

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE TANQUES SÉPTICOS – LODO

MANUAL DE BOAS PRÁTICAS E DISPOSIÇÃO DO
LODO ACUMULADO EM FILTROS PLANTADOS COM
MACRÓFITAS E DESINFECÇÃO POR PROCESSO TÉRMICO



ALIMENTO



NUTRIENTES



*Fechando
o ciclo entre o
saneamento e
a agricultura*



Fundação Nacional de Saúde

Fundação Nacional de Saúde

**Operação e Manutenção de
Tanques Sépticos – Lodo**

**Manual de boas práticas e disposição do
lodo acumulado em filtros plantados com
macrófitas e desinfecção por processo térmico**

Brasília, 2014



Esta obra é disponibilizada nos termos da Licença Creative Commons – Atribuição – Não Comercial – Compartilhamento pela mesma licença 4.0 Internacional. É permitida a reprodução parcial ou total desta obra, desde que citada a fonte.

A coleção institucional do Ministério da Saúde pode ser acessada, na íntegra, na Biblioteca Virtual em Saúde do Ministério da Saúde: <www.saude.gov.br/bvs>.

Tiragem: 1ª edição – 2014 – 3.000 exemplares

Elaboração, distribuição e informações:

MINISTÉRIO DA SAÚDE

Fundação Nacional de Saúde

Departamento de Engenharia de Saúde Pública (Densp)

Coordenação-Geral de Cooperação Técnica em Saneamento (Cgcot)

SAS Quadra 4, Bloco N, 6º andar, Ala sul

CEP: 70070-040 – Brasília/DF

Tel.: (61) 3314-6244

Home page: <http://www.funasa.gov.br>

Organizadores:

Maria Elisa Magi

Luiz Sérgio Philippi

Carla Suntti

Odinei Fogolari

Joceli Gorresen Zaguni

Este manual é um dos produtos de pesquisa “Alternativas de gerenciamento seguro de lodo de esgoto sob a ótica do saneamento descentralizado”, desenvolvida com recursos do Programa de Pesquisa em Saúde e Saneamento da Funasa

Editor:

Coordenação de Comunicação Social (Coesc/GabPr/Funasa/MS)

Divisão de Editoração e Mídias de Rede (Diedi)

SAS Quadra 4, Bloco N, 2º andar, Ala norte

CEP: 70.070-040 – Brasília/DF

Impresso no Brasil / **Printed in Brazil**

Ficha Catalográfica

Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde.

Operação e manutenção de tanques sépticos-lodo : manual de boas práticas e disposição do lodo acumulado em filtros plantados com macrófitas e desinfecção por processo térmico / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 2014.

32 p.

1. Lodos. 2. Tratamento de lodos. III. Tanques sépticos. I. Título. II. Série.

CDU 614.3

Sumário

Apresentação	5
1 Considerações iniciais	7
2 Tanques sépticos – características e funcionamento	9
2.1 Lodo – características e riscos associados	10
3 Desaguamento de lodo em filtros plantados com macrófitas	15
3.1 Princípios de funcionamento	15
3.2 Componentes dos filtros plantados para tratamento de lodo	17
Material filtrante	17
Sistema de drenagem do líquido percolado	18
Sistema de ventilação	18
Macrófitas	18
3.3 Indicativos de dimensionamento, operação e manutenção	19
4 Desinfecção de lodo por processo térmico	21
4.1 Princípios de funcionamento	21
4.2 Componentes	22
Tanque de aquecimento	22
Serpentina (trocador de calor)	23
Coletores solares	23
Bomba automática	24
Monitoramento da temperatura do lodo	25
Tanque de armazenamento	26
4.3 Operação e monitoramento	26
4.4 Controle pós-tratamento	28
5 Considerações finais	29
Referências bibliográficas	31



Apresentação

Este material bibliográfico “Operação e Manutenção de tanque sépticos – Lodo”, manual de boas práticas e disposição do lodo acumulado em filtros plantados com macrófitas e desinfecção de lodo por processo térmico, é um dos produtos finais do projeto de pesquisa “Alternativas de gerenciamento seguro de lodos de esgoto sob a ótica do saneamento descentralizado”, enquadrado na área temática “Esgotamento Sanitário”, linha de pesquisa “Esgoto – 1”, edital de convocação nº. 01/2007 do Ministério da Saúde – Fundação Nacional da Saúde (**Funasa**).

A pesquisa teve como instituição executora a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, representada pelo Grupo de Estudos em Saneamento Descentralizado – GESAD, vinculado ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

As atividades desenvolvidas durante a pesquisa, que serviram de embasamento para confecção deste manual, compreenderam um período de três anos, entre março de 2008 e março de 2011.

O manual visa apresentar as noções das boas práticas de operação e manutenção de tanques sépticos aplicados em escala descentralizada, com enfoque no tratamento do lodo em filtros plantados com macrófitas e a desinfecção do mesmo por via térmica, como processos individuais. Observa-se que o tratamento do lodo em filtros plantados é apresentado com resultados que já permitem a aplicação deste sistema em escala real, descentralizada. No entanto, a segunda tecnologia abordada apresenta um estudo preliminar para desinfecção de lodo em um processo térmico com aproveitamento da energia solar. Sobre este último sistema, apesar de muito promissor, ainda não se tem resultados conclusivos que permitam sua aplicação em escala real, sendo que o mesmo é apresentado aqui da forma como foi construído e operado nos testes experimentais, apenas com fins informativos.



1 Considerações iniciais

A visão predominante do saneamento, principalmente quando se refere à coleta e tratamento de esgoto, tem sido, há mais de um século, linear e centralizadora. A visão linear é dada pelo afastamento dos dejetos com sua posterior disposição final, e na maioria das vezes de forma centralizada. Esta concepção é conhecida como solução “fim de tubo”. Em décadas recentes, tem sido incorporada uma abordagem de valorização dos dejetos, buscando integrar aspectos de sustentabilidade aos processos de tratamento. Assim, desde os sistemas centralizados até os sistemas de saneamento ecológico (em escala descentralizada), tem sido objeto de aplicações visando a redução do consumo de água (a segregação de esgoto na origem e seu reuso, por exemplo) e a ciclagem dos nutrientes presentes no esgoto (aproveitamento da urina e fezes em banheiros secos segregadores, por exemplo).

Nesta pesquisa, a ênfase é dada ao gerenciamento do lodo em unidades descentralizadas, agregando abordagens que priorizem o seu aproveitamento.

Uma alternativa em discussão para o problema da disposição do lodo de esgoto é a reciclagem agrícola. O uso de lodo na agricultura possibilita a reciclagem de nutrientes, além de fornecer matéria orgânica para o condicionamento dos solos.

Embora os benefícios ambientais e agrícolas da reciclagem de lodo sejam consideráveis, o reuso deve ser realizado de forma segura. A estabilização e higienização do lodo antes da sua utilização são essenciais, pois agentes patogênicos como os ovos de helmintos, vírus e colônias de bactérias tendem a sedimentar com o esgoto e se concentrar no lodo. A matéria orgânica não estabilizada pode trazer problemas, como a geração de odores e sua atuação no condicionamento e enriquecimento dos solos pode não ser tão satisfatória.

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) criou a Resolução nº. 375, em 2006, que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto. Nesta resolução é estabelecido no Art. 3º que lodos gerados em sistemas de tratamento de esgoto, para terem aplicação agrícola, deverão ser submetidos a processo de redução de patógenos e da atratividade de vetores.

O Art. 11º da Resolução nº 375 estabelece requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto para uso agrícola. Os principais parâmetros a serem atendidos são níveis de substâncias inorgânicas como metais pesados, substâncias orgânicas tóxicas e de agentes patogênicos, principalmente coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, Salmonella e vírus.

Em escala descentralizada, o problema da contaminação do lodo com metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas não é tão relevante, tendo em vista que a fonte de geração do lodo é conhecida e pode ser mais bem gerenciada. O lodo gerado em tanques sépticos de origem doméstica geralmente possui baixa concentração destas substâncias. Nesta perspectiva, as questões a serem prioritariamente focadas são a estabilização da matéria orgânica e a remoção de micro-organismos patogênicos. São apresentadas neste manual as duas tecnologias estudadas, com foco nestas duas questões: a primeira os filtros plantados com macrófitas para estabilização da matéria orgânica e possível inativação de patógenos a longo prazo; e a segunda o processo térmico para inativação de patógenos a curto prazo.



2 Tanques sépticos – características e funcionamento

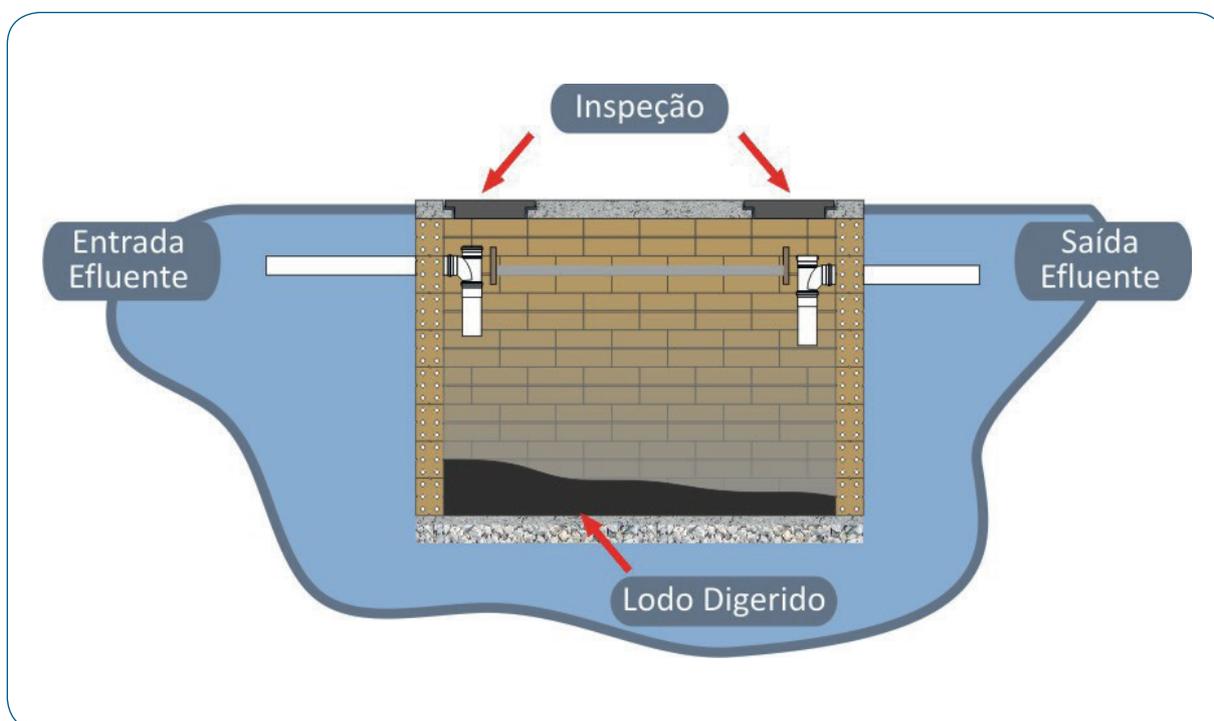
O tanque séptico (TS) é considerado um bom reator para o tratamento primário dos esgotos, se dimensionado e implantado adequadamente, além de ser de fácil operação, construção e baixo custo econômico.

Alguns critérios são considerados imprescindíveis para o bom funcionamento do TS, como a altura mínima interna de 1,20 m e o correto posicionamento dos septos de entrada e saída. Estes critérios permitem que o lodo acumule-se no interior do TS, estabelecendo o processo de sedimentação, e após algum tempo de funcionamento, o processo de digestão anaeróbia. Estes são os dois principais processos de tratamento dos esgotos em um TS, e observa-se sua relação direta com o lodo acumulado em seu interior.

O dimensionamento do tanque séptico deve ser realizado segundo as orientações da norma técnica brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas: **ABNT-NBR 7229/93**.

A figura abaixo apresenta um esquema com os principais componentes de um tanque séptico. Observa-se a conformação do lodo acumulado em seu interior e os dispositivos de entrada e saída (septos), comentados anteriormente.

Esquema com os principais componentes de um tanque séptico



2.1 Lodo – características e riscos associados

O lodo é um produto gerado em praticamente todos os sistemas de tratamento de esgotos.



O lodo acumulado em tanques sépticos, proveniente então de um processo anaeróbio, caracteriza-se por possuir uma mistura rica em matéria orgânica (>70%), inorgânica, nutrientes, micro-organismos e mais de 95% de água. Por suas características anaeróbias pode apresentar um odor desagradável.

No quadro abaixo são apresentadas as características do lodo de tanque séptico avaliada por diferentes autores em diversos países.

Características de lodos de tanques sépticos

PAÍSES	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS (MG.L ⁻¹)				
	ST	STV	DQO	N-NH ₄ ⁺	P total
EUA	1.132 - 130.475	353 - 71.402	1.500 - 703.000	3 - 116	20 - 760
França	36.570 - 46.400	25.810 - 31.570	2.502 - 3.873	-	-
Gana	11.900	-	7.800	-	-
Filipinas	72.000	-	37.000	-	-
Argentina	6.000 - 35.000	-	4.200	150	-
Tailândia	2.000 - 67.000	900 - 52.500	1.200 - 76.000	120 - 1.200	-
Brasil	40.829	24.809	47.732	2427	1.252

ST: Sólidos Totais; STV: Sólidos Totais Voláteis; DQO: Demanda Química de Oxigênio; N-NH₄⁺: Amônia; P total: Fósforo Total.

Uma das principais características do lodo de tanque séptico é a elevada variação na concentração dos diversos parâmetros apresentados, o que revela sua heterogeneidade. Isto é decorrente do tempo em que o lodo permanece no tanque, bem como a frequência de limpeza do mesmo. Quanto mais espaçados forem os intervalos de limpeza, mais digerido estará o lodo, revelando que a adoção de limpezas anuais tende a resultar na retirada de lodos que não atingiram a metanização completa, e, por conseguinte, ainda ricos em produtos acidogênicos, sendo necessária uma etapa posterior de depuração.

Não se recomenda a limpeza anual de tanques sépticos. Consequentemente, recomenda-se seu dimensionamento para retirada de lodo mínima, com intervalos de dois anos. Além de permitir a retirada de um lodo mais estabilizado, é economicamente mais vantajoso.

O lodo também apresenta uma concentração considerável de nutrientes, principalmente de fósforo, o que demonstra a sua potencialidade para reuso na agricultura.

As características do lodo também variam de acordo com os hábitos alimentares, higiênicos e culturais das pessoas que produzem os esgotos que serão tratados e, conseqüentemente, irão gerar o lodo.

Outro aspecto bastante importante é a elevada concentração de agentes patogênicos, sendo esta uma das principais questões associadas à sua necessidade de gerenciamento, tratamento e disposição final adequada. Dentre os agentes patogênicos comumente encontrados, destacam-se cinco grupos de micro-organismos: helmintos, protozoários, fungos, vírus e bactérias. No quadro abaixo são apresentados exemplos destes microrganismos e as doenças associadas.

Principais organismos patogênicos encontrados no lodo e doenças associadas

ORGANISMO	DOENÇA E PRINCIPAIS SINTOMAS
Grupo: Bactérias	
<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifoide
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenterite
<i>Leptospira spp</i>	Leptospirose
Grupo: Helmintos (Parasitas intestinais)	
<i>Ascaris lumbricóides</i>	Distúrbios digestivos, vômito, dor abdominal
<i>Taenia Solium</i>	Distúrbios digestivos, vômito, dor abdominal
<i>Giardia lamblia</i>	Diarreia, perda de peso
Grupo: Vírus	
Vírus da Hepatite A e B	Hepatite infecciosa
Rotavirus	Gastroenterite
Esterovirus	Meningite, encefalite, doenças respiratórias

A presença destes micro-organismos está relacionada às condições socioeconômicas e sanitárias da população, região geográfica e, principalmente, ao tipo de tratamento a que o lodo foi submetido. No entanto, observa-se que certas bactérias, como por exemplo *Escherichia coli*, são naturalmente encontradas em nosso trato intestinal, o que significa que um lodo contaminado com certos micro-organismos não indica necessariamente que as pessoas que produziram o esgoto estejam doentes. Esta indicação não se aplica a alguns patógenos como os helmintos, pois a presença destes parasitas indica uma “população” que sofre da parasitose respectiva.

Os agentes patogênicos presentes no lodo devem ser eliminados ou inativados, o que geralmente ocorre por meio de processos de desidratação, estabilização (digestão da matéria orgânica) e desinfecção, utilizando métodos físicos ou químicos. Destes processos observa-se que a estabilização normalmente é o menos eficiente na inativação dos patógenos. Normalmente é necessária a aplicação de processos combinados de estabilização e desinfecção propriamente dita para a produção de um lodo seguro para o reuso e/ou disposição final.

A Resolução nº. 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), além de definir critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos, também o classifica em duas categorias, de acordo com as concentrações máximas de agentes patogênicos em cada uma delas, como apresenta o quadro abaixo.

Classes de lodo de esgoto segundo a Resolução nº. 375/2006 do CONAMA

CLASSE DO LODO	CONCENTRAÇÃO DE AGENTES PATOGÊNICOS
A	Coliformes Termotolerantes < 10 ³ NMP/g de ST
	Ovos viáveis de helmintos < 0,25 ovo/g de ST
	Salmonella ausência em 10 g de ST
	Vírus < 0,25 UFP ou UFF/g de ST
B	Coliformes Termotolerantes < 10 ⁶ NMP/g de ST
	Ovos viáveis de helmintos < 10 ovos/g de ST

A Organização Mundial da Saúde estabeleceu diretrizes para a utilização de esgotos, excretas e águas cinza na agricultura (ver quadro abaixo). As orientações variam conforme a aplicação do dejetos e os níveis de segurança exigidos. Para helmintos, é indicado que o esgoto contenha menos de 1 ovo/litro em todas as aplicações de irrigação. O número de *Escherichia coli* pode ser usado como indicador para avaliar se o tratamento do efluente/lodo está ou não atendendo os níveis de redução de patógenos requeridos.

Concentração de *Escherichia coli* máxima permitida para o reuso de dejetos em várias categorias, segundo a Organização Mundial da Saúde

TIPO DE APLICAÇÃO AGRÍCOLA	CATEGORIA	REDUÇÃO DE PATÓGENOS REQUERIDA (UNID. LOG)	MONITORAMENTO (Nº DE <i>E.COLI</i> / 100 ML)	OBSERVAÇÕES
Sem restrições	A	4	$\leq 10^3$	Cultivo de raízes
	B	3	$\leq 10^4$	Cultivo de folhas
	C	2	$\leq 10^5$	Aplicação por gotejamento em culturas de alto crescimento
	D	4	$\leq 10^3$	Aplicação por gotejamento em culturas de baixo crescimento
	E	6 ou 7	$\leq 10^1$ ou $\leq 10^0$	Nível de verificação dependente de exigências de órgãos regulamentadores locais
Restrita	F	4	$\leq 10^4$	Agricultura com mão de obra intensiva
	G	3	$\leq 10^5$	Agricultura altamente mecanizada
	H	0,5	$\leq 10^6$	Remoção de patógenos de um tanque séptico

Obs.: As definições detalhadas de cada categoria podem ser encontradas no documento produzido pela OMS, referência 8.

Fonte: Organização Mundial da Saúde.

Muitas são as formas de tratamento do lodo de esgoto, os processos utilizados variam de acordo com a finalidade e exigências legais quanto ao produto final. As decisões devem ser tomadas levando em consideração os aspectos técnicos, econômicos e ambientais. São apresentadas na sequência os dois processos estudados, o primeiro com a função principal de estabilização, e o segundo com a função específica de desinfecção.

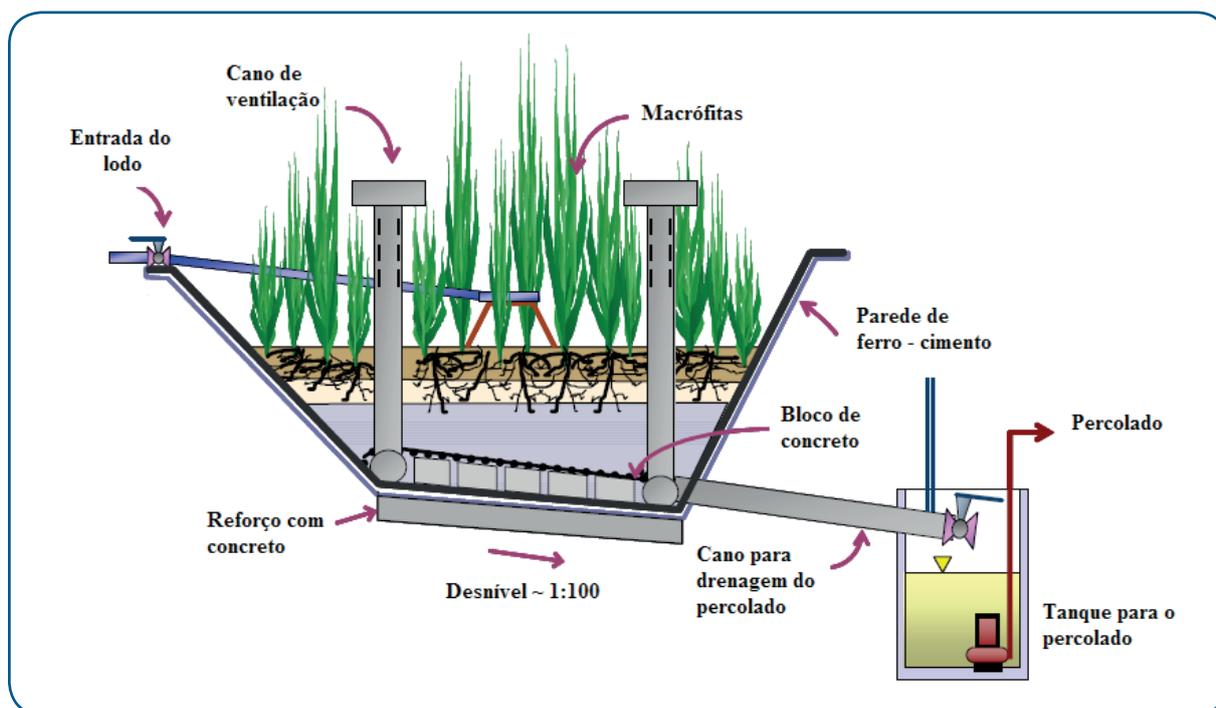


3 Desaguamento de lodo em filtros plantados com Macrófitas

3.1 Princípios de funcionamento

Os filtros plantados com macrófitas, utilizados para o tratamento do lodo, têm como objetivo proporcionar o seu desaguamento e mineralização de forma natural. O desaguamento consiste no processo de infiltração e percolação da parte líquida do lodo no meio filtrante (camada de areia e brita) juntamente com o processo de evaporação e evapotranspiração das plantas. A figura abaixo apresenta uma representação dos componentes de um filtro plantado com macrófitas para o tratamento do lodo.

Representação de um filtro plantado com macrófitas para o tratamento do lodo



O processo de desaguamento natural exige que o lodo esteja bem estabilizado, ou seja, bem digerido. O lançamento do lodo bruto (não digerido) nos filtros provocará apenas a desidratação da parte superficial do lodo. A parte do lodo que fica mais abaixo, entretanto, permanecerá em estágio de decomposição anaeróbia, podendo liberar fortes odores. Um exemplo de lodo não digerido é o lodo acumulado em um decantador primário, ou um lodo retirado prematuramente (com menos de um ano de funcionamento) de um tanque séptico ou outro reator anaeróbio.

Após a alimentação dos filtros com lodo, o meio filtrante proporciona o processo de separação da fase sólida e líquida por gravidade, o que produz um subproduto desidratado ou seco (lodo) e um produto líquido, denominado de líquido percolado.

O tratamento do lodo nos filtros plantados deve ser realizado em batelada, com um tempo de detenção hidráulica de seis dias. Cada período de seis dias pode ser chamado de ciclo de alimentação. O lodo deve ser espalhado sobre todo o leito do filtro durante a alimentação. A maneira mais conveniente de fazê-lo é por meio de bombeamento, no entanto quaisquer outros métodos podem ser adotados, desde que o lodo seja espalhado homogeneamente. Uma lâmina líquida de lodo é formada sobre o leito no período da alimentação, e esta lâmina permanecerá sobre o mesmo até que ocorra o desaguamento, o que pode ter a duração de horas a dias, dependendo das condições climáticas, idade do filtro, qualidade do lodo, estágio de tratamento, macrófitas e tipo de leito. Por esta razão, cada ciclo de alimentação deve ter um período mínimo de seis dias.

No ciclo seguinte o filtro é alimentado novamente com lodo, sendo este lançado sobre a parte sólida do lodo que ficou acumulada no leito do ciclo anterior. A adoção de um tempo mínimo de detenção hidráulica, além de permitir o desaguamento do lodo e o tratamento do líquido percolado, tem a função de evitar um estresse hídrico nas plantas.

A perda de água do lodo ou desaguamento, decorrentes da evapotranspiração e da percolação, proporciona rachaduras nas camadas de lodo acumulado no filtro, permitindo cada vez maiores perdas de água. A ação do vento sobre as plantas também ocasiona essas fissuras na camada do lodo acumulado, e como dito anteriormente, são benéficas ao processo. A figura abaixo apresenta o lodo acumulado no leito de um dos filtros plantados com macrófitas estudados após quatro meses de operação.

Lodo acumulado no leito de um filtro plantado com macrófitas após quatro meses de operação



A mineralização dos sólidos orgânicos presentes no lodo, ou seja, sua transformação em matéria inorgânica acontece com o decorrer das alimentações dos filtros. Com o processo de mineralização tem-se uma redução do volume do lodo acumulado no meio filtrante. Esta camada de lodo sobre os filtros aumenta até atingir determinada altura, já estabelecida no momento da construção do filtro.

A partir deste momento a alimentação é cessada com o objetivo de melhorar a secagem final do lodo e sua mineralização completa, que pode variar de um a dois meses até um ano. O produto final pode então ser retirado do filtro. Este produto, seco e estabilizado, pode ser aplicado no solo diretamente ou após um processo complementar de desinfecção, ser aplicado em solos cultiváveis. Destaca-se, no entanto, que no Brasil essa prática deve ser realizada de acordo com os critérios e procedimentos da Resolução nº. 375, de 2006, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Enquanto não se tem estudos mais conclusivos, recomenda-se a retirada do lodo do leito após um ano de cessada a alimentação. Acredita-se que este período seja suficiente, inclusive para a redução da carga de organismos patogênicos do lodo. No entanto, se a retirada e utilização do lodo for realizada antes deste período, recomenda-se seu pós-tratamento com outro processo de desinfecção, como citado anteriormente no texto.

Uma nova pesquisa será conduzida no ano de 2012, onde será avaliada a inativação de *Escherichia coli* e ovos de helmintos no lodo do leito durante este período de estabilização.

3.2 Componentes dos filtros plantados para tratamento de lodo

Os filtros plantados para tratamento de lodo apresentam uma constituição diferente daqueles dimensionados para tratamento de esgoto em vários aspectos. Estes filtros são constituídos por quatro componentes: material filtrante, sistema de drenagem do líquido percolado, sistema de ventilação e as macrófitas. Os itens são descritos a seguir.

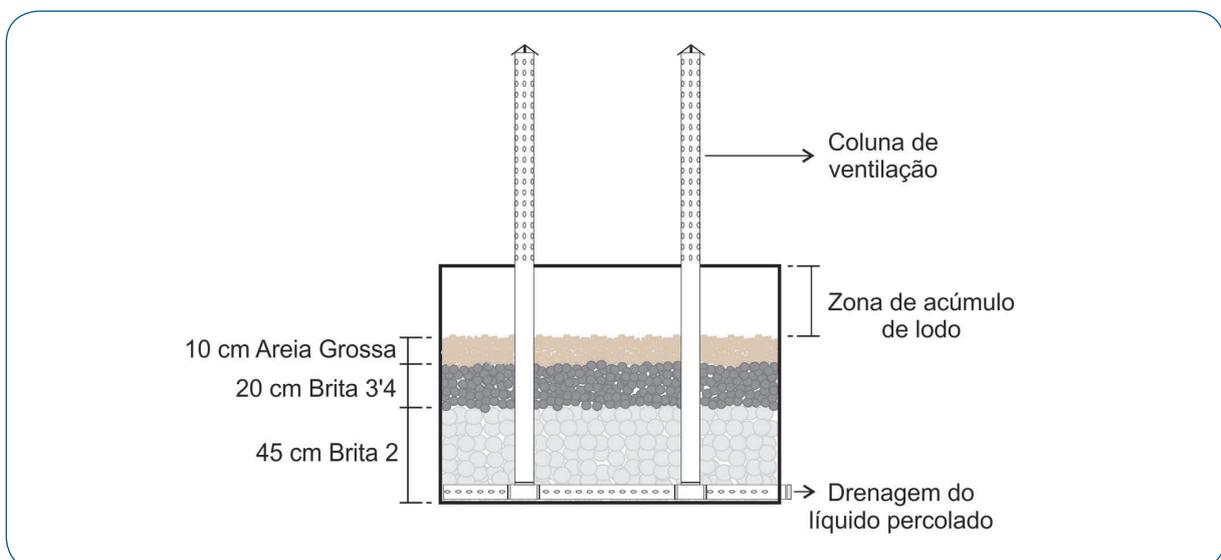
Material filtrante

O material filtrante possui duas funções principais: agir fisicamente na retenção dos sólidos do lodo e servir de suporte para o crescimento das bactérias responsáveis pelos processos de depuração biológica do lodo e líquido percolado.

Na construção dos filtros recomenda-se utilizar uma profundidade de 75 cm, sendo 45 cm de brita n.º 2 no fundo, 20 cm de brita n.º ¾ e 10 cm de areia grossa na parte superior. Antes do preenchimento dos filtros todo o material filtrante deve ser lavado para remoção do material pulverulento.

Na figura abaixo é apresentado um esquema da composição das camadas filtrantes para os filtros plantados.

Representação esquemática do filtro plantado com macrófitas para tratamento de lodo



Observa-se que deve ser prevista uma zona de acúmulo de lodo na superfície do filtro, que dependerá da projeção de sua vida útil. Para filtros que atendem uma pequena comunidade em escala descentralizada, recomenda-se que seja adotada uma altura aproximada de um metro para a zona de acúmulo de lodo. Sistemas em escala real em funcionamento na Tailândia há mais de sete anos apresentam uma altura de lodo acumulado em torno de 80 cm (KOOTTATEP, *et al* 2004).

Sistema de drenagem do líquido percolado



Este sistema é instalado no fundo do filtro, utilizando-se tubulações perfuradas na parte superior. O diâmetro das tubulações deve variar em função da dimensão do sistema, podendo ser utilizados diâmetros de 75 a 200 mm. Não se recomenda a utilização de diâmetros menores para evitar a obstrução do fluxo de saída do líquido percolado.

Sistema de ventilação



Um sistema de ventilação natural deve ser instalado nos filtros para melhorar as condições de oxigenação, permitindo o desenvolvimento de micro-organismos aeróbios para a decomposição do lodo e líquido percolado. O sistema de ventilação fica conectado com o sistema de drenagem do filtro, devendo ser elevado pelo menos um metro acima da altura das macrófitas.

Os outros mecanismos naturais de aeração do leito filtrante são a entrada de oxigênio por convecção e difusão, e a transferência pelas macrófitas.

Macrófitas

Nos filtros plantados para o tratamento de lodo as macrófitas possuem várias funções. As principais são: o sistema de raízes formado promove boas condições para o processo físico de filtração auxiliando na não colmatação do leito, além de aumentar a área disponível para aderência de micro-organismos; retirada de nutrientes do lodo devido ao requerimento nutricional das plantas; a ação do vento sob as plantas permite que seus caules criem espaços tubulares, os quais permitem a manutenção da drenagem do efluente sobre o leito; realizam a transferência de oxigênio para o meio filtrante; e possibilitam a evapotranspiração que influencia no processo de secagem do lodo.

Nos filtros plantados para tratamento de lodo utilizam-se as macrófitas do tipo emergentes, as quais se caracterizam por ficarem enraizadas em seu ambiente e suas



folhas fora d'água. Dentre as macrófitas empregadas destacam-se as pertencentes às espécies *Phragmites australis* (nome popular caniço d'água), *Typha* spp. (nome popular Taboa), *Juncus* spp. (nome popular Junco) e *Cyperus Papyrus* (nome popular Parirus). Para estes sistemas é recomendado o plantio de 15 mudas por m².

A vantagem destes sistemas em relação aos processos convencionais de secagem de lodo é que as raízes das plantas criam uma estrutura porosa que permite manter a capacidade de desidratação do filtro durante vários anos. Além disso, os filtros plantados possibilitam um maior acúmulo de lodo ao longo do tempo e a evapotranspiração realizada pelas plantas resulta em um melhor desaguamento do mesmo. Outra vantagem destes sistemas é que o processo de desaguamento do lodo ocorre sem a utilização de produtos químicos e energia.

Como limitações destes sistemas destacam-se a necessidade de uma área maior se comparados aos leitos de secagem, por exemplo, e um longo período para adaptação do filtro (pode variar de dois meses a um ano, dependendo da dimensão do sistema).

Com relação à adaptação do filtro, recomenda-se a sua alimentação com esgoto durante aproximadamente três meses antes do início da alimentação com lodo. Este procedimento operacional permite que as macrófitas se adaptem mais facilmente à operação com lodo. O esgoto utilizado deve ser preferencialmente pré-tratado (em um sedimentador primário ou tanque séptico), e pode ser aplicado a uma taxa de 50 mm por dia em fluxo vertical.

3.3 Indicativos de dimensionamento, operação e manutenção

Até o presente momento não se tem critérios normatizados de dimensionamento para os filtros plantados com macrófitas para tratamento de lodo, tendo em vista que a própria tecnologia ainda não é normatizada no Brasil. Mas destaca-se aqui sua promissora aplicação, por ser uma tecnologia eficiente e de baixo custo.

Apresentam-se aqui os critérios para o dimensionamento resultantes da pesquisa conduzida.

O dimensionamento dos filtros plantados deve ser realizado com base no volume total do lodo que se propõe tratar em um ano, dependendo do número de pessoas atendidas pelo sistema. Para o dimensionamento também deve ser considerada a concentração de Sólidos Totais presentes no lodo e uma taxa de aplicação superficial. Podem-se adotar os seguintes parâmetros:

- **Contribuição de lodo:** 73 L.hab⁻¹.ano⁻¹;
- **Concentração de Sólidos Totais:** 15.000 mg.L⁻¹ (o equivalente a 15 kg.m⁻³);
- **Taxa de aplicação superficial:** 125 kg ST.m⁻².ano⁻¹.

Para determinar qual a área superficial do filtro, é levada em consideração uma taxa de aplicação, conforme citado anteriormente. Essa taxa é bastante variável em

função das condições climáticas e fatores ambientais. Os resultados da pesquisa apontaram **125 kg ST.m⁻².ano⁻¹** como a melhor taxa a ser utilizada no dimensionamento destes sistemas sob condições de clima subtropical (pesquisa conduzida na cidade de Florianópolis, Santa Catarina). Ainda no dimensionamento define-se o número de aplicações de lodo que serão feitas durante um ano. Sugere-se a aplicação de lodo uma vez por semana, o que corresponde a 52 aplicações em um ano.

A fórmula para a determinação da área superficial é:

$$A(m^2) = \frac{\text{Concentração ST (kg/m}^3\text{)}}{\text{Taxa de Aplicação (} \frac{\text{kgST}}{\text{m}^2 \cdot \text{ano}} \text{)} \times \text{Volume(m}^3\text{)} \times \text{Aplicações em 1 ano}}$$



Para permitir o tratamento do líquido percolado e o desaguamento do lodo deve ser adotado um tempo de detenção hidráulica mínimo de seis dias, como descrito anteriormente. Em termos práticos, a saída do FP deve permanecer fechada por seis dias, e aberta na sequência por 24 horas, permitindo que todo o líquido seja escoado do leito.

Para um bom funcionamento dos filtros no desaguamento e mineralização do lodo é importante que o sistema seja operado adequadamente. Em função da variação de Sólidos Totais presente no lodo, sugere-se adotar um volume fixo para a alimentação semanal do filtro. Este valor, em termos práticos, é o volume total de lodo a ser tratado por ano, dividido por 52 aplicações, considerando a frequência semanal sugerida.

Quando não ocorrer um desaguamento eficiente do lodo, recomenda-se não alimentar o filtro no ciclo seguinte. O procedimento adequado a ser adotado nesta situação é abrir a saída do filtro para o escoamento do líquido percolado, e deixá-la aberta por um período de seis dias, ou até o completo desaguamento do lodo na superfície do leito. Caso seja efetuada uma nova alimentação dos filtros sob um lodo anteriormente não desaguado, será necessário um maior período para o novo desaguamento, podendo ocorrer a geração de odor e a colmatação total do filtro. As figuras abaixo apresentam a situação descrita acima, do lodo parcialmente desaguado na superfície do filtro.

Lodo parcialmente desaguado na superfície do leito filtrante



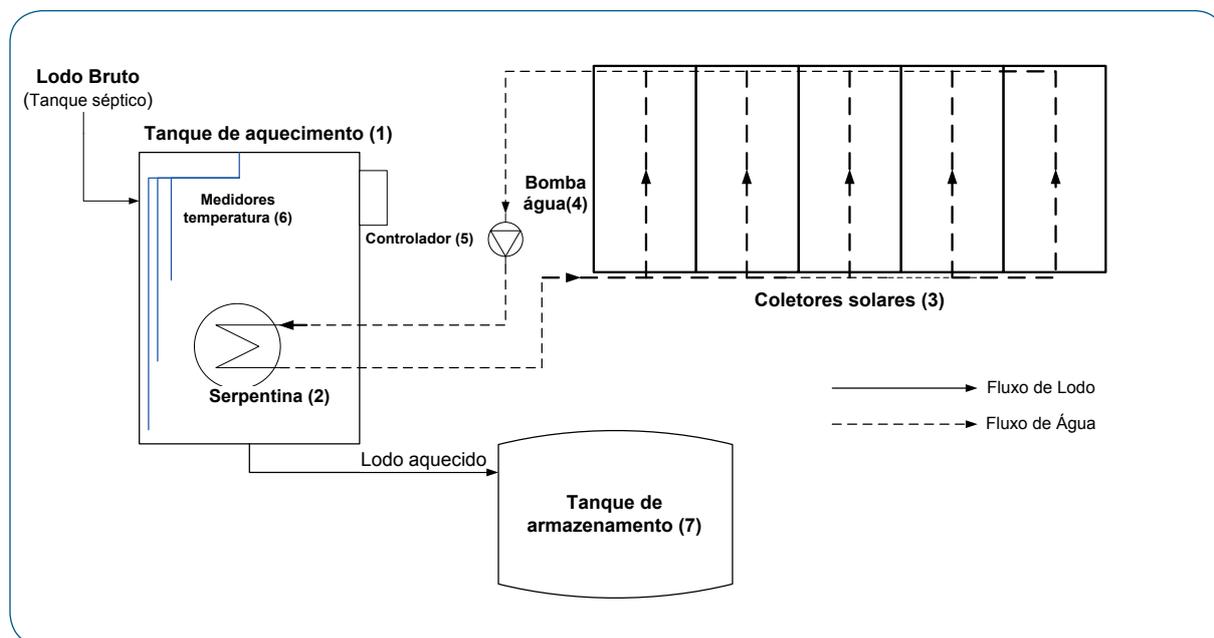
4 Desinfecção de Lodo por Processo Térmico

A desinfecção térmica em estudo neste trabalho visa à complementação de outros processos de estabilização do lodo (ex.: digestão anaeróbia, etc.), devendo seu uso ser apenas considerado de forma consorciada, antes ou depois a estes. Ressalta-se que o uso da desinfecção térmica de lodo de forma isolada e como tratamento único não é adequado, pois o mesmo não age na estabilização da matéria orgânica e o material pode ser facilmente contaminado durante manuseio.

4.1 Princípios de funcionamento

O processo de desinfecção térmica do lodo estudado foi composto basicamente por um tanque de aquecimento com uma serpentina em seu interior, além dos coletores solares planos responsáveis pela captação da energia solar. A figura abaixo apresenta o esquema do tratamento.

Fluxograma do processo de desinfecção do lodo em batelada



Inicialmente o tanque de aquecimento (1) era abastecido com lodo de esgoto. Na serpentina (2) instalada dentro desse tanque circulava água que era aquecida nos coletores solares (3), transferindo calor ao lodo. Esse movimento ocorria através de uma bomba hidráulica automática (4), a qual era acionada por um controlador (5) com base na diferença de temperatura da água entre a saída dos coletores solares e a saída da serpentina.

O tanque de aquecimento possuía medidores de temperatura (6) do lodo, utilizados na verificação da eficiência do processo de desinfecção. Após o lodo receber o tratamento durante o tempo preestabelecido, o mesmo era enviado a um tanque de armazenamento (7) previamente higienizado, onde permanecia até atingir a temperatura ambiente e aguardando o destino final.

4.2 Componentes

O dimensionamento de cada componente deve ser feito considerando a produção de lodo estimada para a localidade de abrangência do sistema. Para estimar a capacidade de tratamento desse processo, deve-se considerar, além de suas dimensões físicas, o número de bateladas que podem ser realizadas ao longo do ano. Como o processo é dependente das condições climáticas, pode ocorrer em algumas regiões, especialmente nas mais frias, de o processo não ser eficiente o ano todo. Isto, obviamente, reduz o volume de lodo que o sistema pode atender, diminuindo sua capacidade. Portanto, cada caso merece uma avaliação minuciosa na elaboração do projeto.

Este guia apresenta cada componente, genericamente, da forma como foi construído o sistema piloto testado experimentalmente, o qual previa o tratamento de até 200 litros de lodo por batelada. Observa-se que o sistema ainda necessita estudos de transferência de calor mais aprofundados, os quais permitiriam estabelecer simulações do seu comportamento em diversas condições de operação, a fim de otimizar o aproveitamento térmico.

Tanque de aquecimento

O tanque de aquecimento do lodo utilizado na pesquisa possuía diâmetro interno de 0,9 m e altura de 1 m, comportando um volume de até 570 litros. Internamente o tanque conta com uma chapa de aço inoxidável AISI 304, que evita a corrosão excessiva devido à umidade constante. Externamente possuía uma chapa de ferro galvanizado pintada de preto. Entre as duas chapas metálicas, que compõem a parede do tanque de aquecimento, está uma camada de poliuretano expandido, servindo como isolante térmico, ajudando a evitar as perdas de calor para o ambiente. A espessura total da parede composta é de 10 cm, sendo que o diâmetro externo do tanque é 1,1 m.

Tanque de aquecimento para desinfecção de lodo



A tampa do tanque de aquecimento foi confeccionada com uma chapa metálica, malha de fibra de vidro e placas de madeira. A chapa de ferro é a parte superior da tampa, sendo que logo abaixo se encontra as placas de madeira revestidas na parte inferior com a malha de fibra de vidro. A principal função da madeira é servir de isolante térmico, e os outros materiais apoiam na sustentação da peça. A espessura da tampa é de 10 cm.

Serpentina (trocador de calor)

O modelo do trocador pode assumir diversas formas, sendo um equipamento determinante na eficiência do processo, especialmente em função da sua área de troca térmica.

O modelo escolhido para compor o sistema piloto foi uma peça composta por cinco tubos de cobre dispostos em paralelo, com dimensões de 60 cm de comprimento, 2 mm de espessura e diâmetro externo de 6 mm cada um. Eles estão associados em série com um conjunto de mais cinco tubos em paralelos de mesma dimensão. O trocador foi disposto a uma altura de 10 cm do fundo do tanque de aquecimento para facilitar as correntes de convecção natural.

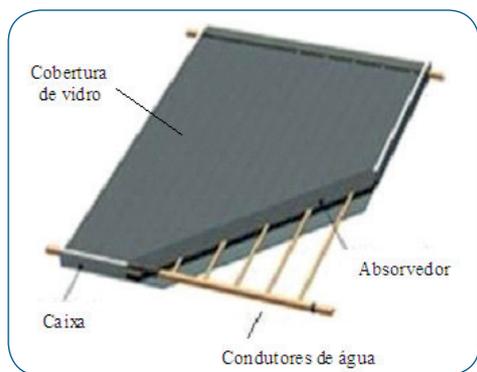
Detalhes do trocador de calor



Coletores solares

Os coletores utilizados são formados basicamente por uma caixa isolada termicamente, contendo em seu interior um absorvedor e tubulação em cobre pintada de preto, além de uma cobertura de vidro. A figura abaixo mostra um esquema da tubulação no coletor solar; essa disposição é feita em forma de grade. O absorvedor é uma placa metálica pintada de preto, que é responsável pela recepção e conversão da energia solar. O material geralmente utilizado na confecção dos absorvedores é o cobre.

Esquema da tubulação no coletor solar (a); coletores solares implantados na área experimental (b)



(a)



(b)

Para o tratamento de 200 litros de lodo, supondo uma elevação de temperatura de 20°C a 70°C, foi estimada a necessidade de cinco coletores solares planos de 1,90 m² de área útil de absorção, assumindo uma potência de 160 kWh/mês cada um. No hemisfério sul os coletores devem ser orientados para o norte. O grau de inclinação do coletor com relação ao solo deve ser igual a latitude do local. Para Florianópolis/SC, a inclinação ótima que fornece o máximo de ganho médio anual é aproximadamente 27°C.

Bomba automática

A bomba hidráulica automática, com potência máxima de 340 W, promove a circulação da água nos coletores solares e na serpentina.

Bomba de circulação de água nos coletores solares (a); controlador (b)



(a)



(b)

A bomba de circulação de água nos coletores solares e serpentina é acionada automaticamente através de um controlador (b). O parâmetro para acionamento é a diferença de temperatura da água entre a saída dos coletores e a saída da serpentina. Quando essa diferença for maior que 8°C a bomba é acionada, permanecendo em funcionamento até que esse diferencial se reduza a $2,5^{\circ}\text{C}$.

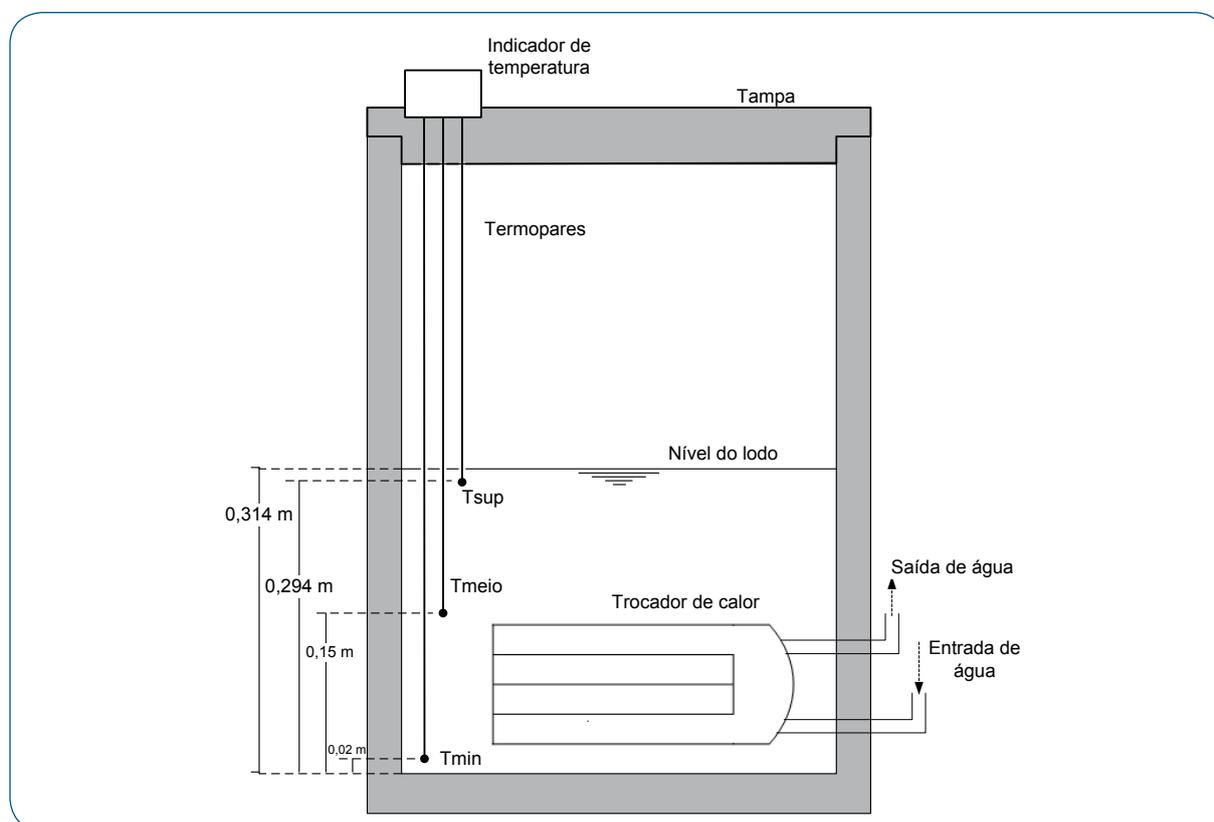
Monitoramento da temperatura do lodo

A temperatura do lodo deve ser monitorada, pois o seu histórico consiste em um dos principais parâmetros da eficiência do tratamento. Devido ao fato do tanque em estudo não possuir agitador, há gradientes de temperaturas entre as diferentes alturas da camada de líquido. Acima da serpentina as temperaturas são mais elevadas e homogêneas.

As bordas do fundo do tanque são as áreas mais difíceis de elevar a temperatura. Há formação de zonas mortas que ficam com temperaturas inferiores às das camadas superiores. Felizmente os volumes de zonas mortas com temperaturas baixas são consideravelmente pequenos perante o volume total do tanque de aquecimento com temperaturas mais elevadas, e as interferências no tratamento são mínimas.

Devido a esses gradientes, o ideal é o monitoramento da temperatura em pelo menos três pontos em diferentes alturas: borda do fundo, meio e superfície da coluna de lodo líquido, conforme indica a figura abaixo (para um volume de 200 litros de lodo). A média desses três pontos é mais apropriada para representar a temperatura do lodo.

Localização dos medidores de temperatura dentro do tanque para um volume de 200 litros de lodo



Devem-se evitar medidas de temperatura próximas aos tubos da serpentina, onde a temperatura é mais elevada do que no restante do tanque, pois esta medida pode levar a erros na análise da eficiência do reator.

Nos testes realizados foram utilizados termopares fixos dentro do reator para padronizar os locais de monitoramento e evitar a abertura do reator em cada leitura.

Tanque de armazenamento

Este tanque recebe o lodo após o tratamento térmico, sua função é armazená-lo provisoriamente até que atinja a temperatura ambiente e receba o destino final. É constituído de fibra de vidro e possui volume de 500 litros.

4.3 Operação e monitoramento

Inicialmente alimentou-se o tanque de aquecimento com lodo líquido até uma altura de 31 a 32 cm, que corresponde a um volume de aproximadamente 200 litros (este foi o volume utilizado nos ensaios considerando a implantação de cinco coletores solares planos com 1,9 m² de área útil cada um). O tempo de tratamento utilizado no projeto piloto foi de 08h, compreendido entre as 09h e 17h, que é o período do dia com maior disponibilidade de radiação solar.

Após o tanque de aquecimento ser alimentado e fechado, inicia-se o monitoramento da temperatura e do tempo de tratamento. A tomada de temperatura deve ser realizada em intervalos de tempo suficiente para garantir a visualização do seu histórico ao longo do tratamento, considerando que seu perfil altera constantemente em virtude das condições externas.

Importante: a pessoa que operar o sistema deve utilizar equipamentos de proteção individual como luvas, óculos, botas, máscara e roupas que evitem o contato direto com o lodo.

A avaliação da eficiência do tratamento deve ser feita através análises microbiológicas para verificação de adequação e certificação do produto quanto aos parâmetros exigidos pela Resolução nº. 375/2006, do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Uma alternativa informal de obtenção da eficiência do tratamento é observar a relação tempo e temperatura do lodo. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos recomenda algumas relações de tempo/temperatura para redução de patógenos em lodos com menos de 7% de sólidos totais, visando a obtenção de lodo classe A.

Relações tempo/temperatura para eliminação de patógenos e obtenção de lodo classe A

TEMPERATURA (°C)	TEMPO (HORAS)	TEMPO (MINUTOS)
55	24	1440
58	9,2	552
59	6,6	396
60	4,8	288
61	3,5	210
62	2,5	150
63	1,8	109
64	1,3	78
65	1,0	60
66	0,7	42
67	0,5	30
68	0,4	24
69	0,3	16
70	0,2	12

Fonte: *U.S. Environmental Protection Agency*.

Depois de concluído o tratamento pelo tempo preestabelecido e verificada a eficiência do tratamento pela relação tempo/temperatura, o lodo pode ser enviado ao tanque de armazenamento onde aguardará o destino final, que no caso da pesquisa foi o retorno ao tanque séptico. O tanque de armazenamento deve ser mantido limpo e higienizado para receber o lodo tratado.

Caso o lodo não tenha atingido 60°C, ao longo do tratamento a eficiência da desinfecção pode ter sido comprometida, portanto, o material pode permanecer no tanque de aquecimento até o próximo dia para tratá-lo novamente. Na tabela acima observamos que para o tratamento ser eficiente na eliminação microbiana o lodo deve permanecer por pelo menos cinco horas acima de 60°C; ou aproximadamente duas horas acima de 63°C; ou uma hora acima de 65°C, e assim por diante. Vale ressaltar que o tempo proposto para uma determinada temperatura deve ser contínuo.

Em 55°C grande parte da carga microbiana é eliminada em algumas horas, no entanto, essa ainda é uma temperatura relativamente baixa e muitos patógenos podem resistir longos períodos nessas condições, sendo que os parâmetros microbiológicos podem não ser reduzidos de modo satisfatório. Ainda há a possibilidade de recrescimento bacteriano após o tratamento, caso as temperaturas não tenham atingido níveis suficientes para deixar um efeito residual no pós-tratamento. Portanto, é importante o controle do processo para, se necessário, realizá-lo novamente e evitar o uso de um produto com potencial de riscos à saúde ambiental.

A temperatura do lodo é dependente das condições externas, principalmente dos índices de radiação solar. Em testes realizados em Florianópolis/SC, o processo testado experimentalmente mostrou-se eficiente nos dias com irradiação solar média acima de 500 W.h.m² (irradiação média para o período do tratamento realizado das 09h00min às 17h00min). Esse índice foi obtido em condições de céu aberto no período de dezembro a maio.

Em dias com o céu nublado, o processo não foi eficiente, devido aos baixos níveis de irradiação solar, o que conseqüentemente compromete a elevação da temperatura do lodo. Entre os meses de abril e setembro os resultados também não foram satisfatórios na região em questão, devido aos baixos índices de irradiação solar que ocorrem em consequência da chegada do outono e inverno.

Algumas regiões do Brasil, como o Centro-Oeste e o Nordeste, possuem maior disponibilidade de irradiação solar, o que pode elevar a eficiência do processo de desinfecção do lodo e também garantir o seu melhor funcionamento em um período mais longo do ano, visto que a variabilidade mensal da radiação nessas regiões é menor.

4.4 Controle pós-tratamento

Alguns fatores devem ser controlados após o tratamento para evitar a recontaminação do material tratado. O tanque de armazenamento deve estar sempre limpo e higienizado para acondicionar o lodo tratado. Deve-se usar algum agente químico como cloro ativo (água sanitária) na sua lavagem para garantir a desinfecção. Outros materiais utilizados no manuseio do lodo tratado também devem estar limpos e higienizados.

É essencial que o lodo tratado seja avaliado periodicamente com relação aos parâmetros dispostos na Resolução nº. 375/2006 do CONAMA.

5 Considerações finais

Os filtros plantados com macrófitas são uma tecnologia robusta com muita capacidade de suportar condições adversas, principalmente as oscilações de cargas afluentes de matéria orgânica e nutrientes, o que é rotineiro nos processos que recebem e fazem o tratamento de lodo de esgoto. Os filtros podem ser considerados uma forma passiva de estabilização do lodo, pois a transferência de oxigênio a partir da rizosfera das macrófitas, bem como o movimento das hastes das plantas, possibilitam a aeração da superfície do mesmo. Juntamente com o processo de evapotranspiração, o qual permite maiores perdas de água do lodo, é possível promover a sua estabilização biológica e mineralização. E como citado no decorrer do manual, acredita-se na capacidade do filtro para remoção de patógenos em longo prazo, principalmente a partir do período quando é cessada sua alimentação.

O tratamento térmico em estudo é um processo físico que age na eliminação de patógenos em curto prazo, mas não promove a estabilização da matéria orgânica. Para fins de aproveitamento agrícola, é fundamental o consórcio desse tratamento com outros processos, como o desaguamento, a digestão anaeróbia, a calagem, os filtros plantados com macrófitas, os leitos de secagem, entre outros. A desinfecção térmica do lodo associada a um processo de estabilização pode elevar muito a qualidade do produto final, reduzindo consideravelmente os riscos biológicos e tornando-o mais apto a atender os requisitos da legislação.

E, por fim, ressalta-se novamente a reflexão da necessidade do reuso dos nutrientes que descartamos com nossas excretas, buscando a sustentabilidade das sociedades. As concentrações de macro e micronutrientes no lodo de esgoto são elevadas, o que potencializa seu uso como recurso agrícola. Fazendo-se uma avaliação mais precisa para confirmação desta afirmação, uma pessoa produz em média 550L de excretas por ano. Isto é equivalente à cerca de 5,5kg de NPK (4 kg de nitrogênio, 1 kg de potássio e 0,5 kg de fósforo) por pessoa, por ano, o que varia de região para região, em função da dieta alimentar. Estes valores significam que as excretas produzidas em um dia por uma pessoa são suficientes para fertilizar um metro quadrado de área cultivada. Frente a esta situação, as questões apontadas para tornar real este modelo de saneamento conectado à agricultura são a mudança de paradigma e o entendimento por ambas as partes (sociedade e governantes) da necessidade e sustentabilidade destas ações, conectado então à pesquisa de novas alternativas tecnológicas que tornem possível o reuso seguro dos nutrientes presentes nas excretas humanas.



Referências bibliográficas

ALTERTHUM, F.; CARVALHAL, M. L. Controle de microrganismos. In: TRABULSI, L. R. *et al.* **Microbiologia**. 3. ed. São Paulo: Editora Atheneu, 1999.

Arthurson, V. Proper sanitization of sewage sludge: a critical issue for a sustainable society. **Applied and Environmental Microbiology**, v.74, n.17, sept. 2008, p.5267–5275.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementares e disposição final dos efluentes de tanques sépticos: procedimentos. Rio de Janeiro, 1993. 15p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 375**. Brasília, 2006, 32p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 18 fev. 2010.

KOOTTATEP, T.; SURINKUL, N.; POLPRASERT, C.; KAMAL, A. S. M.; KONÉ, D.; MONTANGERO, A.; HEINSS, U.; STRAUSS, M. **Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate – lessons learnt after seven years of operation**. Wat. Sci. Tech. V. 51 (9), p. 199-126, 2004.

KOWAL, N. E. **Health effects of land applications of municipal sludge**. EPA/600/1-85/085. Cincinnati: Health effects Research Laboratory, 1985.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – U.S.EPA. **Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge**. EPA/625/R-92/013, Revised jul. 2003. U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, 2003. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r92013/625R92013.pdf>>. Acesso em: 20 fevereiro de 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Vol. 4: Excreta and greywater use in agriculture. Geneva: WHO. 2006. 182 p.



FUNASA

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE

Missão

Promover a saúde pública e a inclusão social por meio de ações de saneamento e saúde ambiental.

Visão de Futuro

Até 2030, a Funasa, integrante do SUS, será uma instituição de referência nacional e internacional nas ações de saneamento e saúde ambiental, contribuindo com as metas de universalização de saneamento no Brasil.

Valores

- Ética;
- Eqüidade;
- Transparência;
- Eficiência, Eficácia e Efetividade;
- Valorização dos servidores;
- Compromisso socioambiental.



Fundação
Nacional
de Saúde



Ministério da
Saúde

