponível em: [ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/esg3.htm](http://ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/esg3.htm); acessado em 03/06/2016).

COUTO, L. C. C.; FIGUEIREDO, R. F. **Filtro anaeróbio com bambu para tratamento de esgotos domésticos**. In: XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, La Habana, Cuba. Anais do XXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1993. v. 2. p. 329-340.

EMBRAPA Instrumentação. **Saneamento básico para a zona rural: fossa séptica biodigestora**. São Carlos, EMBRAPA, 2002. 6 p.

FERREIRA, C. W. S. **Avaliação dos Aspectos Técnicos e Operacionais do Sistema Condominial da Mangueira** (Dissertação de Mestrado). Recife, Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil, 2003.

FIGUEIREDO, R. F. *et al.* **Tratamento de esgoto sanitário por filtro anaeróbio utilizando o bambu como meio suporte: partida do sistema**. In: IX SILUBESA - Simpósio Luso

Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Seguro, BA. Anais do IX Silubesa, 2000. v. III-08. p. 1171-1176.

GEOSYNTHETICA. **Caso de obra – revestimento de lagoas de estação de tratamento de esgoto**, 2016. (Disponível em: [geosynthetica.net.br/caso-de-obra-revestimento-de-lagoas-de-estacao-de-tratamento-de-esgoto/](http://geosynthetica.net.br/caso-de-obra-revestimento-de-lagoas-de-estacao-de-tratamento-de-esgoto/); acessado em 03/06/2016).

GONÇALVES, R. F. e outros. **Desinfecção de efluentes sanitários**. Vitória, PROSAB/ABES, 2003. 438 p.

LOBO, L. **Saneamento básico: em busca da universalização**. Luiz Lobo sp. Brasília, Ed. do Autor, 2003. 228p.

MENDONÇA, S. R.; MENDONÇA, L. C. **Sistemas sustentáveis de esgotos**. São Paulo, Ed. Edgard Blücher, 2016. 346p.

PESSÔA, C. A.; JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgotos domésticos**. Rio de Janeiro, ABES, 1997. 534 p.

QUIMILAB - Produtos de Química Fina Ltda. **Manual de esgotamento sanitário**, 2008. (Disponível em: [quimLab.com.br/PDF-A/Manual%20de%20Esgotamento%20Sanit%Elrio.pdf](http://quimLab.com.br/PDF-A/Manual%20de%20Esgotamento%20Sanit%Elrio.pdf); acessado em 07/04/2013).

RISSOLI, C. A. *et al.* **Sistemas condominiais de esgotamento sanitário – uma visão geral do processo**. Brasília, CAESB, 2011. 72 p.

SALVADOR, N. N. B. Componentes e fatores do meio ambiente físico que influenciam ou condicionam alternativas de tratamento de esgotos sanitários. In: POMPEU, P. F. & BRAGA, R. (Org.). **Perspectivas de gestão ambiental em cidades médias**. Rio Claro, Laboratório de Planejamento Municipal/UNESP, 2002. p. 67-85.

SALVADOR, N. N. B. **Alternativas de tratamento de esgotos sanitários**. São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Civil, 2013. 159 p.

SAMAE - Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. **Estação de tratamento de esgoto em plena operação**. Santa Cecília do Pavão, PR, 2012. (Disponível em: [samaescp.com.br/noticias\\_detalhes\\_253.html](http://samaescp.com.br/noticias_detalhes_253.html); acessado em 03/06/2016).

SANTIAGO, A. F. **Sistema condominial de coleta de esgoto e tratamento em decanto-digestor seguido de alagados construídos. Estudo de caso: Município de Nova Redenção-BA** (Dissertação de Mestrado). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos - USP, 2008.

SANTORO, C. E. M.; FERNANDES, A.; SALVADOR, N. N. B. **Aspectos tecnológicos e econômicos de redes de esgotos não convencionais**. In: 2o. Concurso Nacional de Tecnologias Apropriadas - Saneamento Básico, 1984, Brasília. Anais do 2o. Concurso Nacional de Tecnologias Apropriadas - Saneamento Básico, v. 1. Brasília, POS/CNPq, 1984.

VYMAZAL, J. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment**. *Water*, 2010, 2(3), p. 530-549.