

TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS EM COMUNIDADES ISOLADAS

referencial para a escolha de soluções



Adriano Luiz Tonetti

Ana Lúcia Brasil

Francisco José Peña y Lillo Madrid

Isabel Campos Salles Figueiredo

Jerusa Schneider

Luana Mattos de Oliveira Cruz

Natália Cangussu Duarte

Patrícia Moreno Fernandes

Raúl Lima Coasaca

Rodrigo Sanches Garcia

Taína Martins Magalhães

Biblioteca Unicamp

Realização

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

Departamento de Saneamento e Ambiente – DSA

Grupo de Pesquisa Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

ABES - Seção São Paulo

Câmara Técnica Saneamento e Saúde em Comunidades Isoladas



Apoio Institucional

ASSOCIAÇÃO DOS ENGENHEIROS DA SABESP

AESABESP



TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS EM COMUNIDADES ISOLADAS

referencial para a escolha de soluções

ADRIANO LUIZ TONETTI

ANA LÚCIA BRASIL

FRANCISCO JOSÉ PEÑA Y LILLO MADRID

ISABEL CAMPOS SALLES FIGUEIREDO

JERUSA SCHNEIDER

LUANA MATTOS DE OLIVEIRA CRUZ

NATÁLIA CANGUSSU DUARTE

PATRÍCIA MORENO FERNANDES

RAÚL LIMA COASACA

RODRIGO SANCHES GARCIA

TAÍNA MARTINS MAGALHÃES

CAMPINAS, SP

BIBLIOTECA UNICAMP

2018

Primeira edição

Outubro de 2018

Autores

Adriano Luiz Tonetti, Ana Lúcia Brasil, Francisco José Peña y Lillo Madrid,
Isabel Campos Salles Figueiredo, Jerusa Schneider, Luana Mattos de Oliveira Cruz,
Natália Cangussu Duarte, Patrícia Moreno Fernandes, Raúl Lima Coasaca,
Rodrigo Sanches Garcia, Taína Martins Magalhães

Colaboradores

Daniel Bueno, Daniel Kuchida, Gabriela Masson Benatti, Guilherme Castagna,
Leonardo Adler, Renato Fenerich de Moraes, Sonia Maria Nogueira e Silva

Equipe

Felipe Pivetta, Raí Neves, Vanessa Laise Almeida Rodrigues

Revisão de Texto

Lara Padilha (lararevisoes@gmail.com)

Design gráfico

Augusto Carrasco

Gabriela Masson Benatti (gabriela.mab@gmail.com)

Ilustrações

Augusto Carrasco

Gabriela Masson Benatti (gabriela.mab@gmail.com)

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP
Bibliotecária Rose Meire da Silva CRB-8/5974

628.3
T612t

Tonetti, Adriano Luiz, 1973-
Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas:
referencial para a escolha de soluções. /Ana Lucia Brasil,
Francisco José Peña y Lillo Madrid, et al. -- Campinas, SP:
Biblioteca/Unicamp, 2018.

e-book, il.
ISBN 978-85-85783-94-5

1.Esgotos – Tratamento. 2. Comunidades rurais. 3.
Instalações sanitárias. 4. Permacultura. 5. Saneamento. I.
Adriano Luiz Tonetti, 1973-. II. Brasil, Ana Lucia. II. Madrid,
Francisco José Peña y Lillo, 1984-. . III. Título.

Homenagem póstuma

Os realizadores deste referencial gostariam de prestar uma justa e afetuosa homenagem ao professor Cícero Onofre de Andrade Neto pelo trabalho de toda uma vida dedicado ao estudo e desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas ao Saneamento Ambiental. Foi um pesquisador atuante na Universidade Federal do Rio Grande do Norte e em outras instituições no Brasil, tendo atuado no Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab) e na revisão de normas ABNT. Esteve presente em todos os Seminários que deram suporte ao Grupo de Trabalho que resultou nesta publicação, contribuindo muito com seu conhecimento, entusiasmo e espírito de colaboração.

Autores

Adriano Luiz Tonetti

Professor da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Engenheiro químico com mestrado e doutorado na área de Saneamento e Ambiente. Coordenador do grupo de pesquisa “Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos”, que busca desenvolver tecnologias voltadas ao saneamento de pequenas comunidades e a recuperação ou remoção de nutrientes.

Ana Lúcia Brasil

Engenheira Civil formada pela Universidade Federal do Ceará e Engenheira Sanitária pela Faculdade de Saúde Pública da USP. Sempre trabalhou no setor público de Saneamento Ambiental, primeiro na Companhia Estadual de Água e Esgotos do Ceará – Cagece e, depois, na Companhia Estadual de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp, onde se aposentou em 1998. Foi Coordenadora de Saneamento da Secretaria Estadual de Saneamento e Energia, entre 1998 e 2000 e Secretária Executiva do Conselho Estadual de Saneamento – CONESAN. Atualmente faz parte da Diretoria da ABES Seção São Paulo, além de coordenar a Câmara Técnica de Saneamento e Saúde em Comunidades Isoladas da ABES-SP.

Francisco José Peña y Lillo Madrid

Engenheiro Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo - EESC/ USP (2007), mestre em Engenharia Civil (Área Saneamento e Ambiente) pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP (2016) e doutorando em Engenharia Civil (Área Saneamento e Ambiente) pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. Tem experiência em engenharia sanitária e atua nos temas: tratamento de águas residuárias, saneamento de pequenas comunidades, remoção de nutrientes e reúso.

Isabel Campos Salles Figueiredo

Bióloga pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), mestre em Ecologia pela Universidade de Brasília (UnB) e doutoranda em Engenharia Civil (área Saneamento e Ambiente) pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Tem experiência na área de saneamento rural, educação ambiental, desenvolvimento comunitário e permacultura.

Jerusa Schneider

Professora Colaboradora da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Engenheira Agrônoma pela Universidade do Estado de Santa Catarina com doutorado em Ciência do Solo pela Universidade Federal de Lavras e Pós-Doutorado pela Universidade Federal Rural de Pernambuco e Université Joseph Fourier. Desenvolve pesquisas na área de recuperação de áreas degradadas, poluição química do solo, fitorremediação, tratamento de águas residuais, elementos-traço e nutrientes de plantas.

Luana Mattos de Oliveira Cruz

Professora da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Engenheira ambiental com mestrado e doutorado na área de Saneamento e Ambiente e pós doutorado em tratamento biológico para remoção de nutrientes. Atua no grupo de pesquisa “Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos” com os temas: tratamento biológico, equenas comunidades, remoção de nutrientes e processo anammox.

Natália Cangussu Duarte

Engenheira civil (2015) e mestre (2018) em saneamento e ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da UNICAMP. Tem experiência na área de tratamento de águas e efluentes e saneamento de pequenas comunidades.

Patricia Moreno Fernandes

Possui graduação em Tecnologia Hidráulica e Saneamento Ambiental pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (2016) e Tecnologia Em Sistemas de Gestão Ambiental pela Universidade Estácio de Sá (2009). Tem experiência como educadora ambiental, na elaboração de Planos Municipais de Saneamento e projetos de sistemas alternativos de esgotos em áreas isoladas e atualmente atua como consultora ambiental pela empresa PMFernandes Saneamento Ambiental.

Raúl Lima Coasaca

Formado em Engenharia Química pela Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa (2008) com mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Campinas (2016) é estudante de doutorado na Universidade Estadual de Campinas. Tem experiência na área de Biotecnologia ambiental, Bioprocessos e Engenharia sanitária e ambiental. Tem atuado nas seguintes áreas: (i) Biorremediação, com ênfase na remoção de metais pesados (ii) Tratamento de efluentes, (iii) Reúso, remoção e reciclagem de nutrientes.

Rodrigo Sanches Garcia

Advogado, com mestrado em Direito pela Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP) e especialização pela Escola Superior do Ministério Público do Estado de São Paulo. É promotor de Justiça desde 1999, e desde 2008 exerce o 4º Cargo de Promotor de Justiça de Valinhos, atuando na área de interesses difusos, crimes dolosos contra a vida e Juizados especiais criminais. É promotor integrante do Grupo de Atuação Especial e Defesa do Meio Ambiente – GAEMA – Núcleo Campinas, desde 2013.

Táina Martins Magalhães

Graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2009-2014), Mestrado em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil na Universidade Estadual em Campinas (2015-2017), atualmente trabalha com gestão ambiental na iniciativa privada. Possui experiência científica com processo de desnitrificação em reatores anaeróbios e modelagem de nitrificação em filtro de areia. Possui vivência em tratamento biológico e físico-químico de efluentes industriais.

Colaboradores

Daniel Bueno

Graduado em Tecnologia do Controle Ambiental e mestre em Engenharia Civil pela UNICAMP. Atualmente é membro do corpo técnico do Laboratório de Saneamento (LABSAN) da UNICAMP. Possui experiência na área de gestão e organização laboratorial, sistemas e técnicas de tratamento de efluentes e análises laboratoriais focadas nas ciências sanitárias e ambientais.

Daniel Kuchida

Formado em engenharia civil pela UNICAMP. Tem experiência no setor privado, no gerenciamento de projetos de desenvolvimento e aplicação de produtos e serviços voltados a água e esgoto em comunidades isoladas no Brasil. Faz parte da Comissão de Estudos do Comitê Brasileiro de Saneamento Básico da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Gabriela Masson Benatti

Aluna de Arquitetura e Urbanismo na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Possui experiência em ilustração, design gráfico, diagramação e composição visual.

Guilherme Castagna

Engenheiro Civil (Escola de Engenharia Mauá) e Permacultor (IPEC), sócio-fundador da Fluxus Design Ecológico, desde 2006 integra sua formação acadêmica aos princípios de design ecológico na elaboração de projetos de sistemas inovadores de manejo integrado de água. Co-idealizador do Movimento Cisterna Já, co-fundador e conselheiro da ONG Humanaterra, e diretor técnico da Associação Biosaneamento. Facilita cursos para empoderamento no cuidado com a Água para públicos diversos.

Leonardo Adler

Engenheiro ambiental, permacultor, mestrando em Tecnologia para o Desenvolvimento Social no NIDES (UFRJ). Trabalha desde 2010 com saneamento e energia, especialmente no desenvolvimento e implementação de projetos de saneamento ecológico para favelas e comunidades isoladas. Integra a diretoria do Instituto Ambiente em Movimento e é sócio fundador da Taboa Engenharia, atuando com captação de recursos, mobilização de comunidades e implementação dos projetos.

Renato Fenerich de Moraes

Engenheiro Ambiental (Faculdades Oswaldo Cruz), especialista em Engenharia de Saneamento Ambiental (Mackenzie) e mestrando em Engenharia Hidráulica e Ambiental (Escola Politécnica/USP). Tem experiência nas áreas de tratamento de águas e efluentes, reúso, aproveitamento de água da chuva e programas de conservação e uso racional da água.

Sonia Maria Nogueira e Silva

Engenheira Civil (UFPA) e especialista em Engenharia Hidráulica (POLI/USP). Tem ampla experiência como engenheira civil, com atuação em na área de saneamento básico na Sabesp desde 1976. Atualmente é consultora na área de uso racional da água, ministra cursos na área ambiental e é membro da Comissão Organizadora dos Encontros Técnicos da Associação dos Engenheiros da Sabesp –AESABESP.

Sumário

| | | |
|-------------------|----|---|
| | 18 | Glossário |
| | 21 | Prefácio |
| Capítulo 1 | 25 | Introdução |
| Capítulo 2 | 29 | Panorama atual e desafios do esgotamento sanitário em comunidades isoladas no Brasil |
| | 30 | Comunidades isoladas urbanas |
| | 32 | Comunidades isoladas rurais |
| | 34 | Sistemas descentralizados de tratamento de esgotos |
| | 37 | Vantagens dos sistemas descentralizados |
| | 38 | Desafios para a implantação de sistemas descentralizados |
| | 38 | ● Desafio ambiental |
| | 39 | ● Desafio econômico |
| | 41 | ● Desafio social e cultural |
| | 42 | ● Desafio de gestão |
| Capítulo 3 | 45 | Legislação ambiental aplicada ao saneamento descentralizado |
| | 45 | Sobre o direito ao meio ambiente equilibrado |
| | 46 | Sobre a poluição e o controle da qualidade ambiental |
| | 47 | Sobre o saneamento básico |
| | 48 | Sobre o licenciamento ambiental |

| | | |
|-------------------|-----------|--|
| Capítulo 4 | 51 | O processo de tratamento de esgotos em comunidades isoladas |
| | 51 | Etapas do tratamento centralizado de esgotos domésticos |
| | 54 | Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas |
| | 54 | Separação do esgoto em pelo menos duas frações |
| | 56 | Unidades de tratamento preliminar |
| | 58 | Tecnologias para o tratamento primário e secundário de esgoto |
| | 59 | Sistemas descentralizados mais comuns no Brasil |
| Capítulo 5 | 63 | Soluções para o tratamento de esgoto |
| | 64 | A escolha da tecnologia mais adequada |
| | 68 | T01 Fossa seca |
| | 70 | T02 Banheiro seco compostável |
| | 72 | T03 Estocagem e uso da urina |
| | 74 | T04 Sistemas alagados construídos (SAC) |
| | 76 | T05 Círculo de Bananeiras |
| | 78 | T06 Reator anaeróbio de fluxo ascendente compacto (RAFA compacto) |
| | 80 | T07 Fossa verde |
| | 82 | T08 Fossa séptica biodigestora (FSB) |
| | 84 | T09 Tanque séptico |
| | 86 | T10 Filtro anaeróbio |
| | 88 | T11 Filtro de areia |
| | 90 | T12 Vermifiltro |
| | 92 | T13 Biodigestor |
| | 94 | T14 Reator anaeróbio compartimentado (RAC) |
| | 96 | T15 Biossistema integrado (BSI) |

| | | |
|-------------------|-----|--|
| Capítulo 6 | 99 | Soluções para a disposição final do esgoto tratado |
| | 99 | Disposição final no solo |
| | 101 | A profundidade do lençol freático |
| | 102 | O tipo de solo local |
| | 108 | Método da sedimentação: determinação da granulometria do solo |
| | 110 | Teste de percolação do solo para calcular o tamanho da |
| | 114 | A escolha da tecnologia para disposição final no solo |
| | 116 | D01 Vala de infiltração |
| | 118 | D02 Sumidouro |
| | 120 | D03 Círculo de Bananeiras |
| | 122 | O reúso agrícola como uma alternativa |
| | 125 | Disposição final em corpos hídricos |
| Capítulo 7 | 127 | Soluções para o gerenciamento do lodo gerado no tratamento de esgotos |
| | 129 | Remoção do lodo |
| | 132 | Alternativas para o aproveitamento ou disposição final do lodo |
| | 134 | Secagem do lodo e tratamento complementar |
| | 140 | Uso agrícola ou florestal |
| | 140 | Recuperação de solos degradados |
| | 142 | Referências bibliográficas |

Lista de siglas e símbolos

| | |
|------------------------------|--|
| ABES | Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| APA | Área de Proteção Ambiental |
| APM | Área de Proteção de Mananciais |
| BET | Bacia de Evapotranspiração |
| BSI | Biosistema Integrado |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| DBO | Demanda Bioquímica de Oxigênio |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio |
| DSA | Departamento de Saneamento e Ambiente |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| EPI | Equipamento de Proteção Individual |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgotos |
| FAO | <i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i> (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) |
| FEC | Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (da Unicamp) |
| Funasa | Fundação Nacional de Saúde |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IWA | <i>International Water Association</i> |
| kg | Quilograma |
| L | Litro |
| m | Metro |
| m ² | Metro quadrado |
| m ³ | Metro cúbico |
| MAPA | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento |
| mg | Miligrama |
| mL | Mililitro |
| mm | Milímetro |
| NBR | Norma Brasileira Regulamentadora |
| NO ₃ ⁻ | Nitrato |
| OD | Oxigênio Dissolvido |

| | |
|---------|---|
| OMS | Organização Mundial da Saúde (equivalente em português para WHO) |
| ONG | Organização Não Governamental |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PCJ | Piracicaba, Capivari e Jundiá |
| PDHC | Projeto Dom Helder Camara |
| pH | Potencial Hidrogeniônico |
| PLANSAB | Plano Nacional de Saneamento Básico |
| PNAD | Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios |
| PNSR | Programa Nacional de Saneamento Rural |
| Prosab | Programa de Pesquisas em Saneamento Básico |
| PVC | Policloreto de vinila |
| RAC | Reator Anaeróbio Compartimentado |
| R\$ | Reais |
| SAC | Sistemas Alagados Construídos |
| SS | Sólidos Suspensos |
| Susana | <i>Sustainable Sanitation Alliance</i> |
| TAC | Termos de Ajuste de Conduta |
| Tevap | Tanque de Evapotranspiração |
| UV | Ultravioleta |
| UNICAMP | Universidade Estadual de Campinas |
| UNICEF | <i>United Nations Children's Fund</i> (Fundo das Nações Unidas para a Infância) |
| USEPA | <i>United States Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) |
| WHO | <i>World Health Organization</i> (Organização Mundial da Saúde - OMS) |

Glossário

| | |
|-------------------------|--|
| Águas cinzas | Esgoto ou águas servidas geradas dentro de uma casa, excluindo o esgoto gerado no vaso sanitário. São as águas do chuveiro, pia do banheiro, pia da cozinha e lavanderia. |
| Águas de vaso sanitário | Esgoto gerado pela descarga de urina e fezes no vaso sanitário. Sinônimo de águas negras ou águas fecais. |
| Biofilme | Comunidade de microrganismos aderida a uma superfície (meio suporte), normalmente dentro de um filtro anaeróbio ou filtro de areia. |
| Biomassa | Microrganismos presentes no lodo. São os responsáveis pelo tratamento do esgoto. |
| DBO | A Demanda Bioquímica de Oxigênio é uma medida indireta da concentração de matéria orgânica biodegradável de uma amostra de água ou esgoto. Os valores de DBO representam a quantidade de oxigênio necessária para a decomposição biológica da matéria orgânica (digestão por bactérias). |
| DQO | Demanda Química de Oxigênio é uma medida indireta da concentração de matéria orgânica de uma amostra de água ou esgoto. Os valores de DQO representam a quantidade de oxigênio necessária para a completa oxidação da matéria orgânica (oxidação química). |
| Disposição final | Destino do esgoto tratado, após passagem pelo(s) sistema(s) de tratamento de esgoto. |
| Esgoto doméstico | Esgoto gerado nas atividades domésticas. Composto pela mistura de águas de vaso sanitário e águas cinzas. |
| Esgoto sanitário | Esgoto formado pela combinação dos esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária. |

| | |
|------------------|--|
| Esgoto tratado | Resíduo líquido gerado após a passagem do esgoto pelo(s) sistema(s) de tratamento. Sinônimo de efluente final. |
| ETE | Estação de Tratamento de Esgotos, que trata grandes quantidades de esgotos sanitários. Normalmente, é parte integrante de um sistema de tratamento centralizado, no qual recebe todo o esgoto gerado em uma região e reunido por uma rede coletora subterrânea. |
| Eutrofização | Processo que é resultado da poluição de lagos, lagoas ou rios pelo lançamento de esgotos ou lixiviados dos fertilizantes agrícolas. Esses compostos causam um aumento da concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo) nos corpos de água, provocando o crescimento acelerado de algas e cianobactérias, que causam diversos efeitos adversos, como mudanças na aparência da água, impedimento da entrada de luz e consumo de oxigênio dissolvido na água. |
| Fossa absorvente | Também chamada de fossa negra, rudimentar ou caipira, consiste em um buraco que recebe esgotos domésticos, permitindo a infiltração da parte líquida no solo. Pode oferecer grandes riscos de contaminação do solo e águas subterrâneas, sendo considerada, em alguns casos, como uma forma inadequada de disposição de esgotos. |
| Lençol freático | O lençol freático marca a zona em que todos os poros do solo estão cheio de água (ou saturados). O nível do lençol freático é a profundidade em que este se encontra, e pode ser observado nos poços rasos (poços caipiras ou freáticos). |
| Lodo | Sólidos gerados no tratamento do esgoto, ricos em microrganismos e matéria orgânica. |

| | |
|----------------------|--|
| Meio suporte | Material utilizado para preenchimento de algumas unidades de tratamento (ex: filtro anaeróbio, sistemas alagados construídos, filtro de areia, vermifiltro) no qual o biofilme cresce aderido. Sinônimo de material suporte. |
| Patógenos | Microrganismos nocivos à saúde humana e animal. |
| pH | Potencial hidrogeniônico, parâmetro usado para determinar o estado de acidez ($\text{pH} < 7$), basicidade ($\text{pH} > 7$) ou neutralidade ($\text{pH} = 7$) da água. |
| Sistema Semicoletivo | Sistema de tratamento de esgotos que atende várias unidades familiares, com número aproximado de até 20 moradores. |
| Sistema Unifamiliar | Sistema de tratamento de esgotos que atende uma unidade familiar ou uma construção. |
| Tanque séptico | Também chamado de fossa séptica, consiste em um tanque impermeável utilizado para o tratamento de esgotos. O esgoto permanece por algumas horas em seu interior, o que permite a sedimentação de partículas sólidas em seu fundo que formam um lodo rico em microrganismos. Essa biomassa é responsável pela decomposição da matéria orgânica presente no líquido. |

Prefácio

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - Seção São Paulo (ABES-SP) criou, em 2007, a Câmara Técnica de Saneamento e Saúde em Comunidades Isoladas, com o objetivo de fomentar a discussão e a criação de políticas públicas que atendam às demandas técnicas e de gestão de serviços de saneamento básico em comunidades isoladas.

Por sua vez, desde 1999 a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (FEC/UNICAMP) tem atuado ativamente no desenvolvimento de tecnologias acessíveis às comunidades rurais ou isoladas. Na maior parte dessa história houve uma importante parceria com universidades de todo o Brasil, que estavam abrigadas no Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (Prosab). As tecnologias desenvolvidas foram voltadas às pequenas comunidades, sempre atentando aos aspectos de viabilidade econômica e social.

Desde 2011, a ABES-SP e a FEC/UNICAMP estabeleceram uma integração na discussão e análise de modelos e experiências de saneamento descentralizado que estão sendo desenvolvidos no Brasil, tanto no âmbito da academia, quanto fora. Como fruto dessa parceria foi realizado, em 2013, o evento intitulado “Soluções Inovadoras de Tratamento e Reúso de Esgoto em Comunidades Isoladas - Aspectos Técnicos e Institucionais” e em 2015 o “Seminário Regional de Saneamento Rural: Conhecer e Discutir Modelos de Gestão em Saneamento Rural”. Nesses eventos foram apresentadas novas práticas para o saneamento rural e descentralizado, além de haver uma ampla discussão a respeito dos entraves legais e institucionais para sua implantação.

Como recomendação desses seminários, foi criado o Grupo de Trabalho Alternativas Técnicas de Tratamento e Reúso de Esgotos Domésticos em Comunidades Isoladas. Esse grupo possibilitou uma frutífera discussão sobre tecnologias e gestão em comunidades isoladas e permitiu a reunião de diversos profissionais além daqueles que iniciaram os trabalhos. Como consequência, foram desenvolvidos projetos de

extensão e parcerias com alguns municípios da região de Campinas, sempre voltados para o saneamento rural.

A partir dessa experiência, foi constatada a escassez de textos brasileiros que fossem simplificados e didáticos ao propor e discutir a temática do saneamento em comunidades isoladas, acessíveis não somente aos profissionais do meio acadêmico, mas também àqueles que atuam diretamente com a questão sanitária nas próprias localidades.

Publicações importantes sobre o tema já foram elaboradas no país, especialmente no que se refere ao aspecto tecnológico, como, por exemplo, o Manual de Saneamento (FUNASA, 2015) e as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 7229/1993- Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos) e NBR 13969/1997 (Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação). Porém, novas experiências em saneamento em comunidades isoladas vêm acontecendo no Brasil e no mundo, de forma que se faz necessário tornar públicos os novos conhecimentos produzidos na área.

Nasceu aí a ideia da elaboração do presente texto - **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: Referencial para a escolha de soluções** -, o qual foi discutido e debatido em inúmeras reuniões e conversas entre os autores e colaboradores da publicação, incluindo professores, pesquisadores e profissionais da área de saneamento. A linguagem e o formato da publicação foram desenvolvidos para que os profissionais da área, bem como os próprios usuários dos sistemas de tratamento de esgoto, possam aproveitar as informações e se tornar multiplicadores das boas experiências apresentadas aqui.

Nossos principais objetivos são:

- a) Apresentar alternativas de tratamento de esgoto doméstico em comunidades isoladas e auxiliar os moradores dessas localidades, gestores públicos e técnicos a fazerem as melhores escolhas de tecnologia para cada caso;
- b) Divulgar projetos bem-sucedidos e inovadores de tratamento descentralizado de esgotos domésticos, elaborados por universidades, institutos de pesquisa, institutos de permacultura e agroecologia, prefeituras municipais e ONGs, no âmbito unifamiliar ou semicoletivo.

Buscando ampliar sua difusão, esse referencial está associado a uma página na internet (www.fec.unicamp.br/~saneamentorural),

que será atualizada frequentemente e que vai buscar reunir ainda mais experiências e informações relevantes acerca do tema. Com isso, espera-se não somente que todos tenham amplo acesso ao conteúdo aqui exposto, mas que também possam contribuir com sua melhoria, relatando suas experiências e compartilhando seus questionamentos.

Neste referencial serão apresentadas diversas tecnologias que poderão contribuir com o tratamento de esgotos e sua disposição final em comunidades isoladas e, para facilitar seu uso, foram criadas fichas que poderão ser utilizadas de forma independente em relação ao texto. Disponíveis para download na página da internet, seu formato possibilita o fácil uso em computadores ou até mesmo celulares.

Ao prepararmos o texto, nos deparamos com problemas e dúvidas que ainda persistem na literatura brasileira, como, por exemplo: As fossas absorventes, rudimentares, caipiras ou erroneamente chamadas de negras são sempre uma forma inadequada de saneamento? O que devemos fazer com o lodo gerado nos sistemas que produzem esse resíduo? Como deve ser praticado o reúso nas comunidades rurais sem colocar em risco a saúde da população? Tais dúvidas demonstram que ainda temos muito a evoluir no saneamento descentralizado, apesar de o tema ter entrado em destaque e ter avançado nos últimos anos.

Finalmente, gostaríamos de agradecer a todos os que colaboraram e que virão a colaborar com a execução deste trabalho.

Boa leitura!

Capítulo 1

Introdução

O saneamento básico é definido pela lei nº 11.445 de 5 de janeiro de 2007 como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais em quatro áreas: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais (BRASIL, 2007). Além de trazer definições importantes, a lei também estabelece diretrizes nacionais e princípios fundamentais para a universalização do acesso ao saneamento, proposta esta que passa, necessariamente, pelo equacionamento da situação das comunidades isoladas.

O termo comunidades isoladas foi cunhado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES-SP) para designar núcleos habitacionais que não estão conectados aos serviços públicos de saneamento básico. Esse isolamento pode ocorrer por conta de inviabilidade técnica, econômica e/ou política, sendo fruto de diversos fatores, tais como: grande distância em relação à sede do município, difícil acesso, baixa densidade populacional, grande dispersão entre os domicílios ou situação de irregularidade fundiária. Nessas localidades, as redes de distribuição de água e de coleta de esgoto não existem ou são insuficientes, levando à adoção de soluções locais, unifamiliares ou semicoletivas¹ (FIGURA 1 E FIGURA 2).

As comunidades isoladas podem se localizar em periferias urbanas, áreas periurbanas/ rururbanas², rurais ou litorâneas e podem, inclusive, estar muito próximas ou ser contíguas às regiões atendidas pelos serviços

1 A definição de soluções unifamiliares e semicoletivas será feita no Capítulo 2 e será mais discutida no Capítulo 3.

2 Áreas periurbanas ou rururbanas são conceitos recentes e que definem espaços onde as atividades rurais e urbanas se misturam, dificultando a determinação dos limites físicos e sociais do espaço urbano e do rural. Nesta publicação, estes dois termos serão considerados sinônimos.

municipais de saneamento e, mesmo assim, estarem desconectadas destes (FIGURA 3). As comunidades isoladas também podem estar localizadas em territórios especiais, como unidades de conservação, terras indígenas, territórios quilombolas e outros de populações tradicionais. Todos esses territórios apresentam especificidades que os diferenciam consideravelmente dos núcleos com acesso aos serviços centralizados de saneamento, requerendo, portanto, uma abordagem diferenciada para a implantação e operação dos seus sistemas de saneamento básico.

FIGURA 1. Exemplo de solução unifamiliar para tratamento de esgoto em comunidades isoladas. Tanque séptico seguido de filtro anaeróbio e vala de infiltração em comunidade rural de Campinas-SP (Foto: Isabel Figueiredo)



FIGURA 2. Exemplo de solução semicoletiva para tratamento de esgoto em comunidades isoladas. Tanques sépticos em série (A) e sistemas alagados construídos - SAC (B) implantados em Holambra-SP (Fotos: Isabel Figueiredo).

O poder público e a sociedade têm buscado soluções sustentáveis para o saneamento em comunidades isoladas há alguns anos, mas o tema é polêmico e esbarra em um aspecto crucial: é fundamental que sejam adotadas estratégias diferenciadas que respeitem a diversidade cultural e ambiental das comunidades. Não há “receita de bolo” e nem uma

solução única que possa ser aplicada a todas as situações. Nesse sentido, as Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico (BRASIL, 2007) estabelecem como um dos princípios fundamentais a adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais. Outro ponto fundamental é o envolvimento das próprias comunidades isoladas na discussão e escolha das melhores alternativas para o tratamento e disposição do esgoto tratado e da forma adequada de gestão dos sistemas.

Nos próximos capítulos, esses desafios do tratamento de esgoto em comunidades isoladas serão abordados e será apresentada uma proposta de escolha das tecnologias de tratamento e disposição final do esgoto tratado. A publicação não abordará soluções desenvolvidas exclusivamente por empresas, tecnologias patenteadas e nem tecnologias comumente utilizadas em grandes estações de tratamento de esgoto, por serem mais complexas tecnicamente e terem manutenção e operação mais custosas e dependentes de insumos e serviços externos. As tecnologias abordadas aqui incluem sistemas unifamiliares e algumas vezes pequenos sistemas semicoletivos para o tratamento de esgotos sanitários, especialmente em localidades não urbanas. A maioria das alternativas é mais adequada a áreas rurais ou regiões pouco adensadas, já que é necessário contar com o solo para a implantação das unidades de tratamento e disposição final do esgoto, o que fica comprometido em regiões densamente ocupadas como a maioria dos núcleos urbanos.

Tampouco abordaremos aqui sistemas capazes de tratar esgotos provenientes de pocilgas, abatedouros, indústria de laticínios, usinas de cana-de-açúcar e outros estabelecimentos rurais de maior porte. Nosso foco é o tratamento e disposição final de esgotos de origem doméstica, de uma residência ou de um pequeno agrupamento de residências, e também de pequenos coletivos como escolas, centros comunitários, pousadas e comércios locais.

As tecnologias abordadas aqui são simples e buscam seguir os princípios da sustentabilidade, sendo economicamente viáveis, ambientalmente corretas e socialmente acessíveis.



FIGURA 3. Região rural muito próxima ao bairro urbanizado e, mesmo assim, isolada dos serviços de saneamento (Foto: Carlos Fabricio Reis).

Avalie e contribua para este capítulo clicando no botão abaixo:

Capítulo 2

Panorama atual e desafios do esgotamento sanitário em comunidades isoladas no Brasil

Boas práticas de saneamento são fundamentais não apenas para evitar doenças – especialmente as de veiculação hídrica – mas também para promover a saúde, proteger o meio ambiente e aumentar a qualidade de vida da população. No entanto, a utilização do saneamento como instrumento de promoção dessa qualidade de vida pressupõe a superação de entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que dificultam, por exemplo, o atendimento às populações que habitam zonas rurais e municípios de pequeno porte (FUNASA, 2007) e também às comunidades isoladas.

O esgotamento sanitário pode ser definido como o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente (BRASIL, 2007). Apesar de ser um serviço de saneamento básico essencial para a promoção da saúde da população e para a proteção ambiental, estima-se que cerca de 2,4 bilhões de pessoas no mundo ainda vivam sem acesso a práticas adequadas de esgotamento sanitário, o que representa cerca de 32% da população global (WHO/UNICEF, 2015).

Essa também é a realidade do Brasil, já que, entre os serviços nacionais de saneamento básico, o esgotamento sanitário é o que apresenta menor abrangência municipal (LANDAU e MOURA, 2016). Pouco mais da metade dos municípios brasileiros possui esse serviço por rede coletora (55,2%), independente da extensão dessa rede, do número de domicílios ligados ao sistema de coleta e da qualidade do tratamento do esgoto coletado (IBGE, 2010). Estudo realizado pelo IBGE em 2013 – que incluiu 65130 domicílios – apontou que apenas 63,5% destes são atendidos por rede coletora, havendo enormes disparidades entre a cobertura na região Sudeste (88,3%) e Norte (19,3%), por exemplo (PNAD, 2015).

Nos municípios brasileiros como um todo, o destino mais comum para os esgotos domésticos ainda são fossas rudimentares (53,17%), havendo também fossas sépticas (8,03%) e valas a céu aberto, disposição direta em corpos d'água e outras formas de disposição incorreta (3,35%) (LANDAU e MOURA, 2016). Essa situação é mais comum em municípios e distritos de menor porte (menos de 50 000 habitantes), localidades preponderantemente rurais e com população mais dispersa (IBGE, 2010). Logo, se no Brasil como um todo a universalização dos serviços de esgotamento sanitário ainda é uma meta distante, a situação nas comunidades isoladas das redes públicas é ainda mais grave.

Comunidades isoladas urbanas

Comunidades isoladas urbanas têm sido alvo de poucas pesquisas no que se refere ao esgotamento sanitário e mais estudos precisam ser realizados para que a situação dessas populações seja mais conhecida. Dados do IBGE trazem a informação de que o tipo de esgotamento sanitário mais frequente em domicílios urbanos brasileiros é a rede geral de esgoto ou pluvial, presente em 64% das casas amostradas. No entanto, as fossas rudimentares e as fossas sépticas ainda estão presentes em 20 e 11%, respectivamente, dos domicílios urbanos e há ainda a disposição direta em ruas ou corpos d'água e residências sem banheiros em pouco mais de 5% dos domicílios (LANDAU e MOURA, 2016). Esses domicílios que não são atendidos por serviços de coleta de esgoto podem ser considerados comunidades isoladas urbanas



FIGURA 4. Saneamento básico precário em área urbana de Olinda/PE (Foto: Luana Cruz).

(FIGURAS 4 E 5).

O tema é complexo, já que existem realidades urbanas muito diferentes conforme a região do país, e situações particulares, como é o caso de áreas favelizadas (FIGURA 6). O problema do saneamento nas favelas tem raízes em questões institucionais e falta histórica de investimento. Além disso, o elevado adensamento, a pavimentação irregular e as estreitas vielas são obstáculos para a concretização dos serviços de saneamento (ALVIM, 2014). Em pesquisa realizada recentemente pelo Instituto Trata Brasil, foi estimado que cerca de 10 milhões de pessoas habitam áreas irregulares urbanas nas 100 maiores cidades brasileiras. Nessas áreas, o acesso às redes de coleta de esgoto acontece em apenas 9% dos domicílios, e é estimado que exista um déficit de 3 milhões de ligações para que se alcance a universalização



FIGURA 5. Lançamento de esgoto diretamente nas ruas de bairro urbanizado (Foto: Adriano L. Tonetti).

do atendimento (TRATA BRASIL, 2016).

Em comunidades urbanas localizadas na periferia de Fortaleza-CE, mais de 60% do esgoto é lançado em fossas rudimentares e 14% têm destinos inadequados, como valas a céu aberto, ligações pluviais e outros. Nas comunidades pesquisadas, os moradores listaram que as principais doenças e sintomas percebidos como consequências de condições precárias de saneamento são dengue, diarreia e infecções nos olhos e pele (TRATA BRASIL, 2016).

Esta situação não é incomum em outros municípios brasileiros, mesmo no estado de São Paulo que possui um dos maiores índices de desenvolvimento humano do país. Áreas favelizadas e irregulares nos municípios paulistas de Itaquaquecetuba, São Sebastião e Guarujá tratam o esgoto não coletado de maneira similar a outras áreas urbanas brasileiras onde o serviço de esgotamento sanitário é precário. Nas localidades pesquisadas, 54% do esgoto é destinado a fossas rudimentares, 17,5% a córregos ou mangues e 15% a valas a céu

FIGURA 6. Comunidade urbana favelizada em área de mangue (Foto: Adalgisa da Silva).



aberto (TRATA BRASIL, 2016).

Outro estudo realizado no estado de São Paulo, numa comunidade urbana de Mairiporã-SP localizada dentro de uma Área de Proteção de Mananciais, revela dados ainda mais alarmantes. Pesquisas realizadas no bairro com cerca de 50% dos domicílios apontam que mesmo havendo abastecimento de água pela concessionária, não há solução coletiva para a coleta e tratamento de esgoto. As águas cinzas provenientes do uso de tanques, máquinas de lavar roupa, chuveiros e pias são lançadas diretamente nas ruas por 90% dos domicílios. Já as águas de vaso sanitário e esgoto doméstico misto são direcionados a fossas em 98% dos domicílios. A maioria das fossas é rudimentar (60%) e está localizada em locais inacessíveis dentro dos lotes (ex: embaixo de construções) sem condição de receber manutenção adequada e obras de melhoria. Em relação à percepção dos moradores, foi constatado que existe desconhecimento em relação aos diferentes tipos de esgotos gerados nas residências e aos riscos que eles podem oferecer aos próprios moradores e vizinhos (BRASIL et al., 2014).

Comunidades isoladas rurais

Apesar de a falta de acesso a serviços de esgotamento sanitário também existir em grandes centros, há uma enorme disparidade da situação entre as áreas urbanas e as rurais. Sabe-se que a cada dez pessoas sem acesso a práticas adequadas de saneamento, sete vivem em áreas rurais (WHO/UNICEF, 2015). Nessas regiões, 49% da população ainda convive com práticas consideradas inadequadas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), como o uso de banheiros compartilhados, a defecação ao ar livre ou ainda o lançamento dos dejetos sem qualquer tratamento diretamente no solo ou

em corpos d'água (WHO/UNICEF, 2015).

Apesar de representarem uma parcela relativamente pequena da população total (16%), atualmente cerca de 30 milhões de pessoas vivem na zona rural brasileira (IBGE 2010), o que equivale à população de países como Peru, Venezuela ou Canadá. Esse número é bastante expressivo e pode ser até maior, conforme sugere a equipe do Programa Nacional de Saneamento Rural, se critérios diferentes forem utilizados para a definição rural/urbana feita pelo IBGE (RIGOTTI; HADAD, 2017) .

Dados do IBGE (PNAD, 2013) indicam que aproximadamente 8% dos domicílios rurais pesquisados estão conectados à rede coletora de esgoto e que 13% não possuem nenhum tipo de sistema de tratamento de esgoto. Entre os domicílios que possuem alguma forma de tratamento, 58% adotam soluções consideradas inadequadas para o esgotamento sanitário, tais como o uso de fossas absorventes inadequadamente construídas e outras formas de



FIGURA 7. Lançamento de esgoto in natura diretamente no solo em propriedade rural (Foto: Isabel Figueiredo).

tratamento e disposição final tal como o lançamento do esgoto em valas (**FIGURA 7**), corpos d'água e outras localidades.

Há, no entanto, outras fontes de dados que trazem informações mais aprofundadas em relação à realidade das comunidades rurais no que tange ao seu acesso aos serviços de

esgotamento sanitário. Um levantamento realizado por meio de 225 entrevistas em toda a zona rural do município paulista de Holambra em 2013³ mostra detalhes de como a população rural de 3.135 habitantes (além da significativa população flutuante diária) trata o esgoto doméstico gerado na região (SUPREMA, 2013). Nesse estudo, foi constatado que 60% dos domicílios utilizam fossas rudimentares e que 31% dos entrevistados não soube especificar o tipo de fossa utilizada na residência.

O grupo de pesquisa em saneamento da Unicamp vem analisando desde 2014 a situação sanitária da região rural de Campinas-SP⁴. Dados obtidos por meio de um diagnóstico rural participativo indicam que em 92% dos domicílios existe a segregação do esgoto em pelo menos duas frações: águas de vaso sanitário e águas cinzas (FIGUEIREDO, no prelo). A pesquisa também aponta que o esgoto proveniente de vasos sanitários, misturado ou não às águas cinzas, é disposto na maioria das vezes em fossas absorventes, também chamadas de negras, rudimentares ou caipiras (81%), as quais são buracos escavados no solo, que podem comprometer a saúde humana e o meio ambiente quando inadequadamente instaladas. Mas, também, há o uso de tanques sépticos seguidos de sumidouros (5%) e outros tipos de sistemas comerciais (4%). Lançamento direto no solo (FIGURA 7) ou em corpos d'água ainda representam 10% do destino final dos esgotos.

Apesar de os dados nacionais indicarem pequenos avanços no sentido da melhoria da situação de esgotamento sanitário na zona rural (LANDAU e MOURA, 2016), ainda é precária a situação na maioria das localidades e a universalização ainda é uma meta distante. Como consequência, as comunidades rurais do Brasil, principalmente aquelas de regiões mais pobres, ainda são alvo de constantes riscos e vulnerabilidade social (TEIXEIRA, 2014).

Sistemas descentralizados de tratamento de esgotos

Apesar do baixo índice de cobertura das áreas rurais do Brasil por redes coletoras de esgotos, isso por si só não é um agravante para as condições sanitárias (SOUSA, 2004; FUNASA 2015). Os sistemas locais de tratamento de esgoto (também chamados de descentralizados) – se bem projetados, construídos e operados – são boas alternativas para garantir a saúde da população e ao mesmo tempo manter a integridade ambiental dessas localidades (MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009), especialmente de áreas menos densamente habitadas (USEPA, 2002).

Sistemas descentralizados são muitas vezes tidos como sinônimos de precariedade e

3 Como cumprimento a um termo de ajuste de conduta (TAC) firmado com o Ministério Público de SP, foi construído um Plano de Saneamento Rural da Estância Turística de Holambra-SP. A prefeitura de Holambra contou com o apoio de diversas instituições, entre elas Abes-SP, Unicamp, Agência PCJ, Embrapa e Funasa. O plano é inovador e prevê a coleta e o tratamento de esgoto para 100% da área rural.

4 O grupo de pesquisa “Tratamento de efluentes e recuperação de recursos” da Unicamp desenvolve o projeto Saneamento Rural desde 2014, em parceria com a Associação de Proprietários Rurais e moradores de Pedra Branca e região, em Campinas-SP. O foco do projeto são ações de extensão e pesquisa relacionadas à aplicação de tecnologias alternativas para o tratamento de esgoto. São instituições parceiras do projeto a Abes-SP, Cati, Prefeitura Municipal de Campinas, Sindicato Rural de Campinas, Associação de Agricultura Natural de Campinas e região, Comitê PCJ.

subdesenvolvimento, sendo considerados inferiores a outras soluções disponíveis para os grandes centros urbanos, mas essa percepção não leva em consideração os entraves sociais e técnicos existentes em determinados contextos, que impedem a adoção de alternativas mais convencionais, consideradas mais eficientes e modernas pela maioria da população (SERAFIM; DIAS, 2013). Dessa forma, a estratégia de descentralização se mostra cada vez mais complementar e não oposta à de centralização do tratamento de esgotos na busca pela universalização dos serviços de esgotamento sanitário (LIBRALATO; GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2011).

De modo geral, sistemas descentralizados são aqueles que coletam, tratam e fazem a disposição final ou reúso do esgoto em local próximo à sua geração, diferentemente do que ocorre nos sistemas centralizados tradicionais. Alguns autores classificam os sistemas em centralizados ou descentralizados de acordo com o número de habitantes atendidos, a carga orgânica do esgoto e/ou o volume diário gerado (LIBRALATO; GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2011).

Na literatura, há várias propostas de classificação e nomenclaturas para os sistemas descentralizados (ex: *onsite, individual, cluster, satellite, semi-centralized*), mas o que é consenso é que existe uma ampla gama de possibilidades que se enquadram entre os dois extremos do tratamento de esgotos: pequenos sistemas descentralizados (unifamiliares) e grandes sistemas centralizados (grandes estações de tratamento de esgoto). Bueno (2017) faz uma síntese da diversidade de sistemas descentralizados na **FIGURA 8**.

Nesta publicação, são utilizados apenas dois termos, para facilitar a compreensão: unifamiliares e semicoletivos. Os sistemas unifamiliares (ou individuais) se referem àqueles que atendem uma família que habita um ou dois domicílios muito próximos. Sistemas semicoletivos são aqueles que fazem o tratamento de um pequeno agrupamento de casas ou espaços destinados a comércio ou prestação de serviços (exemplo: vilas, igrejas, pequenas escolas, mercearias, comércios e galpões rurais), que atendem até 20 pessoas⁵. A construção e a operação desses sistemas dispensam a obtenção de licenças ambientais em alguns casos, como será discutido no Capítulo 3.

5 Apesar de a legislação brasileira não determinar o número máximo de contribuintes para sistemas descentralizados unifamiliares ou semicoletivos, tomamos como referência o estipulado pela Agência dos Estados Unidos de Proteção Ambiental (USEPA, 2002), que fixa em 20 pessoas o número máximo de contribuintes de sistemas que não estão sujeitos a processos de licenciamento ambiental. Esse assunto será debatido com mais detalhe no **Capítulo 3**.

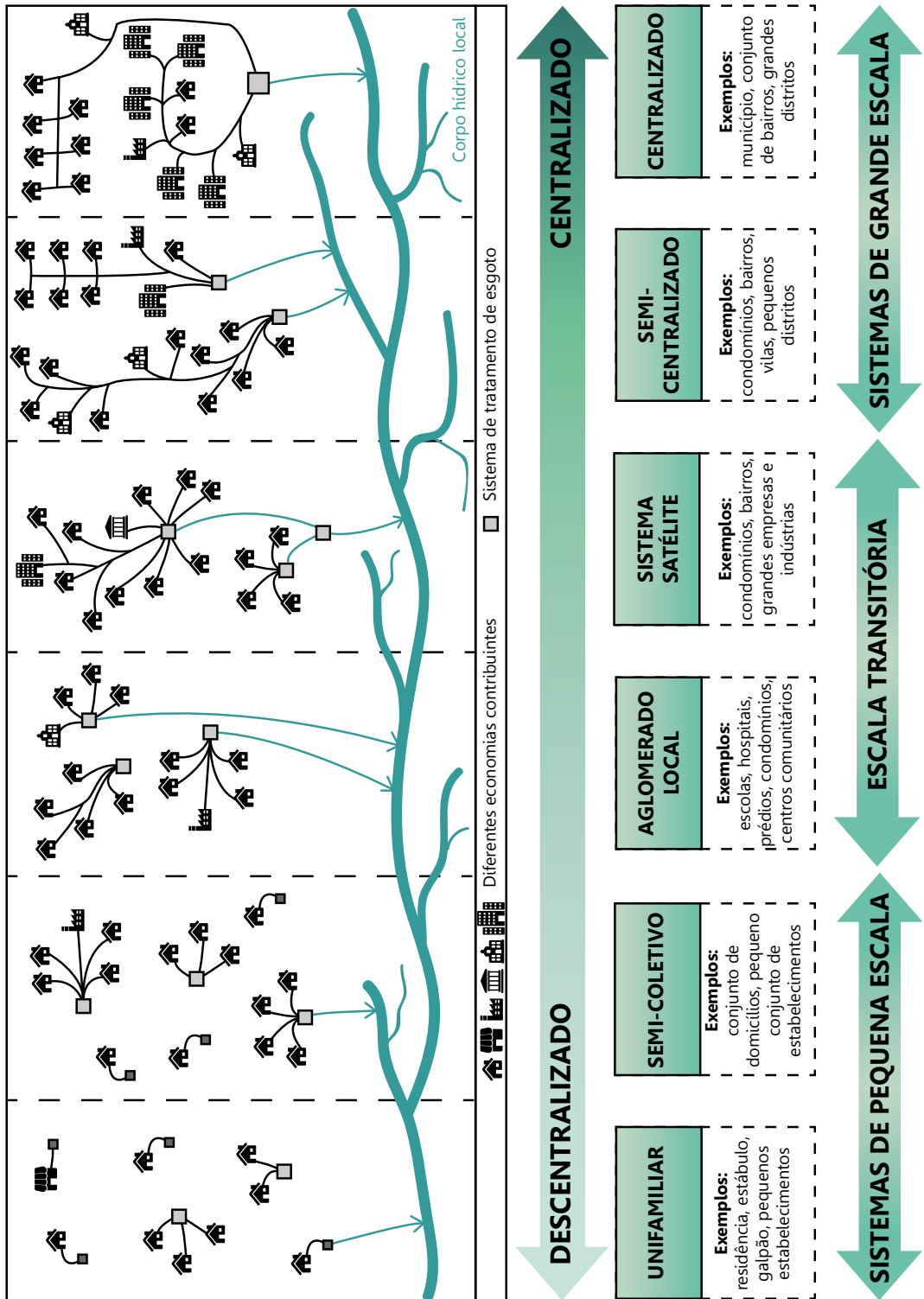


Figura 8. Gradiente de sistemas de tratamento de esgoto, conforme o seu nível de centralização ou descentralização (Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Bueno, 2017).

Vantagens dos sistemas descentralizados

Sistemas descentralizados vêm ganhando cada vez mais atenção por apresentarem vários benefícios amplamente discutidos na literatura, tais como a demanda por menos recursos financeiros na implementação, a contribuição com a sustentabilidade local (METCALF & EDDY, 2003) e a oportunidade de reúso de água e nutrientes localmente (GIKAS; TCHOUBANOUGLOUS, 2008). Outras vantagens que esse tipo de sistema pode apresentar são sintetizadas em um quadro adaptado de Bueno (2017), que as divide em quatro áreas: social, econômica, ambiental e operacional (**QUADRO 1**).

QUADRO 1. Principais vantagens do uso de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos Fonte: Elaborado pelos autores.

| ÁREA | VANTAGENS |
|--------------------|--|
| SOCIAL | <ul style="list-style-type: none">- Contribuem para a melhoria da saúde da população local- Podem gerar trabalho e renda- Podem ajudar a produzir alimentos, contribuindo com a segurança alimentar- São adaptáveis aos costumes e à cultura- Normalmente são bem aceitos pela população e entidades fiscalizadoras- Podem ajudar a compor o paisagismo local |
| ECONÓMICO | <ul style="list-style-type: none">- Os sistemas mais simples têm baixo custo de instalação- Consomem pouca energia e insumos externos- Alguns subprodutos do sistema têm valor comercial e podem gerar renda (alimentos, biogás, plantas ornamentais)- Há economia em adubos quando se utiliza o esgoto tratado na agricultura |
| AMBIENTAL | <ul style="list-style-type: none">- Sistemas unifamiliares podem ser compactos- Usam poucos insumos e energia na construção e operação- Reduzem a poluição do solo e corpos hídricos locais- Podem melhorar as condições ecológicas locais- Promovem o reúso de água e de nutrientes localmente |
| OPERACIONAL | <ul style="list-style-type: none">- Dispensam a construção de rede coletora local e estações elevatórias- Têm boa flexibilidade operacional- Podem ser ampliados ao longo do tempo- Têm baixo consumo de materiais e energia- Em boa parte dos casos, não se cobra pelo tratamento- Não requerem mão-de-obra especializada- Podem tratar águas cinzas e de vaso sanitário separadamente- São pouco influenciados por desastres naturais |

Desafios para a implantação e gestão de sistemas descentralizados

Apesar de os sistemas descentralizados apresentarem algumas vantagens em relação aos centralizados, existem muitos desafios que precisam ser vencidos para tornar sua implantação eficiente, viável e segura para as comunidades isoladas, especialmente no caso dos sistemas de menor escala. O primeiro desafio é a própria escolha das tecnologias de tratamento de esgoto mais adequadas para cada situação. Essa é uma tarefa complexa, que envolve avaliação de muitas variáveis simultaneamente.

Existe hoje uma ampla variedade de tecnologias disponíveis para áreas rurais e isoladas (FUNASA, 2015; MARTINETTI, 2015), mas não há consenso sobre qual seria a mais adequada do ponto de vista técnico. Gasi (1988) pontua a inexistência de soluções milagrosas e generalistas que possam ser aplicadas em todos os casos. A decisão deve, portanto, levar em conta as especificidades locais, dado que existem diferenças significativas entre as regiões brasileiras no que tange às suas características ambientais, socioeconômicas e culturais (GASI, 1988). A seguir são descritos alguns dos desafios que devem ser vencidos para a correta implantação e manutenção das tecnologias para tratamento de esgoto em comunidades isoladas.

● Desafio ambiental

Os aspectos técnicos e ambientais são normalmente os mais abordados quando se discute a escolha de um sistema descentralizado de tratamento de esgoto. Segundo a Agência dos Estados Unidos de Proteção Ambiental (USEPA, 2002), alguns dos principais problemas ambientais relacionados à implantação dos sistemas descentralizados são:

- a)** a sobrecarga e contaminação de solos com baixa capacidade de infiltração ou de solos com boa drenagem localizados em locais muito adensados;
- b)** a contaminação da água por nitratos⁶, fosfatos⁷ e patógenos⁸ provenientes de sistemas localizados muito próximos a reservas de água superficiais ou subterrâneas e

6 Nitrato é uma das formas oxidadas do nitrogênio (NO_3^-), e é encontrado nos esgotos tratados aerobiamente ou no solo, proveniente de esgotos tratados ou não e também de adubos. A ingestão contínua de nitrato pode causar metahemoglobinemia e toxicidade em crianças pequenas.

7 Fosfatos são uma família de compostos oxidados de fósforo. Dependendo da sua natureza, estão presentes na água e esgoto e/ou nos sólidos suspensos e sedimentos. O fósforo é um nutriente essencial para a vida, porém o seu acúmulo pode levar a sérios problemas ambientais, como a eutrofização de corpos de água.

8 Estudos retrataram a incidência de poluentes em poços rasos decorrentes da contaminação de águas subterrâneas por esgoto em regiões com precárias instalações unifamiliares de saneamento básico, tais como: Feira de Santana-BA (FILHO; CASTRO, 2005), Juazeiro do Norte-CE (FRANCA et al., 2006), região limítrofe dos municípios de Seropédica e Itaguaí-RJ (TUBBS; FREIRE; YOSHINAGA, 2004), Irati-PR (SOUZA; ANTONELI, 2010) e Anastácio-MS (CAPP et al., 2012).

c) a eutrofização⁹ de corpos d'água superficiais.

Outras características ambientais e do local de instalação que merecem destaque na escolha da tecnologia de tratamento de esgoto mais adequada (MARTINETTI, 2015) são:

- a) Presença de água nos banheiros (há água encanada nos banheiros?);
- b) Tipo de esgoto gerado (águas de vaso sanitário, águas cinzas ou esgoto doméstico);
- c) Área disponível para a implantação do sistema (tamanho da área e declividade do terreno);
- d) Tipo de solo local (arenoso, argiloso etc.);
- e) Profundidade do lençol freático;
- f) Presença de nascentes e cursos d'água superficiais e
- g) Clima.

Todos estes aspectos serão discutidos em maior detalhe nas Fichas de Tratamento c) de Esgoto (**Capítulo 5**) e Fichas de Disposição Final do Esgoto (**Capítulo 6**).

● Desafio econômico

A escolha da tecnologia de tratamento de esgoto passa também pelo custo de implantação, operação e manutenção. O custo de implantação é o custo com materiais e mão-de-obra necessários para a instalação inicial. Este pode ser diminuído quando os próprios beneficiados conseguem prover alguns serviços, tais como a escavação do solo e a construção do sistema em alvenaria. Outra forma de fazer a implantação é por meio de mutirões de construção que agreguem familiares, vizinhos e outras pessoas interessadas em aprender a construir os sistemas ou apenas em ajudar na sua construção (**FIGURA 9**).

A utilização de mão-de-obra local também é desejável, uma vez que além de gerar emprego e renda, os profissionais locais podem cobrar preços mais justos e estão sempre à disposição caso seja necessário alguma manutenção ou adequação nos sistemas.

Outra maneira de reduzir os custos é fazer uso de materiais alternativos para a construção e recheio dos sistemas (entulho de construção, bambu, coco verde) ou de materiais que já estavam disponíveis no local e que podem ser reaproveitados (tubulações, conexões, caixas d'água, zimbras de concreto, tijolos etc.).

⁹ Eutrofização é um processo que é resultado da poluição de lagos, lagoas ou rios pelo lançamento de esgotos ou lixiviados dos fertilizantes agrícolas. Esses compostos causam um aumento da concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo) nos corpos de água, provocando o crescimento acelerado de algas e cianobactérias, que causam diversos efeitos adversos, como mudanças na aparência da água, impedimento da entrada de luz e consumo de oxigênio dissolvido na água.



FIGURA 9A. Imagens de mutirões para a construção de sistemas de tratamento de esgoto no Projeto Saneamento Rural/Unicamp. Mutirão de construção de uma bacia de fossa verde ou evapotranspiração (Foto: Bárbara Silva).



FIGURA 9B. Mutirão de construção de tanque séptico e filtro anaeróbio de coco (Foto: Pedro Savastano).

O custo com a operação e manutenção dos sistemas descentralizados é normalmente pequeno, no entanto deve ser levado em consideração que alguns demandam a troca de material filtrante, a poda constante de plantas e a disposição final do lodo. Em alguns sistemas também pode haver despesas com energia se forem necessárias bombas de recalque para transportar o esgoto de regiões mais baixas para outras mais altas. Acordos de cooperação entre os moradores e o município e/ou empresa operadora do sistema devem ser considerados para garantir a regularidade e a qualidade de manutenção.

Figura 10. Discussão da tecnologia com a população participante do projeto Saneamento Rural em Pedra Branca, Campinas/SP (Foto: Isabel Figueiredo).



● Desafio social e cultural

Um dos fatores mais importantes para a implantação bem-sucedida de sistemas descentralizados de pequeno e médio porte é a aceitação da população e seu envolvimento no processo de escolha da tecnologia. A experiência acumulada pelas instituições nacionais que atuam na área demonstra que é essencial que o processo de seleção das tecnologias sanitárias para essas comunidades seja realizado com a participação efetiva da população atendida, levando em consideração a sua organização social, cultura e capacidade de apropriação tecnológica (SAMPAIO, 2011).

É a família beneficiada que sabe das suas reais necessidades e que conhece a sua realidade ambiental e econômica, e por isso ela deve se envolver ativamente na escolha da tecnologia que mais se adeque à sua situação. Nesse processo, a ajuda de técnicos no esclarecimento das dúvidas e na apresentação das opções viáveis é fundamental; mas a escolha não deveria caber somente aos profissionais. Tecnologias implantadas “de cima para baixo” por programas governamentais ou projetos de pesquisa quase sempre são abandonadas pela população ou têm o seu funcionamento muito prejudicado pelo seu desinteresse ou pela falta do conhecimento necessário para a manutenção do sistema.

Atenção especial deve ser dada à questão de gênero no saneamento e a sua implicação na escolha das tecnologias adotadas para o tratamento de esgoto. Desigualdades de gênero existem em todo o mundo e em todos os aspectos da vida social e também se refletem no acesso à água, esgotamento sanitário e higiene. Muitos estudos sugerem que as diferenças culturais, sociais, econômicas e biológicas entre mulheres e homens produzem oportunidades desiguais para as mulheres no acesso à água e esgotamento sanitário, com consequências

devastadoras para este grupo, bem como para homossexuais, transexuais e outras pessoas não binárias, inclusive com risco elevado de violência (ONU, 2016).

O tema é delicado e tem sido um dos focos do Programa Nacional de Saneamento Rural- PNSR (PNSR, 2018). Em 2017, foi realizada uma pesquisa na área, com o objetivo central de investigar as relações de gênero no contexto do saneamento e suas interfaces com as políticas públicas brasileiras e de abordar o tema a partir da realidade sanitária de três comunidades rurais (SILVA, 2017). A autora conclui que os principais marcos legais de saneamento brasileiros não contemplam as questões de gênero ou o fazem de maneira muito simplificada. Nas três comunidades estudadas, apesar de as mulheres e meninas terem papel chave nas atividades relacionadas ao saneamento na esfera domiciliar, são elas as mais impactadas quando as soluções sanitárias são ausentes e/ou precárias (SILVA, 2017).

● Desafio da gestão

A gestão de sistemas descentralizados de saneamento vem sendo pesquisada no Brasil há alguns anos, mas a grande maioria dos trabalhos existentes é focada no abastecimento de água. É o caso da recente publicação organizada pelo Banco Mundial (GARRIDO et al., 2016), que se propôs a avaliar a experiência de gestão de sistemas de abastecimento de água na zona rural brasileira, identificando o que os torna bem ou malsucedidos. Apesar de a pesquisa ser focada na água, há lições importantes que podem ser aplicadas na gestão de sistemas de tratamento de esgoto, especialmente dos semicoletivos.

Legalmente, os municípios brasileiros são responsáveis por promover a gestão dos serviços de saneamento, formular políticas e elaborar o plano municipal de saneamento básico (ATAIDE; BORJA, 2017). As zonas rurais e outras comunidades isoladas, no entanto, normalmente não são atendidas pelas companhias estaduais e são deixadas em segundo plano pelos departamentos ou companhias municipais (GARRIDO et al., 2016). Como consequência, cabe às próprias comunidades fazer a implantação dos sistemas de saneamento locais, normalmente sem nenhum apoio técnico.

Em alguns casos, há o auxílio de programas de desenvolvimento que fazem investimentos em sistemas que depois passam a ser gerenciados pela própria comunidade. Apesar de a realização de investimentos ser fundamental para a universalização dos serviços de saneamento em comunidades isoladas brasileiras, a simples execução de obras de infraestrutura não é suficiente para garantir o atendimento de qualidade para a população (GARRIDO et al., 2016). A infraestrutura implementada que não recebe acompanhamento técnico pode ser utilizada incorretamente ou ser perdida devido à falta de manutenção (Idem).

Ao analisar algumas experiências exitosas na gestão de sistemas de abastecimento de água no Brasil, Garrido et al. (2016) apontam que os problemas mais comumente encontrados são:

- a) Marco institucional: Há sobreposição de papéis e falta de coordenação efetiva. Faltam processos de planejamento com enfoque setorial;
- b) Desenvolvimento: lacuna financeira. Faltam critérios de equidade para alocar investimentos. Faltam programas permanentes para desenvolver capacidades locais. Sistemas de Informação desagregados;
- c) Sustentabilidade: Funcionalidade e qualidade dos serviços de saneamento não respondem às aspirações dos usuários. Custos de operação não são cobertos pelas tarifas pagas pelos usuários. Falta gestão de risco de desastre e controles ambientais (proteção de mananciais). Participação e satisfação dos usuários são limitadas.

O estudo conclui que as boas práticas de gestão isoladas ou unicomunitárias mostram que é possível a aplicação desse modelo.

No caso específico dos sistemas isolados de esgotamento sanitário, recomenda-se as seguintes diretrizes para a gestão, baseadas no estudo mencionado pelo Banco Mundial (GARRIDO et al., 2016) e também na experiência dos autores:

- a) Definição das tecnologias mais adequadas ao esgotamento sanitário de comunidades isoladas, sejam estas unifamiliares ou semicoletivas, de acordo com as características ambientais, sociais e econômicas locais;
- b) Regularidade na manutenção das unidades que compõem os sistemas (caixas de gordura, caixas de passagem, poços de visitas, filtros, tanques sépticos, valas de infiltração, vegetação etc.);
- c) Cobrança justa pelos serviços quando prestados por integrantes da comunidade ou outras instituições;
- d) Apoio técnico/operacional dos municípios e concessionárias para a gestão dos serviços, resolução de problemas e capacitação e modernização tecnológica;
- e) Realização de monitoramento dos esgotos tratados, monitoramento dos corpos hídricos receptores e criação de um sistema de informação, quando possível;
- f) Envolvimento e participação das comunidades na definição do sistema de tratamento de esgoto, sua localização e outros pontos referentes à sua manutenção e operação.

Cabe destacar que, em função do lançamento do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), o tema do saneamento rural tem sido amplamente discutido a partir do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), iniciativa da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) e Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Nesse ponto, o presente referencial sugere o acompanhamento das atividades desenvolvidas no PNSR através da sua página na internet (<http://pnsr.desa.ufmg.br/>).

Avalie e contribua para este capítulo clicando no botão abaixo:

Capítulo 3

Legislação ambiental aplicada ao saneamento descentralizado

A necessidade da implantação de sistemas de tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas deve ser avaliada também do ponto de vista dos instrumentos legais de proteção ao meio ambiente, incluindo o licenciamento ambiental, levando em conta não só as normas de proteção ao meio ambiente no âmbito federal, como também as regulamentações específicas de cada estado, que, no presente trabalho, serão circunscritos ao estado de São Paulo.

Sobre o direito ao meio ambiente equilibrado

Disciplina a Constituição Federal de 1988 que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”, incumbindo ao poder público a proteção da fauna e da flora, sendo “vedadas, na forma da Lei, as práticas que coloquem em risco sua função ecológica”, especificando, ainda que “as condutas e atividades consideradas lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar os danos causados” (artigo 225, caput, § 1º, inciso VII, e § 3º) (BRASIL, 1988).

O direito ao meio ambiente equilibrado confunde-se assim com o próprio direito à vida, matriz de todos os demais direitos fundamentais. Nesse sentido, o cuidado com a sua proteção não é exclusividade da União, estado ou município, sendo necessária a cooperação dos cidadãos para que esse objetivo seja atingido.

Sobre a poluição e o controle da qualidade ambiental

No âmbito infraconstitucional, a Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, define poluição como “a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos” (Cf. Art. 3º, III, alíneas “a” à “e”) (BRASIL, 1981).

A Constituição Estadual Paulista, por seu turno, informa que “o Estado, mediante lei, criará um sistema de administração da qualidade ambiental, proteção, controle e desenvolvimento do meio ambiente e uso adequado dos recursos naturais, para organizar, coordenar e integrar as ações de órgão e entidades da administração pública direta e indireta, assegurada participação da coletividade, com o fim de proteger a flora e a fauna, vedadas as práticas que coloquem em risco a sua função ecológica” (artigo 193, inciso X)(SÃO PAULO, 1989).

A Lei Estadual Paulista nº 997/76, no art. 3º, considera poluição do meio ambiente “a presença, o lançamento ou a liberação, nas águas, no ar ou no solo, de toda e qualquer matéria ou energia, com intensidade, em quantidade, de concentração ou com características [...] que tornem ou possam tornar as águas, o ar ou solo impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde; inconvenientes ao bem-estar público, danosos aos materiais, à fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da sociedade” (SÃO PAULO, 1976).

O Decreto Estadual nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que regulamentou a lei nº 997/76, estipulou que:

Art. 3 - Considera-se poluente toda e qualquer forma de matéria ou energia lançada ou liberada nas águas, no ar e no solo:

I - com intensidade, em quantidade e de concentração, em desacordo com os padrões de emissão estabelecidos neste Regulamento e normas dele decorrentes;

[...]

V - que, independentemente de estarem enquadrados nos incisos anteriores, tornem ou possam tornar as águas, o ar ou o solo impróprios, nocivos ou ofensivos à saúde; inconvenientes ao bem-estar público; danosos aos materiais, à fauna e à flora; prejudiciais à segurança, ao uso e gozo da propriedade, bem como às atividades normais da comunidade. (SÃO PAULO, 1976b)

Reza o artigo 17 daquele Decreto que:

“Os efluentes de qualquer natureza somente poderão ser lançados nas águas interiores ou costeiras, superficiais ou subterrâneas, situadas no território do Estado, desde que não sejam considerados poluentes, na forma estabelecida no artigo 3º deste Regulamento”. (SÃO PAULO, 1976b)

Sobre o saneamento básico

Embora trate da coleta de resíduos e drenagem exclusivamente para áreas urbanas, a Lei Federal 11.445/2007 (BRASIL, 2007), que instituiu as Diretrizes e a Política Federal de Saneamento Básico, trouxe, em seu artigo 3º, a definição de saneamento básico:

Art. 3º - Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - saneamento básico: conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

a) abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;

b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento, e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;

c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;

d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas. (BRASIL, 2007)

Essa lei menciona, entre as diretrizes do saneamento: “garantia de meios adequados para o atendimento da população rural dispersa, inclusive mediante a utilização de soluções compatíveis com suas características econômicas e sociais peculiares” (BRASIL, 2007). E, entre os objetivos: “proporcionar condições adequadas de salubridade ambiental às populações rurais e de pequenos núcleos urbanos isolados” (Art. 48, inciso VII e Art. 49, inciso IV) (BRASIL, 2007).

Também dispõe em seu artigo 52 a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), sob coordenação do Ministério das Cidades, contendo três programas:

Saneamento Básico Integrado e Saneamento Estruturante, a cargo do Ministério das Cidades, e Saneamento Rural, a cargo do Ministério da Saúde/Funasa (BRASIL, 2007).

A Assembleia Geral das Nações Unidas, em 28 de julho de 2010, por meio da Resolução A/RES/64/292 (ONU, 2010), declarou o acesso à água limpa e segura e ao saneamento direitos humanos essenciais para gozar plenamente a vida e todos os outros direitos humanos. Em abril de 2011, o Conselho dos Direitos Humanos da ONU reiterou tal consideração, declarando esse acesso um direito à vida e à dignidade humana (ONU, 2011).

Sobre o licenciamento ambiental

Além de enfrentar dificuldades como a dispersão dos locais de implantação, a resistência dos usuários ao uso das tecnologias disponíveis e a equalização da responsabilidade pela gestão do sistema, a implantação de tecnologias de saneamento em comunidades isoladas, áreas rurais e zonas periféricas pode ainda estar sujeita à necessidade do licenciamento ambiental para os sistemas propostos.

Para o órgão licenciador do estado de São Paulo, a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb), mantém-se a tradicional dicotomia solução unifamiliar versus sistema coletivo. O primeiro não se submete ao licenciamento, mas no caso do sistema coletivo, a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) proposta deve atender aos padrões de emissão, padrão de qualidade, classificação legal e legislações específicas. A implantação de sistemas semicoletivos irá demandar, do ponto de vista do licenciamento ambiental, uma análise de cada caso concreto, não havendo normativa que indique o número mínimo de residências para se considerar coletivo um sistema de coleta, afastamento e tratamento de esgotos domésticos. Entretanto, sistemas de tratamento e disposições unifamiliares ou semicoletivos em área rural em seu conjunto podem, em regra, ser considerados como soluções individuais e dispensam a obtenção de licenciamento ambiental.

Os padrões de emissão e, em consequência, os parâmetros de lançamento de acordo com o corpo receptor são definidos na legislação estadual, Decreto 8.468/76 (art. 18) (SÃO PAULO, 1976), que regulamentou a Lei 997/76, e na legislação federal, Resolução Conama 430/11 (art. 21, que alterou o art. 34 da Resolução Conama 357/05 (CONAMA, 2011)). Ambas as normas (art. 18 e 21) se assemelham quanto ao pH (5,0 - 9,0) e sólidos sedimentáveis (1,0 ml/l) presentes na água, variando, entretanto, quanto à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), que, na legislação paulista, é de 60,0 mg/l (ou remoção de 80%) e na legislação federal é de 120,0 mg/l (ou remoção mínima de 60%).

A leitura dos instrumentos normativos federais citados, no entanto, demonstra que o objeto principal de normatização é a qualidade dos corpos d'água e o estabelecimento de padrões de lançamento para os esgotos que serão lançados direta ou indiretamente neles, que são divididos em classes, segundo seus usos preponderantes. No estado de São Paulo, o Decreto Estadual 8.468/76 (SÃO PAULO, 1976), em seu art. 7º, classificou as águas interiores

em quatro classes (1 a 4), sendo que a identificação de cada corpo d'água no estado em relação à sua classe ficou estabelecida pelo Decreto Estadual nº 10.755/77 (SÃO PAULO, 1977).

No caso da legislação paulista, a regulamentação dada pela Lei Estadual 997/76 é mais abrangente, na medida em que proíbe o lançamento ou liberação de poluentes nas águas, no ar ou no solo (art. 3º) (SÃO PAULO, 1976).

A proibição de lançamento ou liberação de poluentes diretamente no solo é relevante para a presente análise, pois, no caso do saneamento rural, não há necessariamente o lançamento de esgotos em corpos d'água dado que, muitas vezes, a(s) residência(s) situa(m)-se afastada(s) de qualquer córrego. Portanto, a infiltração no solo do esgoto, tratado ou não, é a opção mais adotada em grande parte dos casos.

Embora não submetidos a processo de licenciamento, os sistemas unifamiliares deveriam seguir determinadas premissas de instalação, como a capacidade de percolação do solo e o nível do lençol freático; a concentração de sistemas unifamiliares em lotes pequenos; a adequação do local de infiltração e a operação e manutenção desses sistemas pelos usuários.

Além dessas regras gerais para o lançamento de esgotos, áreas de proteção de mananciais (APM) ou áreas de proteção ambiental (APA) também podem conter normas mais restritivas quanto ao lançamento de esgotos, tais como as regras para a disposição adequada de esgotos em área de proteção de mananciais da região metropolitana de São Paulo (Decisão de Diretoria CETESB nº 201/2004/C) e no Decreto Estadual nº 30.817/89 referente à APA de Ilha Comprida) (SÃO PAULO, 1989).

Do ponto de vista normativo técnico, para o atendimento a unidades unifamiliares ou a um conjunto de residências próximas entre si em áreas de baixa densidade habitacional, como as áreas rurais ou isoladas do sistema público de esgotamento sanitário, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dispõe das seguintes normas voltadas aos sistemas de coleta, tratamento e disposição final de esgotos em unidades residenciais e núcleos isolados e que atendam ao baixo potencial poluidor dessas situações:

a) NBR 7229/1993 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos (ABNT, 1993) e

b) NBR 13969/1997 – Tanques Sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos – Projeto construção e operação (ABNT, 1997).

Também é importante registrar a recente Portaria 268, de 22 de março de 2017, do Ministério das Cidades, que trata do Programa Minha Casa Minha Vida e do Programa Nacional de Habitação Rural e que visa promover incentivos à implantação de tecnologias de tratamento de esgoto na área rural (BRASIL, 2017). Conforme consta no Anexo A, relativo às subvenções econômicas (item 1.3.1, alínea b), sobre os limites estabelecidos para o custo de edificação ou de reforma da unidade habitacional poderão ser acrescidos, limitando-se ao valor de R\$ 2.500,00, os custos relativos à construção de soluções de tratamento de esgotos, tais como: sistemas para destinação de águas residuais, descritos no Manual de Orientações Técnicas para Elaboração de Propostas para o Programa de Melhorias Sanitárias Domiciliares, elaborado pela Fundação

Nacional de Saúde do Ministério da Saúde (FUNASA/MS, 2015) e fossas sépticas biodigestoras com projetos desenvolvidos ou aprovados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Embrapa/Mapa).

Avalie e contribua para este capítulo clicando no botão abaixo:

O processo de tratamento de esgotos em comunidades isoladas

O presente capítulo apresenta, de maneira sucinta, as principais etapas do tratamento de esgotos sanitários. A partir da compreensão dos processos envolvidos no tratamento, serão abordadas as peculiaridades das soluções unifamiliares e semicoletivas de tratamento de esgotos voltadas para comunidades isoladas.

Etapas do tratamento centralizado de esgotos domésticos

Um sistema convencional de tratamento de esgoto, normalmente centralizado e de grande porte, consiste no direcionamento de todo o esgoto doméstico coletado para uma estação (ETE), que pode abranger até quatro níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário, conforme mostra a FIGURA 11.

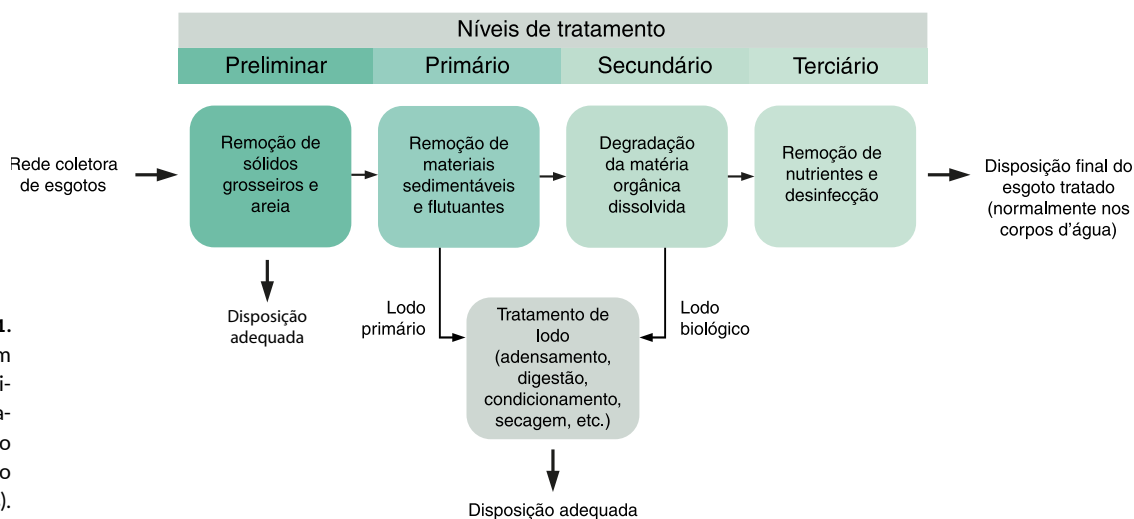


FIGURA 11. Fluxograma de um sistema centralizado de tratamento de esgoto (Fonte: Elaborado pelos autores).

O tratamento preliminar refere-se basicamente à remoção de sólidos grosseiros, como pedaços de madeira, tecidos, areia, plástico, papel e cabelo. A remoção ocorre por meio de grades (FIGURA 12) e desarenadores. Depois de separados do esgoto, esses sólidos devem ser dispostos de maneira adequada, devendo ser direcionados preferencialmente a um aterro sanitário.

FIGURA 12.
Gradeamento em
ETE (Foto: Adriano L.
Tonetti).



O tratamento primário tem como objetivo a remoção de sólidos sedimentáveis por meio de decantadores. Esses sólidos que se acumulam no fundo dos decantadores são denominados lodo primário e, depois de separados, são direcionados para outras unidades de tratamento responsáveis pelo seu adensamento, digestão biológica, secagem e disposição final adequada. Além dos sólidos sedimentáveis, o tratamento primário também remove sólidos flutuantes que se acumulam na parte superior do decantador. Os sólidos flutuantes são normalmente ricos em óleos e gorduras (graxas), e esse material também é removido e direcionado para outras unidades responsáveis pelo seu tratamento específico, junto com o lodo primário. O esgoto é então direcionado para a próxima etapa de tratamento, denominada tratamento secundário.

O tratamento secundário (FIGURA 13) é responsável pela degradação da matéria orgânica dissolvida do esgoto e isso é feito por uma unidade de tratamento biológico, na qual bactérias e outros microrganismos se alimentam de matéria orgânica, removendo-a assim do esgoto. Tais microrganismos formam uma fração de sólidos conhecida como lodo secundário. Esses sólidos devem passar por outras unidades para o seu adensamento, digestão, secagem e disposição final.

Por último, o tratamento terciário envolve a remoção de componentes específicos, como os nutrientes – Nitrogênio e Fósforo – e a desinfecção do esgoto tratado. Essa etapa do tratamento é pouco comum nas ETEs brasileiras.

O esgoto tratado que sai das ETEs normalmente é lançado em corpos de água (FIGURA 14). Para que isso possa ser feito, o esgoto deve ter algumas características determinadas pela

legislação ambiental e deve também estar em conformidade com a qualidade das águas do corpo receptor, dada pelo seu enquadramento (ver **Capítulo 3**).

Para aqueles que desejam se aprofundar no estudo das principais etapas do tratamento de esgotos domésticos, sugerimos os livros da coleção Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias e as publicações elaboradas pelo PROSAB.



FIGURA 13. Processo de tratamento secundário de esgoto, com tecnologia conhecida como lodos ativados (Foto: Adriano L. Tonetti).



FIGURA 14. Esgoto tratado em ETE, em conformidade para ser lançado em corpo hídrico (Foto: Adriano L. Tonetti).

Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas

No caso de comunidades isoladas, os sistemas de tratamento de esgoto doméstico podem ser simplificados e têm algumas peculiaridades, que serão detalhadas a seguir.

Separação do esgoto em pelo menos duas frações

Uma das diferenças mais marcantes em relação ao tratamento de esgotos centralizado é a segregação do esgoto doméstico em duas frações distintas, que normalmente são tratadas separadamente: as águas cinzas e as águas de vaso sanitário (também denominadas águas negras) (FIGURA 15). Essa separação dos esgotos é relatada como um importante passo para o seu tratamento mais simplificado e eficiente, dentro da perspectiva do saneamento ecológico (FONSECA, 2008).

FIGURA 15. Encanamento na parte externa do domicílio mostrando a segregação do esgoto em pelo menos duas frações distintas: águas cinzas (mangueiras flexíveis pretas e tubos azuis) e águas de vaso sanitário (tubulação branca de PVC) (Foto: Isabel Figueiredo).



Essa separação do esgoto é uma prática comum no Brasil rural e em outros países (WHO, 2006), e, no caso da zona rural de Campinas, foi observada em 92% das residências visitadas (FIGUEIREDO, no prelo). Na comunidade pesquisada, as águas cinzas provenientes de pias, tanque, máquina de lavar roupa e chuveiros recebem um tratamento “intuitivo”, sendo normalmente aplicadas diretamente no solo (FIGURA 16) ou em áreas com plantação de frutíferas e hortaliças, especialmente bananeiras (FIGURA 17).

Os produtores rurais entrevistados em Campinas/SP demonstraram ter pouca preocupação com o destino das águas cinzas, o que também é observado em outras partes do mundo (WHO, 2006). Há ainda a disposição de águas cinzas diretamente em corpos d’água ou em outros sistemas específicos, tais como filtros anaeróbios, mas essas situações são menos frequentes.

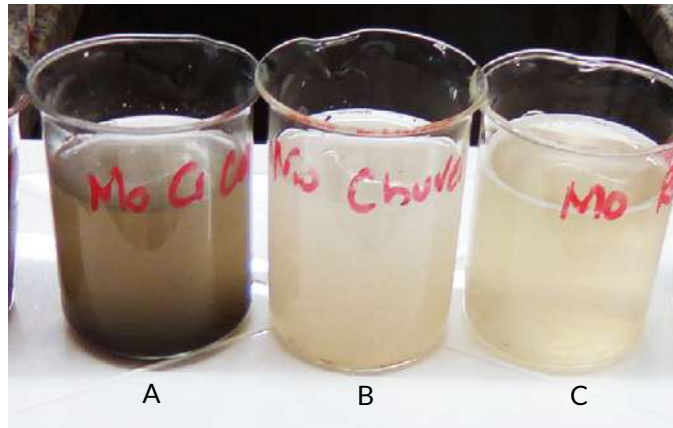


FIGURA 16.
Disposição de águas cinzas diretamente no solo (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 17.
Disposição de águas cinzas no solo, em locais próximos a taiobas (A) e bananeiras (B) (Fotos: Isabel Figueiredo).

FIGURA 18.
Diferentes tipos de águas cinzas geradas em residências rurais. (A) Cozinha. (B) Chuveiro (C) máquina de lavar roupa e tanque (Foto: Isabel C. S. Figueiredo).



Apesar de esse tratamento diferenciado em relação às águas cinzas ser muito comum, ele não é incluído nas normas técnicas vigentes; ainda é pouco relatado nas pesquisas de campo e pouco avaliado em relação ao seu possível impacto na qualidade do solo, das águas e na saúde humana.

Diferentes tipos de águas cinzas podem apresentar grandes variações na sua composição e potencial contaminante (FIGURA 18), e mais pesquisas são necessárias para avaliar a eficiência dos tratamentos alternativos que usam o solo e plantas. As características das águas cinzas dependem muito do comportamento de quem as gera, dos equipamentos utilizados e dos produtos químicos envolvidos e também variam conforme o local de produção e os fatores sociais e econômicos (JEFFERSON; JEFFREY, 2013).

Unidades de tratamento preliminar

Outra diferença em relação aos processos de tratamento de esgoto centralizados é que, normalmente, não há a necessidade de uma unidade de tratamento preliminar como caixas de areia e grades, desde que não sejam lançados objetos indesejáveis na tubulação coletora como, por exemplo, fraldas descartáveis, absorventes, preservativos, cabelo e qualquer outro material que possa ocasionar obstruções dos sistemas e das tubulações.

Em sistemas unifamiliares, a curta distância entre a residência e o sistema de tratamento inviabiliza a utilização de grades e peneiras para remoção de sólidos grosseiros e caixas de areia para a remoção de terra e areia, pois estas unidades poderiam provocar a retenção de fezes frescas e restos de alimentos, o que aumentaria a frequência de manutenção, ocasionaria odores desagradáveis e o aparecimento de animais vetores de doenças. Em sistemas semicoletivos que atendem um número maior de domicílios interligados por uma pequena rede local de coleta de esgoto (tubulações mais longas), é recomendável que sejam instaladas grades e uma caixa de areia para o pré-tratamento do esgoto, anteriormente ao início da unidade de tratamento escolhida.

A única unidade que obrigatoriamente deve ser instalada antes de qualquer sistema, tanto unifamiliar como semicoletivo, é a caixa de gordura. Ela deve receber as águas cinzas provenientes da cozinha, evitando que placas de gordura e sólidos se acumulem nas tubulações (FIGURA 19), prejudicando o funcionamento das próximas unidades de tratamento. Detalhes do dimensionamento e características adequadas para a caixa de gordura estão descritos na NBR 8160/1999 (ABNT, 1999). O proprietário ou construtor deve atentar para a sua vedação (para evitar mal cheiro e a entrada de insetos e águas de lavagem do piso e chuva) e para a altura entre entrada e saída da caixa, de forma a impedir a passagem da gordura e sólidos pela saída. Também há opções de caixas de gordura em polietileno e concreto pré-moldado, prontas para a instalação.



FIGURA 19A. Óleos e gorduras que se acumularam na tubulação de esgoto de 100mm, causando o seu entupimento (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 19B. Placas de gordura removidas de tubulação de esgoto residencial (Foto: Luana Cruz).



FIGURA 19C. Resíduo removido de dentro de uma caixa de gordura de uma residência na zona rural após seis meses de uso (Foto: Isabel Figueiredo).

A periodicidade de limpeza da caixa de gordura depende dos hábitos de uso da cozinha, especificamente no preparo de alimentos com gordura e/ou óleos, recomendando-se uma inspeção da caixa de gordura a cada seis meses para que seja avaliada a necessidade de limpeza ou de algum tipo de intervenção. Caso o acúmulo de gordura seja muito grande nesse período, a ponto de ocasionar obstrução e consequentes extravasamentos, pode ser feita a substituição da caixa por uma maior ou a instalação de uma caixa adicional.

O descarte do resíduo gerado na limpeza da caixa de gordura merece muita atenção, sendo recomendadas as seguintes opções: a) a contratação de uma empresa especializada para limpeza e destinação do resíduo a um local adequado; b) limpeza manual e descarte junto com o lixo comum, direcionado a um aterro sanitário; c) limpeza manual e enterramento no solo.

Os procedimentos e cuidados necessários para realizar uma limpeza manual são descritos na NBR 8160/1999 (ABNT, 1999). Esse material não deve ser descartado em vasos sanitários, ralos, rede de água da chuva ou terrenos baldios.

Tecnologias para o tratamento primário e secundário de esgoto

Em relação às tecnologias utilizadas para o tratamento do esgoto em sistemas descentralizados, elas são bastante diversas em relação às utilizadas em sistemas centralizados.

Usualmente, o tanque séptico (FICHA T09) é utilizado como tratamento primário e secundário, já que, além de remover os sólidos sedimentáveis e flotáveis (que boiam ou flutuam), essa unidade inicia a degradação biológica da matéria orgânica particulada do esgoto. Contudo, há outras opções de sistemas que não necessitam de um tanque séptico, como, por exemplo, as fossas verdes ou bacias de evapotranspiração (FICHA T07), a fossa séptica biodigestora (FICHA T08) e os reatores anaeróbios compartimentados (FICHA T14).

Diversas tecnologias podem ser utilizadas como tratamento secundário, isto é, como unidades de degradação biológica da matéria orgânica dissolvida do esgoto. Como exemplos temos os filtros anaeróbios (FICHA T10), sistemas alagados construídos (SAC) (FICHA T04), vermifiltros (FICHA T12) e filtros de areia (FICHA T11).

Quanto à remoção de nutrientes do esgoto, as alternativas aqui propostas colaboram pouco para alcançar esse objetivo. Infelizmente, o tratamento terciário exige uma maior complexidade operacional, instalação de outras unidades de tratamento e maior consumo de energia, tornando-se, no momento, tecnicamente e financeiramente inviável para localidades isoladas. Em alguns casos, os sistemas alagados construídos (FICHA T04) e biosistemas integrados (FICHA T15) podem consumir uma parte dos nutrientes do esgoto, mas, para que isso ocorra de maneira satisfatória, o sistema deve ser dimensionado e manejado de forma correta.

No próximo capítulo, 15 tecnologias para o tratamento de esgoto serão apresentadas e discutidas em maior detalhe. Na maioria dos sistemas de tratamento, há a produção de

lodo (primário ou secundário), que se acumula no interior do reator biológico. Como parte da manutenção desses sistemas, é recomendado que haja a remoção desse lodo periodicamente, conduzindo-o para tratamento e disposição adequados (**Capítulo 7**).

Sistemas descentralizados mais comuns no Brasil

Apesar de existir uma ampla gama de sistemas disponíveis para comunidades isoladas, ainda é muito comum no Brasil o uso de fossas absorventes, como comprovam os dados de pesquisas domiciliares realizadas nas áreas urbanas e rurais (PNAD, 2013). Essa solução continua sendo muito empregada em regiões rurais e eventualmente em zonas urbanas (FUNASA, 2015).

As fossas absorventes (FUNASA, 2015) ou fossas rudimentares (PNAD, 2013) são também conhecidas como fossas negras ou fossas caipiras e podem ser definidas como um poço ou buraco escavado no solo, sem impermeabilização ou com impermeabilização parcial, onde é feita a disposição do esgoto bruto conduzido por veiculação hídrica (FUNASA, 2015) (**FIGURA 20**). Ao receber diretamente o esgoto gerado nas residências, as fossas absorventes desempenham as funções de tanque séptico e sumidouro. No entanto, devido à maior quantidade de sólidos, matéria orgânica e lodo digerido acumulado em seu interior, o entupimento do solo na região da fossa absorvente pode ocorrer mais rapidamente do que nos sumidouros construídos após tanques sépticos (FUNASA, 2015)



FIGURA 20A. Exemplo de fossa absorvente ou rudimentar. Interior de uma fossa construída com anéis de concreto (o fundo não é impermeabilizado) (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 20B. Exemplo de fossa absorvente ou rudimentar. Fossa construída por meio da escavação de um buraco no solo, sem nenhum tipo de revestimento (Foto: Isabel Figueiredo).

As fossas absorventes são tipicamente projetadas e construídas de forma empírica, sem nenhum tipo de projeto ou avaliação das condições locais de instalação. Em muitos casos, as fossas apresentam, ao invés de tampas, apenas um fechamento precário (tábuas

de madeira, lonas plásticas ou telhas de fibrocimento), ou mesmo não apresentam nenhum tipo de fechamento, permitindo a entrada de água da chuva, o escoamento do esgoto na superfície do solo e a proliferação de vetores, oferecendo riscos aos moradores (FIGURA 21).

Os impactos ambientais que podem estar relacionados a esse tipo de sistema incluem a



FIGURA 21A. Fossa absorvente com fechamento precário. Tampa de telha de fibrocimento (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 21B. Fossa absorvente com fechamento precário. Tampa de concreto que cedeu com as chuvas (Foto: Isabel Figueiredo).

contaminação do solo e das fontes de água por patógenos e nitratos, condição esta que pode tornar as fossas absorventes uma alternativa pouco eficiente e insegura. Muitas instituições caracterizam a fossa absorvente como uma opção incorreta para o tratamento de esgotos em pequenas comunidades, independentemente da forma como ela foi construída ou do local em que está localizada. No entanto, apesar de existir muita discussão a respeito da adequação da fossa absorvente, ela é considerada internacionalmente (WHO, 2015) e mesmo nacionalmente (FUNASA, 2015) como uma forma de tratamento/disposição final que resolve satisfatoriamente aspectos de saúde pública. Em muitos casos, a fossa absorvente pode atender a aspectos de segurança no que tange à saúde pública e do ambiente, mas, para que isso ocorra, é necessário que se tome uma série de cuidados, tais como:

- a) Instalação de tampa firme e resistente;
- b) Vedação da tampa de forma adequada, impedindo o acesso de animais, de água da chuva e de pessoas;
- c) Construção da fossa em local com lençol freático profundo e que possibilite que o fluxo da água subterrânea primeiramente passe pelo poço e não pela fossa e
- d) Instalação da fossa em um local com baixa densidade populacional, ou seja, que garanta uma distância segura entre uma fossa e outra e entre as fossas e os pontos de

captação de água subterrânea ou superficial.

Depois das fossas rudimentares, o tanque séptico é a tecnologia mais utilizada no Brasil. Os tanques sépticos são definidos como reatores anaeróbios cuja função é reter e digerir os sólidos sedimentáveis e flutuantes. A sua simplicidade construtiva e a facilidade de manutenção tornam essa a tecnologia descentralizada mais comum no mundo (MASSOUD; TAHINI; NASR, 2009). No Brasil, esse sistema é normatizado pela NBR 7229/1993 (ABNT, 1993) e será mais detalhado na FICHA T09 (**Capítulo 5**).

Além das fossas absorventes e tanques sépticos, existem diversas alternativas sugeridas para áreas rurais e comunidades isoladas. Como tais tecnologias são muito variadas e distintas, será apresentada no **Capítulo 5** uma metodologia simplificada desenvolvida para facilitar a escolha da melhor opção.

Avalie e contribua para este capítulo clicando no botão abaixo:

Capítulo 5

Soluções para o tratamento de esgoto

Como resposta aos desafios relacionados à busca de sistemas de saneamento mais adequados para as comunidades isoladas, numerosas experiências têm sido desenvolvidas em diferentes partes do mundo, inclusive no Brasil. Essas experiências têm trazido melhorias nas condições de vida das comunidades, sem a destruição dos seus valores tradicionais, e muitas vezes possibilitando a geração de trabalho e renda (SERAFIM; DIAS, 2013). No âmbito dessas propostas, a orientação é que as tecnologias relacionadas ao saneamento busquem melhorar as condições de saúde e higiene das comunidades por meio de técnicas de baixo custo, que respeitem a cultura e os conhecimentos locais e que sejam ambientalmente sustentáveis.

Neste capítulo serão apresentadas 15 tecnologias selecionadas para o tratamento de esgotos em comunidades isoladas. A escolha dessas tecnologias foi baseada não apenas no que já está disponível no Manual de Saneamento elaborado pela Funasa (FUNASA, 2015) e nas normas técnicas da ABNT (ABNT, 1993 e 1997), mas também em resultados de pesquisas com sistemas novos ou modificados e na sua aplicação prática em comunidades isoladas. Foram priorizadas soluções unifamiliares, mas é indicado quando a tecnologia discutida pode ser adaptada para sistemas maiores e, quando pertinente, também são abordados sistemas semicoletivos (ex: Biosistemas integrados – FICHA T15).

As soluções aqui apresentadas possuem implantação, funcionamento e operação simplificados, capazes de garantir uma remoção eficaz de matéria orgânica do esgoto a baixo custo. Apesar de algumas dessas alternativas de tratamento ainda não serem contempladas pelas normas técnicas vigentes, elas têm sido usadas frequentemente em comunidades isoladas, além de

possuírem respaldo técnico, por serem objeto de pesquisas desenvolvidas em centros de pesquisas, universidades, prefeituras e ONGs.

A escolha da tecnologia mais adequada

Para que se possa escolher a tecnologia mais adequada às condições existentes, foi criado um fluxograma simplificado para facilitar a tomada de decisão. O fluxograma (**FIGURA 22**) considera o tipo de esgoto a ser tratado (ex.: águas cinzas, águas de vaso sanitário, esgoto doméstico ou esgoto misto) sugerindo diversas opções de tecnologias de tratamento possíveis para cada caso.

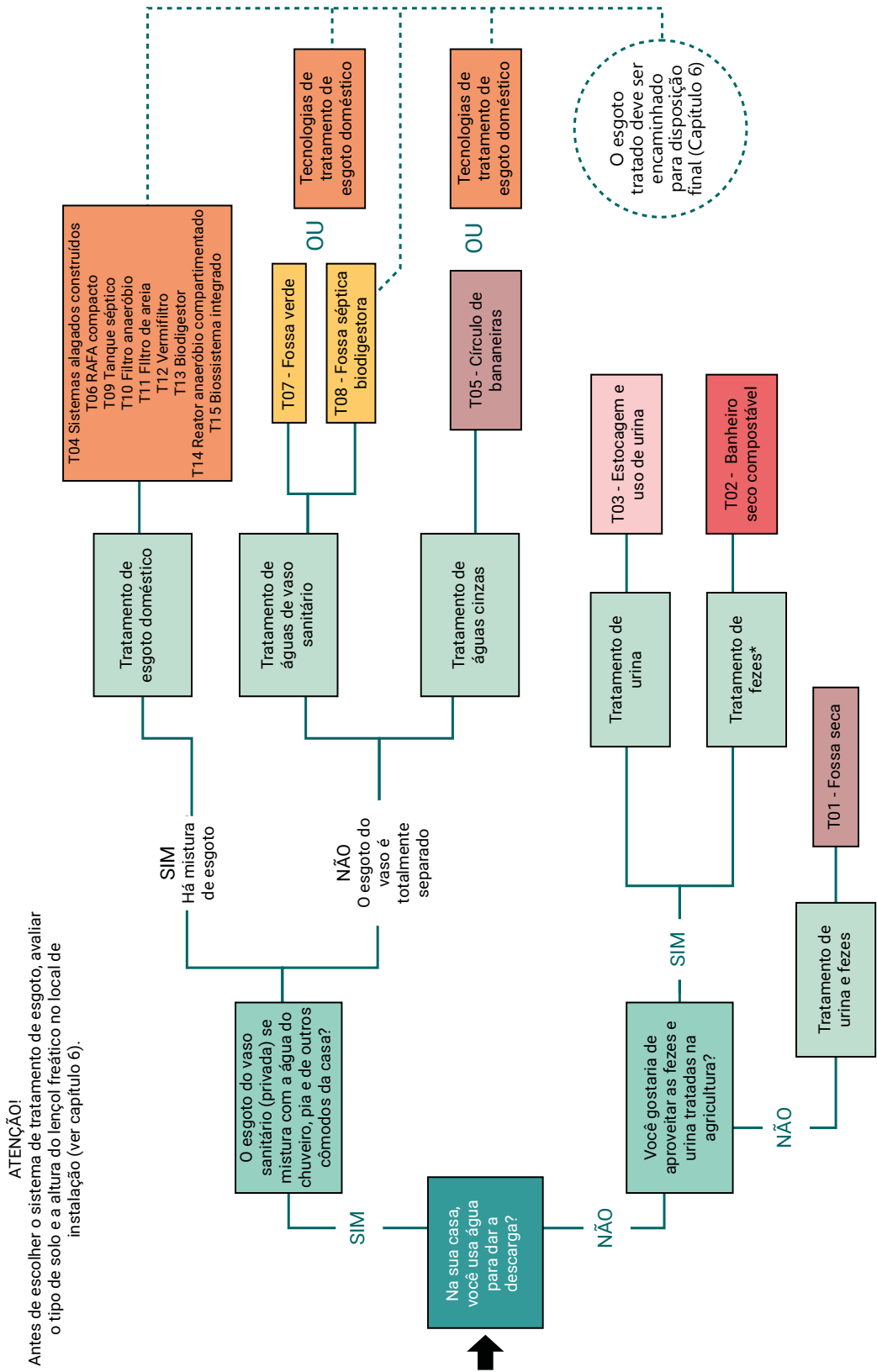
A cada pergunta feita no fluxograma, o interessado deve responder SIM ou NÃO. Cada resposta levará a uma nova pergunta ou à sugestão de uma tecnologia. Para cada tecnologia sugerida, há uma Ficha de Tratamento de Esgoto correspondente (**FICHAS T01 a T15**), que traz detalhes da sua construção e funcionamento, imagens da sua aplicação e desenhos esquemáticos dos sistemas, além de indicar referências bibliográficas para consulta e aprofundamento. Para fornecer uma visão geral de todas as tecnologias, também elaboramos um quadro (**QUADRO 2**) que resume as principais características das tecnologias¹⁰, comparando-as.

Vale lembrar que o tratamento do esgoto doméstico em comunidades isoladas não depende apenas da escolha da tecnologia de tratamento: é necessário também fazer a disposição final do esgoto tratado e do lodo gerado no processo (se houver). Por isso, é fundamental que, juntamente com a escolha do sistema mais adequado (**Capítulo 5**), sejam também avaliadas as possibilidades de disposição final do esgoto tratado, conforme o tipo de solo e altura do lençol freático (**Capítulo 6**) e as possibilidades de tratamento e uso do lodo, se este for gerado durante o processo (**Capítulo 7**).

¹⁰ Cabe destacar que não foi abordado aqui o uso das lagoas de estabilização, tecnologia que já é bastante utilizada em comunidades de pequeno e médio porte em todo o Brasil. Além disso, seus aspectos construtivos e dimensionamento são amplamente discutidos na literatura.

QUADRO 2. Síntese das principais características das quinze tecnologias selecionadas para o tratamento de esgoto de comunidades isoladas. Fonte: Elaborado pelos autores.

| Tecnologia | Tipo de esgoto tratado | Necessário unidade de pré-tratamento | Tipo de sistema | Área necessária* | Remoção de matéria orgânica | Frequência de manutenção | Remoção de Lodo | Custo** |
|--|---|--|-----------------------------|------------------|---|--------------------------|-----------------------------------|---------|
| T01 Fossa seca | Fezes e urina (sem água) | Não | Unifamiliar | 2 a 4 m² | Não se aplica | | Não | |
| T02 Banheiro seco compostável | Apenas fezes e um pouco de urina (sem água) | Não | Unifamiliar ou semicoletivo | 3 a 5 m² | Não se aplica | | Não, mas há produção de composto | |
| T03 Estocagem e uso da urina | Apenas urina (com ou sem água) | Não | Unifamiliar ou semicoletivo | 1 a 3 m² | Não se aplica | | Não | |
| T04 Sistemas alagados construídos (SAC) | Águas cinzas Esgoto pré-tratado | Sim | Unifamiliar ou semicoletivo | 7,5 a 15 m² | | | Não | |
| T05 Círculo de banheiras | Águas cinzas Esgoto pré-tratado | Não para águas cinzas. Sim para esgoto misto | Unifamiliar | 3 a 5 m² | Não se aplica | | Não | |
| T06 Reator anaeróbio de fluxo ascendente unifamiliar | Águas de vaso sanitário Esgoto doméstico | Não | Unifamiliar ou semicoletivo | 1,5 a 4 m² | | | Sim | |
| T07 Fossa verde | Águas de vaso sanitário | Não | Unifamiliar | 7 a 10 m² | | | Talvez | |
| T08 Fossa séptica biodigestora | Águas de vaso sanitário | Não | Unifamiliar | 10 a 12 m² | | | Não | |
| T09 Tanque séptico | Águas de vaso sanitário Águas cinzas Esgoto doméstico | Não | Unifamiliar ou semicoletivo | 1,5 a 4 m² | | | Sim | |
| T10 Filtro anaeróbio | Esgoto pré-tratado | Sim | Unifamiliar ou semicoletivo | 1,5 a 4 m² | | | Sim | |
| T11 Filtro de areia | Esgoto pré-tratado | Sim | Unifamiliar ou semicoletivo | 2 a 5 m² | | | Não | |
| T12 Vermifiltro | Águas de vaso sanitário Águas cinzas Esgoto doméstico Esgoto pré tratado | Sim | Unifamiliar ou semicoletivo | 2 a 4 m² | | | Sim, na forma de húmus de minhoca | |
| T13 Biodigestor | Águas de vaso sanitário Esgoto doméstico | Não | Unifamiliar ou semicoletivo | 5 m² | | | Sim | |
| T14 RAFA compacto | Águas de vaso sanitário Esgoto doméstico | Não | Unifamiliar ou semicoletivo | 3 a 8 m² | | | Sim | |
| T15 Biossistema integrado (BSI) | Águas de vaso sanitário Esgoto doméstico | Não | Unifamiliar ou semicoletivo | 25 a 100 m² | | | Sim | |
| Remoção de matéria orgânica (eficiência) | | Frequência de manutenção | | | Custo** | | | |
| Até 49% (baixa) 50% a 79% (média) 80% ou mais (alta) | | 1 vez por ano (baixa) 2 a 4 vezes por ano (média) 5 ou mais vezes por ano (alta) | | | Até R\$ 500 (baixo) R\$ 500 a R\$ 1500 (médio) R\$ 1500 a R\$ 2500 (alto) | | | |
| * Para um sistema que atende até 5 pessoas. ** Valores calculados em 2018 para um sistema que atende até 5 pessoas. | | | | | | | | |



* Algumas tecnologias de tratamento de fezes permitem o tratamento conjunto da urina.

FIGURA 22. Fluxograma para escolha da tecnologia para tratamento de esgoto doméstico em comunidades isoladas. Fonte: Elaborado pelos autores.

T01

FOSSA SECA

Unidade de tratamento de dejetos humanos que não utiliza água para a descarga (FIGURA 1). Esta pode ser uma boa alternativa de tratamento simplificado para locais com escassez hídrica ou sem atendimento da rede pública de abastecimento de água. A fossa seca consiste em um buraco escavado no solo, sobre o qual é construído um piso e uma “casinha” (FIGURA 2) que, além de proteger a fossa, aumenta o conforto para o usuário. O buraco que receberá as fezes e a urina pode ou não ser revestido. Como opções de revestimento, podem-se empregar concreto, alvenaria ou outros materiais disponíveis.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- A fossa seca pode ser feita com uma abertura circular de 90 cm de diâmetro, ou quadrada com 80 cm de lado. Sua profundidade varia principalmente de acordo com as características do solo e do nível de água do lençol freático, sendo comum o valor aproximado de 2,50 m.
- São lançados na fossa somente dejetos (fezes e urina) e papel higiênico. Esse material se decompõe no interior da fossa por digestão anaeróbia.
- Se houver mau cheiro ou presença de insetos, recomenda-se a cobertura total dos dejetos com terra, cinzas ou cal.
- Deve ser evitada a presença de água no interior da fossa seca.
- Quando a fossa ficar cheia, deve ser coberta com terra e outro sistema de fossa seca deve ser construído.

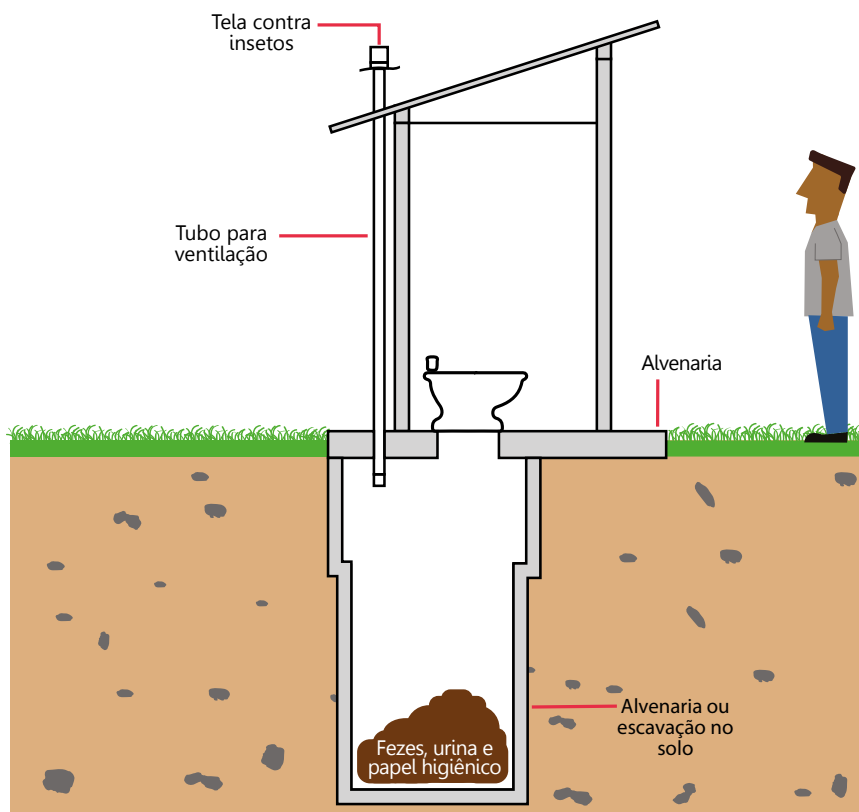


FIGURA 1. Esquema de fossa seca.



FIGURA 2. “Casinha” sem uso, construída em alvenaria. Propriedade rural de Campinas-SP (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 3. Fossa seca construída com folhas de coqueiro, a poucos metros da praia (Foto: Adriano L. Tonetti).

.....
Tipo de esgoto tratado: Fezes e urina (sem água)

.....
Tipo de sistema: Unifamiliar

.....
Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não

.....
Área necessária para até 5 pessoas: 2 a 4 m²

.....
Remoção de matéria orgânica: Não se aplica

.....
Frequência de manutenção: Média

.....
O lodo terá que ser removido?: Não. Construir outra fossa após encher

Dimensionamento e detalhes de projeto
 FUNASA, 2015

Casos bem sucedidos
 Alencar, 2009
 Pires e Tibúrcio, 2011

Outras referências
 Van Lengen, 1996



FIGURA 4. Fossa seca construída em madeira em Itupitanga-PA (Foto: Francisco Madrid).

Considerações e recomendações

- A fossa seca deve ser construída longe de poços, nascentes, rios ou riachos e onde não haja enchentes e enxurradas. A profundidade recomendada do buraco da fossa é de cerca de 2,50 m, mas esse valor varia de acordo com a profundidade do lençol freático (nível de água no solo) e constituição do solo (se arenoso ou argiloso).
- A porta da casinha e a tampa da fossa devem ser mantidas fechadas, para evitar a atração de insetos e outros animais. Em todos os casos, pode-se acrescentar um tubo de ventilação para evitar acúmulo de gases (FIGURA 1).
- Em algumas localidades mais remotas, é comum que as “casinhas” sejam feitas com madeira, folhas e outros tipos de revestimentos naturais (FIGURAS 3 E 4). Nesses casos, a disposição dos dejetos é feita em buracos escavados no solo, a profundidades menores.
- Algumas variações da fossa seca:
 - » Se a fossa for impermeabilizada, é denominada fossa estanque.
 - » Se tiver duas câmaras independentes, utilizadas alternadamente e com intervalos suficientes para que a matéria orgânica seja degradada e mineralizada, é denominada fossa de fermentação.
 - » Quando é feita a compostagem dos dejetos da fossa de modo a possibilitar sua aplicação na agricultura de modo sustentável e seguro, o sistema é chamado banheiro seco compostável (FICHA T02).

T02

BANHEIRO SECO COMPOSTÁVEL

Unidade de tratamento de dejetos humanos (apenas fezes e algumas vezes urina também) que não utiliza água para a descarga. Essa pode ser uma alternativa de tratamento simplificado para locais com escassez hídrica ou sem atendimento da rede pública de abastecimento de água. Também pode ser utilizado pelo seu apelo ecológico. O banheiro seco compostável, consiste no confinamento dos dejetos em uma câmara impermeabilizada localizada abaixo do acento de evacuação. Além das fezes, adiciona-se serragem a cada uso do banheiro, proporcionando condições para a compostagem do material.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- O banheiro seco pode localizar-se em uma casinha externa (FIGURA 2) ou no interior da própria casa. A câmara de compostagem pode ser feita em alvenaria impermeabilizada ou pode ser um recipiente plástico, bombona ou balde (FIGURA 3). É comum que banheiros deste tipo sejam construídos em duplicidade, ou seja, com dois assentos e duas câmaras de compostagem (FIGURAS 2 E 4).
- As fezes e o papel higiênico são confinados na câmara ou na bombona/balde. Após cada utilização, deve-se jogar um pouco de material seco, como serragem, folhas secas ou papel picado. Na falta desses materiais, pode-se usar cal.
- Finalmente, quando a câmara estiver quase cheia, deve-se fechar o assento em uso e passar a usar o outro assento. Caso se utilize uma bombona ou balde, basta substituir a cheia por uma vazia.
- Há experiências que fazem uso de microorganismos específicos para acelerar o processo de decomposição do material e minimizar o uso de material seco. Em outros casos, apenas a desidratação do material é feita dentro das câmaras, e o material depois é compostado, separadamente.
- A urina pode ser coletada em um vaso separador ou mictório, devendo ser tratada isoladamente para aplicação na agricultura (FICHA T03) ou juntamente com as águas cinzas (ex: FICHAS T04, T05 e T12).

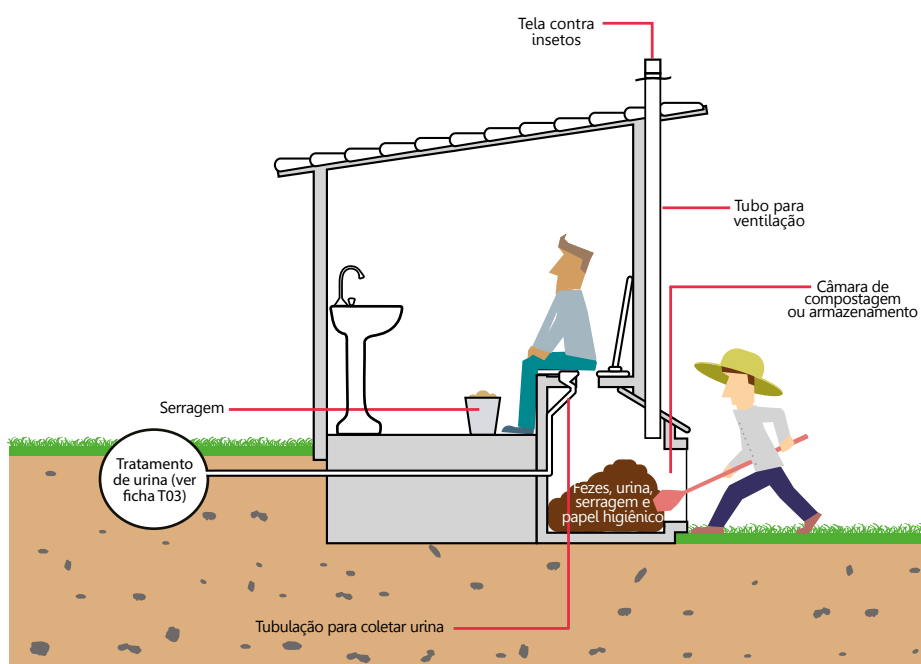


FIGURA 1. Esquema de banheiro seco compostável.



FIGURA 2. Banheiro seco construído em duplicidade em Itacaré, BA. A foto mostra a tubulação de ventilação e a câmara de compostagem (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 3. Banheiro seco de balde na Casa dos Hólons em São Paulo, SP (Foto: Isabel Figueiredo).

.....
Tipo de esgoto tratado: Apenas fezes (sem água) e algumas vezes urina também

Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletivo

Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não

Área necessária para até 5 pessoas: 3 a 5 m²

Remoção de matéria orgânica: Não se aplica

Frequência de manutenção: Alta

O lodo terá que ser removido?: Não (mas há produção de composto)

Dimensionamento e detalhes de projeto

CEPAGRO, 2013

FUNASA, 2015

Casos bem sucedidos

Hill e Baldwin, 2012

Outras referências

Anand e Apul, 2014

Jenkins, 2005



FIGURA 4. Remoção do composto pronto de dentro da câmara, depois de seis meses (Foto: Guilherme Castagna).

Considerações e recomendações

- É fundamental evitar a entrada de líquidos dentro da câmara que armazena as fezes. A água de chuva ou de enxurrada não pode entrar nas câmaras. O acúmulo de urina dentro da câmara também pode gerar mau cheiro.
- A urina separada e estocada pode ser utilizada como fertilizante se tomadas algumas precauções, como descrito na ficha de separação de urina (**FICHA T03**). Alguns modelos de banheiro seco compostável permitem que a urina seja compostada junto com as fezes. Caso não se deseje utilizar a urina na fertilização de cultivos, há a opção de seu tratamento conjunto com águas cinzas. Sugestões: círculo de bananeira (**FICHA T05**), sistemas alagados construídos (**FICHA T04**), vermifiltro (**FICHA T12**).
- As fezes nunca devem ficar expostas ao ar livre. Deve-se sempre utilizar material secante, como papéis ou folhas secas, serragem ou cal para sua desidratação e alcalinização do material. O material que será compostado deve ser levado para uma pilha de compostagem, onde ele leva pelo menos 6 meses para gerar o composto rico em nutrientes (**FIGURA 5**). No caso de banheiros em duplicidade, já é retirado de dentro da câmara um material pronto para o uso (após seis meses de armazenamento no banheiro inativo).
- O sucesso do banheiro seco depende do cuidado de quem faz o seu manejo. Durante a remoção do material da câmara e manuseio da pilha de compostagem, equipamentos de proteção individual (EPIs) devem ser sempre utilizados, especialmente luvas.

T03

ESTOCAGEM E USO DA URINA

No contexto do saneamento ecológico, a urina pode ser coletada e utilizada como fertilizante natural, contribuindo assim com o uso econômico da água e a ciclagem de nutrientes. Para isso, deve-se separar urina e fezes no momento de sua produção, deixando a urina estocada por tempo suficiente para o seu uso seguro em práticas agrícolas.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- A separação entre urina e fezes pode ser praticada com o uso de um vaso separador, que é um vaso sanitário projetado para essa finalidade (FIGURA 1). Outra opção para usuários masculinos é o urinol (ou mictório).

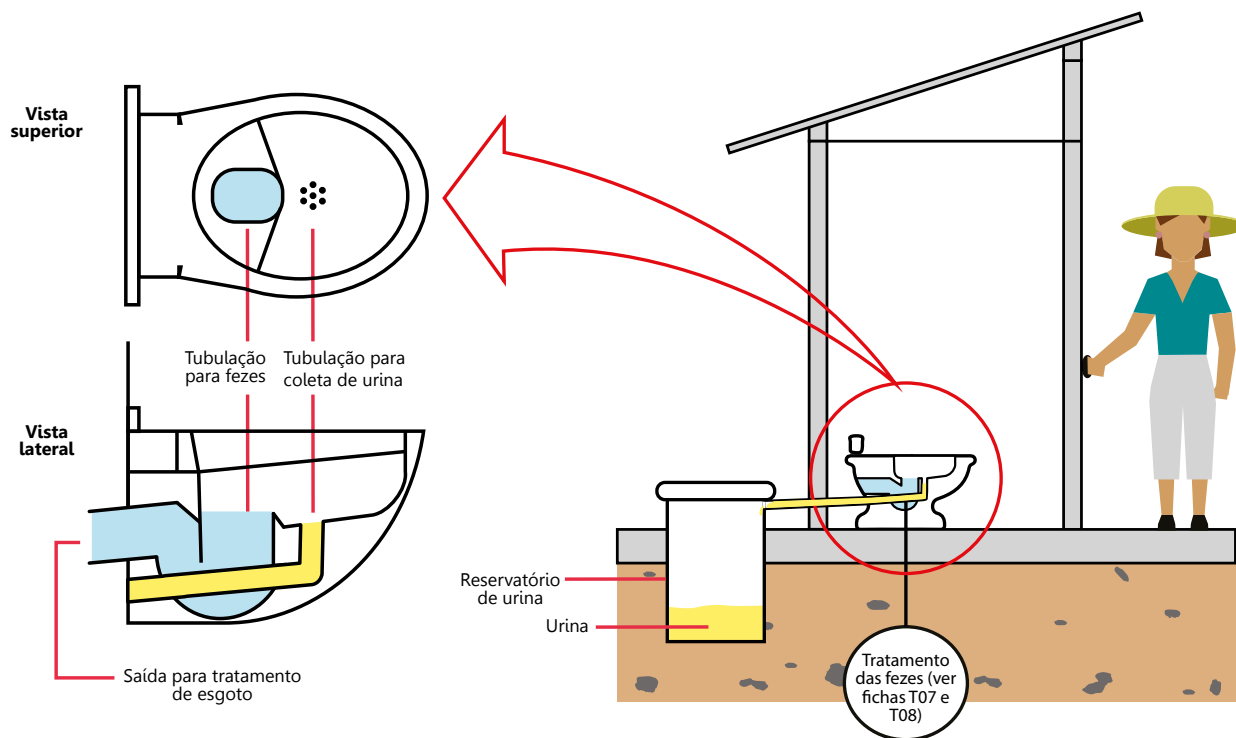


FIGURA 1. Esquema de separação e estocagem de urina.

- Uma vez garantida a separação da urina, a tubulação de saída do vaso sanitário ou do urinol deve conduzir o líquido a um reservatório de armazenamento. Já as fezes devem seguir para outro tratamento.
- O reservatório de armazenamento de urina pode ser instalado em ambientes fechados, ao ar livre (FIGURA 2), acima ou abaixo do solo, de modo adequado às condições do clima local e do espaço disponível.
- O reservatório de armazenamento de urina pode ser construído em alvenaria ou ser feito com bombonas plásticas (FIGURA 2), caixas d'água (FIGURA 3), ou qualquer outro material que garanta que não haja vazamentos. Suas dimensões variam em função do número de usuários e do tempo de estocagem desejado. A produção diária média é de 1,5 litros de urina por pessoa.
- É preferível que a urina seja armazenada sem diluição, pois isso garante um ambiente mais adequado para eliminação de micro-organismos que podem estar presentes.

Considerações e recomendações

- Se o desnível do terreno for favorável, a urina pode ser conduzida por uma tubulação até o armazenamento. Caso contrário, pode-se coletar a urina em um recipiente menor e abastecer manualmente o reservatório.



FIGURA 2. Galões para armazenamento de urina na Ecovila Tamera, em Portugal (Foto: Guilherme Castagna).



FIGURA 3. Armazenamento semicoletivo de urina (Fonte: Tilley et al., 2014).



FIGURA 4. Espigas de milho cultivadas com diferentes aplicações de urina. Do lado esquerdo estão as espigas cultivadas com maior quantidade de urina e do lado direito, as espigas cultivadas sem o biofertilizante. Experiência desenvolvida na África (Foto: Peter Morgan).

- É desejável que os reservatórios de armazenamento sejam de plástico (evitar o uso dos de metal). Os tanques devem ser bem vedados para evitar vazamentos, infiltração de água e perda de nitrogênio.
- Alguns autores recomendam que em residências, a urina pode ser usada sem armazenamento prévio. Isso se aplica para qualquer tipo de cultivo, desde que as plantas produzidas sejam para o consumo na mesma residência e que tenha transcorrido um mês entre a fertilização (aplicação da urina) e a colheita.
- Segundo a Organização Mundial da Saúde, considerando a temperatura de estocagem de 20°C, a urina deve ser armazenada por pelo menos um mês para uso em culturas alimentícias que serão processadas (ex: alimentos que serão cozidos, assados, e não serão ingeridos crus- **FIGURA 4**) e culturas de forragem (ex: gramíneas para alimentar animais). Para os demais tipos de culturas, o tempo de armazenagem deve ser de pelo menos 6 meses. A urina deve ser aplicada próxima ao chão, nunca aplicar por aspersão. Esse cuidado reduzirá o cheiro, a queimação de folhas e a perda de nitrogênio.
- Recomenda-se um período de pelo menos um mês entre a aplicação na cultura e a colheita. Isto reduzirá ainda mais o risco de agentes patogênicos devido à sua inativação pela atividade microbiana no solo e radiação UV do sol.
- Caso não se deseje a aplicação agrícola, recomenda-se que a urina seja infiltrada no solo. Ver **CAPÍTULO 6** para as opções de disposição final.

.....
Tipo de esgoto tratado: Urina

Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletivo

Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não

Área necessária para até 5 pessoas: 1 a 3 m²

Remoção de matéria orgânica: Não se aplica

Frequência de manutenção: Alta

O lodo terá que ser removido?: Não gera lodo e sim biofertilizante, que tem que ser aplicado na agricultura

.....

Dimensionamento e detalhes de projeto

Demenighi, 2013

Tilley et al., 2014

Casos bem sucedidos

Botto, 2013

Holmer, 2008

Martins, 2016

Outras referências

Gonçalves, 2006

Schönning e Stenström, 2004

WHO, 2006

T04

SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS (SAC)

Unidade de tratamento para águas cinzas ou para esgoto doméstico previamente tratado. Os sistemas alagados construídos (SAC), também conhecidos como zonas de raízes ou wetlands (nomenclatura internacional), são compostos por valas com paredes e fundo impermeabilizados, permitindo seu alagamento com o esgoto a ser tratado. São pouco profundas (< 1,0 m) e possuem plantas aquáticas ou macrófitas que atuam na remoção de poluentes, além de proporcionar a fixação de microrganismos que degradam a matéria orgânica. Os SAC normalmente possuem material particulado em seu interior (exemplo: areia, brita, seixo rolado) como meio suporte para o crescimento das plantas e microrganismos.

Tipo de esgoto tratado: Águas cinzas e esgoto pré-tratado

Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletivo

Necessita de unidade de pré-tratamento?: Sim

Área necessária para até 5 pessoas: 7,5 a 15 m²

Remoção de matéria orgânica: Alta

Frequência de manutenção: Média

O lodo terá que ser removido?: Não

Dimensionamento e detalhes de projeto

Sezerino et al., 2015

USEPA, 2000

Casos bem sucedidos

Philippi et al., 2006

Souza et al., 2004

Outras referências

Dotro et al., 2017

Kadlec e Wallace, 2010

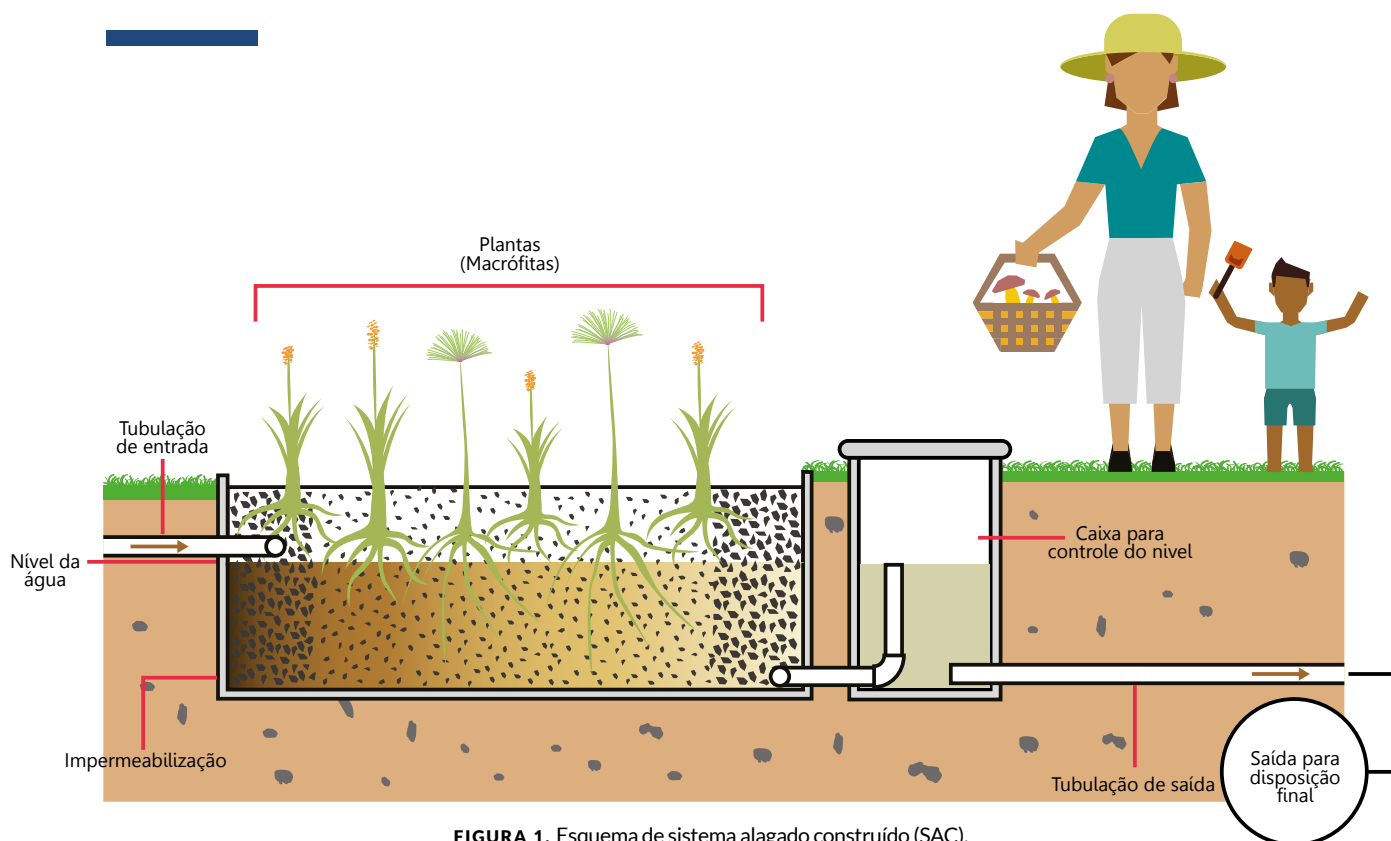


FIGURA 1. Esquema de sistema alagado construído (SAC).



FIGURA 2. SAC com fluxo vertical e impermeabilização feita por manta de PVC em Holambra/SP (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 3. Mecanismo de controle de nível feito com tubos de PVC em sistema da EMBRAPA chamado de “jardins filtrantes” (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 4. SAC unifamiliar de fluxo horizontal subsuperficial construído em alvenaria em Campinas/SP (Foto: Isabel Figueiredo).

Considerações e recomendações

- No tratamento de esgoto doméstico (águas de vaso sanitário + águas cinzas), o SAC é uma unidade complementar. Antes do SAC, deve ser instalado um tanque séptico (**FICHA T09**), Biodigestor (**T13**) ou Reator Anaeróbio Compartimentado (**T14**). Caso contrário, o sistema fica suscetível a entupimentos, o que implicaria na necessidade de remoção total do material filtrante e sua substituição por material limpo.
- O tratamento de águas cinzas pode ser direcionado diretamente para o SAC, depois de passar por uma caixa de gordura e uma caixa de retenção de sólidos grosseiros. Fios de cabelo, fiapos de roupa, gordura e outros tipos de sólidos podem ocasionar o entupimento dentro do SAC.
- As espécies de plantas aquáticas escolhidas devem ser de rápido crescimento e propagação. No Brasil, as mais utilizadas são a taboa (*Thypha*), papiro (*Cyperus*), biri (*Canna*) e gramíneas como o capim Tifton (*Cynodon*). Outras plantas podem ser usadas, desde que tenham bom crescimento em ambientes alagados. A vegetação do SAC deve ser podada periodicamente e recomenda-se no mínimo duas vezes por ano. O material podado pode ser utilizado em pilhas de compostagem.
- É recomendável que a tubulação de saída do SAC possua um sistema para controle do nível da água (**FIGURA 5**), a fim de manter o nível sempre abaixo da superfície do meio de suporte e evitar a formação de poças que podem ser o criatório de larvas.
- O destino do esgoto após tratamento pelo SAC deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental (ver Capítulo 3) e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (ver **CAPÍTULO 6**).

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- Usualmente, o SAC possui formato retangular, podendo ser escavado no próprio solo, manualmente ou com a ajuda de máquinas. Suas paredes e fundo devem ser impermeabilizados com alvenaria (**FIGURA 2**) ou mantas sintéticas (**FIGURA 3**).
- O dimensionamento do SAC se baseia principalmente no volume diário de esgoto a ser tratado e também na qualidade do esgoto. Ele deve ter uma área média de 2 m² por pessoa e uma profundidade entre 0,6 e 1,0 m.
- O fluxo do esgoto mais comum é o subsuperficial (**FIGURA 2**), isto é, ocorre abaixo da superfície do material utilizado como suporte e em sentido horizontal. Nesse caso o esgoto é distribuído por tubos de PVC perfurados na superfície de entrada. Esse primeiro trecho pode ser preenchido com brita nº 3 ou 4 para evitar entupimentos. O trecho com plantas recebe o nome de zona de raízes. Nessa região do SAC é que acontece a maior parte da transformação do esgoto (remoção de nutrientes e matéria orgânica). Essa zona pode ser preenchida com brita nº 1 ou 2, mas há experiências que fazem uso de areia. Por fim, o líquido tratado é coletado no extremo oposto à entrada de esgoto. Para isso, deve-se utilizar tubos de PVC perfurados localizados no fundo da vala do SAC. Esse trecho, chamado de zona de saída, pode ser preenchido com brita nº 3 ou 4.
- SACs com fluxo vertical (**FIGURA 3**) e tanques de macrófitas com fluxo superficial (água aparente-**FIGURA 4**) também podem ser utilizados.

T05

CÍRCULO DE BANANEIRAS

Unidade de tratamento para águas cinzas ou tratamento complementar de esgoto doméstico ou águas de vaso sanitário. Consiste em uma vala circular preenchida com galhos e palhada, onde desemboca a tubulação. Ao redor são plantadas bananeiras e/ou outras plantas que apreciem o solo úmido e rico em nutrientes.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- A construção do círculo de bananeira se inicia com a escavação do solo, que pode ser feita manualmente ou com a ajuda de máquinas. O buraco não deve ser impermeabilizado nem compactado.

- O buraco deve ter um formato de um prato fundo, com profundidade de aproximadamente 0,5 a 1,0 m e um diâmetro interno de 1,4 a 2,0 m.
- O buraco deve ter seu fundo preenchido com pequenos galhos e palhada na parte superior (capim seco, folhas secas de bananeira) criando um ambiente arejado e espaçoso para receber a água cinza que precisa ser tratada (FIGURA 2).
- Para a entrada da água cinza no buraco, pode-se fixar um Joelho na ponta da tubulação, conduzindo o líquido a entrar no meio da camada de palha seca, evitando que a água cinza fique exposta.
- A água e os nutrientes do esgoto serão consumidos pelas bananeiras, enquanto que os restos orgânicos (restos de alimentos, sabão etc.) serão degradados pelos micro-organismos presentes no solo da vala.
- Alguns autores recomendam a instalação de uma caixa de gordura para o pré-tratamento do esgoto da cozinha. Apesar de a caixa de gordura reter restos de comida e grande parte da gordura, as águas cinzas saem dela com cheiro desagradável e por isso é preciso avaliar a sua instalação em locais próximos à casa.

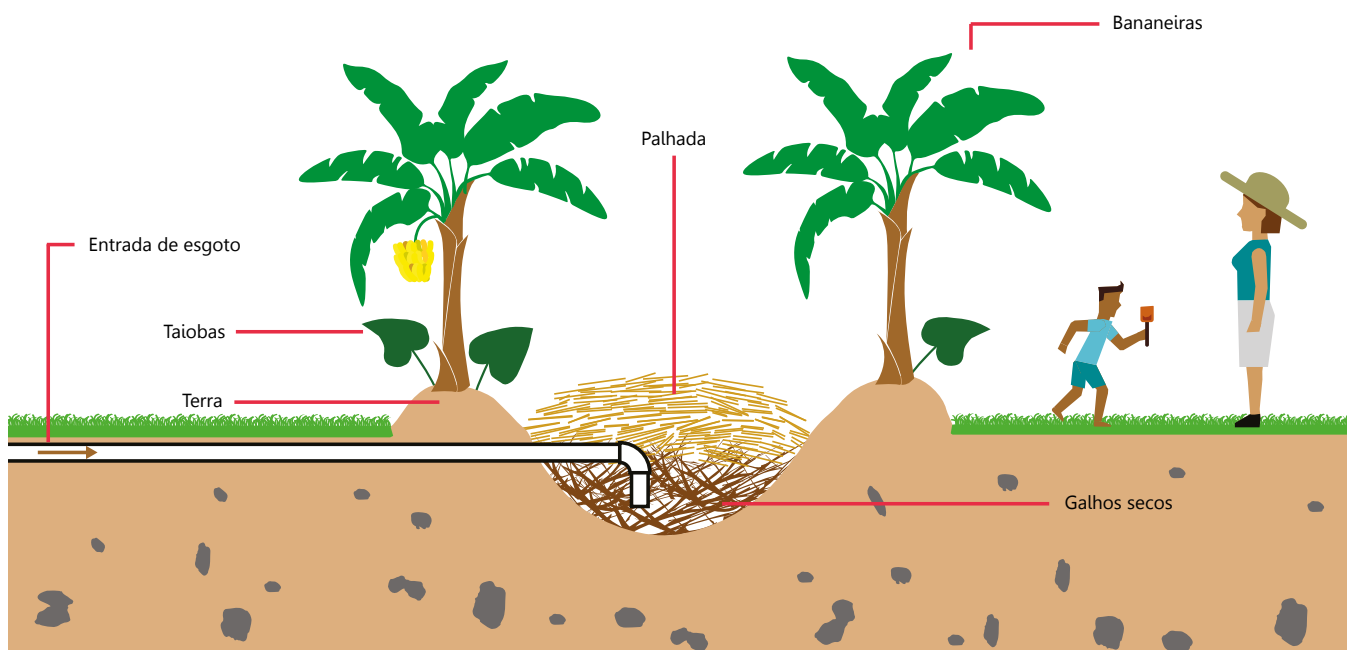


FIGURA 1. Esquema de círculo de bananeiras.



FIGURA 2. Círculo de bananeiras em Campinas-SP. A) logo após a implantação e B) depois de um ano (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 3. Bacia de Mulch em Luziânia- GO (Foto: Isabel Figueiredo).

Considerações e recomendações

- Durante a escavação do buraco do círculo de bananeiras, a terra retirada pode ser aproveitada para a construção de sua borda, criando um “morrinho” em torno do buraco (FIGURA 2). Se o terreno for inclinado, ao invés de um círculo, recomenda-se a escavação de meio círculo (“meia lua”).
- No monte em volta do buraco devem ser plantadas bananeiras com espaços de aproximadamente 60 cm entre elas. Nesse espaço, podem ser plantadas outras espécies menores que gostem de umidade, como mamoeiros, lírio do brejo e taioba.
- O buraco do círculo de bananeiras não deve ser maior do que o padrão apresentado. Essas dimensões garantem um volume interno de aproximadamente 1.000 L, suficiente para atender uma casa com 3 a 5 moradores. Contudo, o consumo de água em cada casa pode variar dependendo dos hábitos dos moradores. Além disso, o tipo de solo e as condições climáticas são distintos para cada local. Portanto, se for observado que o volume de água cinza produzida extrapola a capacidade de recebimento do círculo de bananeiras, deve-se construir um segundo círculo em seguida ou dividir o fluxo em dois ou três sistemas paralelos.
- O círculo de bananeiras é uma alternativa de tratamento e também de disposição final (ver FICHA D03). Recomenda-se, portanto, que o local seja afastado do lençol freático e de nascentes. Deve-se também evitar seu uso em locais com solo arenoso. Para esse último caso, pode-se adicionar uma camada de argila nas paredes e no fundo do buraco, dificultando a infiltração da água.
- Existe uma alternativa semelhante ao círculo de bananeiras, chamada de Bacia de Mulch (FIGURA 3). Esse sistema de tratamento e infiltração de água cinza também consiste em um buraco circular na forma de prato fundo. Contudo, o monte de terra é posicionado no meio do círculo, onde são plantadas árvores frutíferas, e o restante da vala, circundando o centro, deve ser preenchido com galhos e palha seca.

.....
Tipo de esgoto tratado: Águas cinzas ou esgoto pré-tratado

Tipo de sistema: Unifamiliar

Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não para águas cinzas. Sim para esgoto doméstico.

Área necessária para até 5 pessoas: 3 a 5 m²

Remoção de matéria orgânica: Não se aplica

Frequência de manutenção: Média

O lodo terá que ser removido?: Não

Dimensionamento e detalhes de projeto
 Figueiredo, Tonetti e Silva, 2018
 FUNASA, 2018
 FUNASA, 2015
 Vieira, 2006

Casos bem sucedidos
 Figueiredo, no prelo
 Martinetti, Teixeira e Shimbo, 2009
 Paes, 2014

Outras referências
 Vídeo Projeto Saneamento Rural Unicamp:
<http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/index.php/galeria/videos/>
 Ludwig, 2012
 Mollison, 1988

T06

REATOR ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE (RAFA) COMPACTO

Unidade de tratamento para águas de vaso sanitário ou esgoto doméstico. O esgoto entra pela parte de baixo do reator, percorrendo internamente a unidade até a saída no topo. Esse fluxo ascendente faz com que o reator sempre esteja cheio de esgoto. Em seu interior há a formação de uma “manta de lodo” constituída por micro-organismos soltos ou em pequenos grupos. Esse lodo decompõe a matéria orgânica sem a presença de oxigênio (degradação anaeróbia). No topo do reator, são colocados defletores (placas) que separam o líquido dos materiais sólidos e do biogás formado naturalmente pelo processo.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- O Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente- RAFA também é conhecido pela sigla UASB, do inglês Upflow Anaerobic Sludge Blanket.
- O RAFA compacto pode ser construído com tubos plásticos, anéis de concreto (zimbras), alvenaria ou qualquer outro material que garanta a sua impermeabilização e que tenha o tamanho adequado. Modelos econômicos têm sido desenvolvidos (FIGURA 2), mas existem também modelos comerciais de reatores unifamiliares (FIGURA 3).
- O principal parâmetro de dimensionamento do reator é a estimativa do volume de esgoto a ser tratado por dia. Desse modo, o volume interno do reator deve garantir que o esgoto demore em torno de 9 horas para percorrer toda a unidade e sair pelo topo. Isso permitirá que o esgoto tenha contato com a manta de lodo em suspensão por tempo suficiente para que o tratamento ocorra.

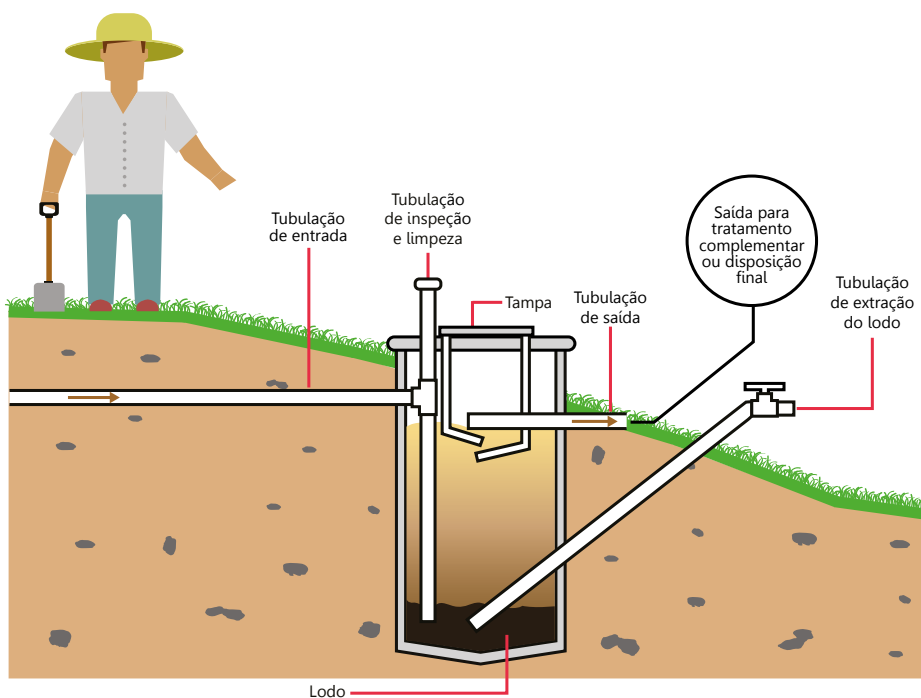


FIGURA 1. Esquema de reator anaeróbio de fluxo ascendente compacto.



FIGURA 2. RAFA unifamiliar implantado em área rural. Este protótipo simplificado e de baixo custo encontra-se em fase de estudo em Botucatu-SP. Ele é confeccionado com tubo PVC 300mm (Foto: Guilherme Franceschini).

FIGURA 3. Vista geral de RAFA comercial, instalado ao lado da caixa para retirada e secagem do lodo, feita com tijolos (Foto: Daniel Kuchida).



Considerações e recomendações

- O reator anaeróbico de fluxo ascendente deve ser precedido de caixa de gordura em casos de contribuições com grande concentração de óleos, conforme a NBR 8160/1999 da ABNT.
- Por se tratar de um sistema anaeróbico (decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio), pode haver a liberação de gases que provocam mau cheiro. Para evitar essa situação, recomenda-se instalar sistema de ventilação nas tubulações, conforme NBR 8160/1999 da ABNT.
- É recomendável uma limpeza interna anual do reator, que pode ser realizada com auxílio de caminhão limpa fossa. Em alguns casos é possível instalar uma tubulação com registro para a remoção do lodo estabilizado que se acumula no fundo do reator.
- O lodo removido do reator é considerado estabilizado, necessitando apenas ser desaguado. As alternativas para o tratamento e destinação final do lodo são apresentadas no Capítulo 7.
- RAFAs compactos pré-fabricados (**FIGURA 3**) são comercializados em diferentes materiais, como polietileno e plástico reforçado com fibra de vidro. Alguns já possuem uma configuração que permite a extração de lodo estabilizado por diferença de pressão interna, contendo uma válvula manual de coleta.
- O esgoto após tratamento pelo RAFA compacto pode ser infiltrado no solo (ver **FICHAS D01 a D03**). Quando necessário tratamento complementar para melhorar a remoção de nutrientes e de matéria orgânica, o sistema pode ser seguido por outras tecnologias (Ex: Filtro anaeróbico- **FICHA T10**, Filtro de areia- **FICHA T11**, Sistemas alagados construídos- **FICHA T04**).
- O destino do esgoto após tratamento pelo RAFA deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental (**CAPÍTULO 3**) e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (ver **CAPÍTULO 6**).

.....
Tipo de esgoto tratado: Águas de vaso sanitário ou esgoto doméstico

.....
Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletivo

.....
Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não

.....
Área necessária para até 5 pessoas: 1,5 a 4 m²

.....
Remoção de matéria orgânica: Média

.....
Frequência de manutenção: Média

.....
O lodo terá que ser removido?: Sim

Dimensionamento e detalhes de projeto

ABNT - NBR 12209/2011

Freitas, 2012

Jordão e Pessôa, 2011

Casos bem sucedidos

Franceschini, no prelo
 Souza e Vieira, 1986

Outras referências

Gasi, 1988

Lima et al., 2012

Madureira, 2013

T07

FOSSA VERDE

A Fossa verde ou Bacia de evapotranspiração (BET) é um sistema de tratamento para águas de vaso sanitário que faz o aproveitamento da água e dos nutrientes presentes no esgoto. A BET pode ser dividida em três partes: um compartimento central para o recebimento e digestão inicial do esgoto, uma camada filtrante e uma área plantada com bananeiras. Outros nomes para o mesmo sistema são: tanque de evapotranspiração (Tevap), ecofossa, fossa bioesséptica, biorremediação vegetal, fossa de bananeira, canteiro bioesséptico.

Considerações e recomendações

- Recomenda-se a instalação de pelo menos dois tubos para a inspeção do sistema e eventual remoção de lodo por caminhão limpa-fossa, o que raramente é necessário. A tubulação de 100 mm deve chegar até a câmara central (de pneus).

- Para evitar o encharcamento do solo e do sistema, a água de enxurrada não deve entrar, construindo-se para tanto um pequeno muro de contenção ao redor da Fossa verde. Além disso, a camada de terra não deve ficar exposta, devendo estar sempre coberta por palhada e/ou folhas secas. Ele deve ser instalada preferencialmente em locais com muita insolação e ventos.

- A Fossa verde trata apenas o esgoto gerado pelo uso do vaso sanitário. Ela é um sistema versátil, pois pode ser usado em locais com solo muito arenoso ou muito argiloso, e até mesmo com lençol freático baixo (locais onde brota água com muita facilidade ao escavar o solo).

- Na maioria dos casos não há a saída do esgoto tratado deste sistema, ou seja, todo o esgoto que entra fica um tempo dentro da Fossa Verde e é consumido pelas bananeiras. No entanto, por precaução, recomenda-se a instalação de uma tubulação de drenagem (FIGURA 3), que direcione o excedente já tratado para um círculo de bananeiras (FICHA T05). Essa medida é importante em locais com muitas chuvas ou quando muitas pessoas usarem o sistema no mesmo dia (ex: festa).

- Estudos mostram que os alimentos e folhas que crescem na BET (bananas e taioba) não ficam contaminados por bactérias e outros micro-organismos e portanto são seguros para o consumo humano. No entanto não é recomendado o consumo de raízes (ex: inhame ou gengibre) ou frutos colhidos do chão.

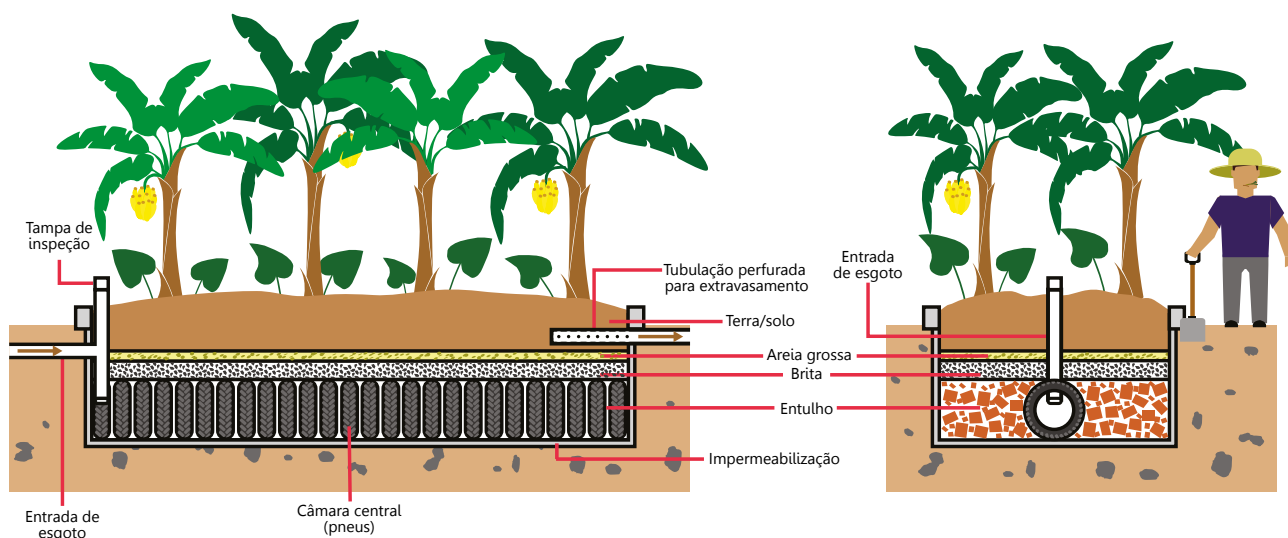


FIGURA 1. Esquema de fossa verde.



FIGURA 2. Fossa verde ou BET instalada na Praia do Sono, Paraty/RJ. Fonte: otss.org.br/saneamento-ecologico.



FIGURA 3. Construção da câmara de pneus e da camada de entulho (Foto: Bárbara Silva).

.....
Tipo de esgoto tratado: Águas de vaso sanitário

Tipo de sistema: Unifamiliar

Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não

Área necessária para até 5 pessoas: 7 a 10 m²

Remoção de matéria orgânica: Alta

Frequência de manutenção: Baixa

O lodo terá que ser removido?: Talvez

Dimensionamento e detalhes de projeto

Figueiredo, Tonetti e Silva, 2018

FUNASA, 2018

FUNASA, 2015

Vieira, 2006

Casos bem sucedidos

Benjamin, 2013

Figueiredo, no prelo

Galbiati, 2009

Pires, 2012

Outras referências

Vídeo Projeto Saneamento Rural Unicamp:

<http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/index.php/galeria/videos/>

<http://otss.org.br/saneamento-ecologico/>

<https://vimeo.com/176809993>



FIGURA 4. Preenchimento da camada de terra e plantio das bananeiras. Abaixo é possível ver o “ladrão” de tubo PVC perfurado e envolto por tela de mosquito (Foto: Luana Cruz).

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- A construção da Fossa Verde ou BET (FIGURA 2) se inicia com a escavação do solo, que pode ser feita manualmente ou com a ajuda de máquinas.

- O segundo passo é a construção de uma grande “caixa” ou “reservatório” que ficará enterrado, local onde o tratamento do esgoto acontece. A caixa precisa ser totalmente impermeabilizada e não pode haver vazamentos no sistema e nem entrada de água subterrânea. A caixa pode ser construída com alvenaria convencional ou técnicas alternativas, como o ferro-cimento e ou superadobe. Mantas de PVC ou lonas também podem ser utilizadas.

- A entrada de esgoto no sistema é realizada através de uma tubulação de 100 mm que desemboca dentro da câmara central, localizada no fundo da caixa (FIGURA 3). A câmara é a primeira etapa do tratamento, onde ocorre a sedimentação dos sólidos e também o início da digestão do esgoto. Ela pode ser feita com muitos materiais diferentes, mas os mais comuns são pneus velhos ou blocos cerâmicos vazados.

- O esgoto sobe então pelas camadas filtrantes compostas de entulho, brita e areia (FIGURA 1). Nesses materiais crescem e se desenvolvem microorganismos que degradam o esgoto de forma anaeróbica. Acima da camada filtrante, fica uma camada de terra onde são plantadas bananeiras e outras plantas como taioba e lírio do brejo (FIGURA 4). Os nutrientes presentes no esgoto são utilizados pelas plantas na produção de novas folhas e frutos, atuando como adubos naturais. Parte da água que entra no sistema evapora pelo solo.

FOSSA SÉPTICA BIODIGESTORA

A Fossa Séptica Biodigestora (FSB) é uma tecnologia criada em 2001 pela Embrapa Instrumentação (São Carlos/SP) para o tratamento da água de vaso sanitário. É composta por três caixas d'água conectadas onde ocorrem a degradação da matéria orgânica do esgoto e a transformação deste em um biofertilizante que pode ser aplicado em algumas culturas. O sistema é capaz de atender a uma casa de até 5 pessoas, mas adaptações podem ser feitas caso o número de habitantes seja maior.

Considerações e recomendações

- A FSB trata apenas as águas de vaso sanitário, ou seja, apenas o esgoto gerado pelas descargas. Se a residência tiver mais do que cinco moradores, outras caixas devem ser adicionadas ao sistema
- O sistema pode ter sua eficiência prejudicada em chácaras ou locais onde a presença dos moradores não é constante. Em relação à manutenção do

sistema, não deve ser jogado papel higiênico no vaso sanitário e a limpeza do vaso deve ser feita com sabão neutro (evitar o uso excessivo de desinfetantes e água sanitária).

- A FSB pode ser construída com diversos materiais: caixas de fibrocimento ou fibra de vidro, anéis de concreto, caixas de polipropileno (estas não podem ser enterradas pois se deformam).
- As tampas da FSB devem ser pintadas de preto para ajudar na manutenção da temperatura do sistema. Respiros também devem ser instalados nas duas primeiras caixas, para permitir a saída dos gases gerados no processo.
- Águas de chuva e de enxurradas não devem entrar no sistema. Para evitar isso, deve-se fazer uma contenção. Se a região de instalação é uma área alagável, existem adaptações que podem ser feitas para garantir o bom-funcionamento do sistema.
- Para se utilizar o esgoto tratado pela FSB (biofertilizante), o agricultor deve fazer uso de equipamentos de segurança e respeitar as doses recomendadas de aplicação (FIGURA 4).
- Se o biofertilizante não puder ser utilizado, uma vala de infiltração (FICHA D01) pode ser construída no final do sistema. A Embrapa também recomenda a construção de um filtro de areia (FICHA T11) antes de infiltrar o esgoto tratado no solo. O destino do esgoto após tratamento pela FSB deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental (CAPÍTULO 3) e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (ver CAPÍTULO 6).

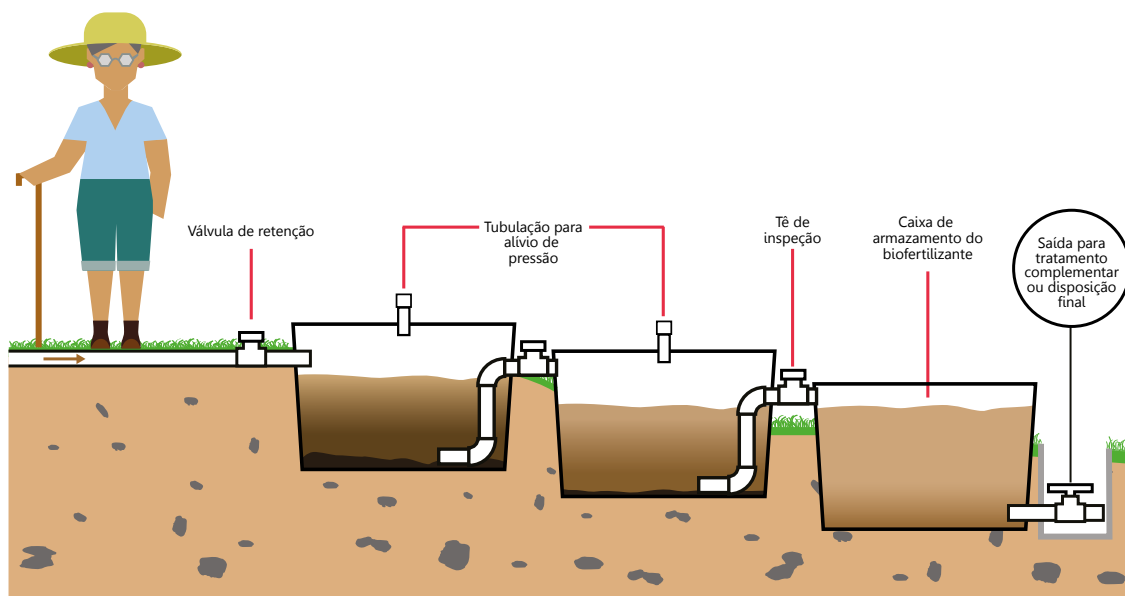


FIGURA 1. Esquema de fossa séptica biodigestora.



FIGURA 2. FSB instalada em Holambra-SP. As caixas de fibra tiveram suas tampas pintadas de preto (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 3. Adição mensal de esterco bovino fresco, na válvula de retenção, antes da primeira caixa. Campinas-SP (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 4. Aspecto geral do bio-fertilizante formado no sistema (Foto: Isabel Figueiredo).

.....
Tipo de esgoto tratado: Águas de vaso sanitário

.....
Tipo de sistema: Unifamiliar

.....
Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não

.....
Área necessária para até 5 pessoas: 10 a 12 m²

.....
Remoção de matéria orgânica: Média

.....
Frequência de manutenção: Alta

.....
O lodo terá que ser removido?: Não

Dimensionamento e detalhes de projeto

FUNASA, 2018

Galindo et al., 2010

Novaes et al., 2002

Casos bem sucedidos

Faustino, 2007

Figueiredo, no prelo

Outras referências

Vídeo Projeto Saneamento Rural Unicamp:

<http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/index.php/galeria/videos/>

FBB, 2010

Soares et al., 2016

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- O sistema é bastante simples, sendo composto por três caixas d'água de 1.000 L cada, tubos de esgoto de 100 mm, conexões e materiais para a vedação (FIGURA 1 e 2).
- A entrada de esgoto no sistema é realizada na primeira caixa, pela parte superior, por uma tubulação de 100 mm de diâmetro. O esgoto da primeira caixa vai então para a segunda, sendo conduzido por uma tubulação que se inicia no fundo da primeira caixa. O mesmo processo é repetido na segunda caixa, levando o esgoto em processo de tratamento até a terceira e última caixa.
- A terceira caixa serve de reservatório para o biofertilizante produzido, antes de ser aplicado em árvores frutíferas e outras culturas. É importante destacar que a aplicação do biofertilizante não pode ser feita em verduras, hortaliças ou frutas que crescem rente ao solo. Também não devem ser coletadas frutas do chão em áreas onde o biofertilizante foi aplicado.
- Os micro-organismos presentes em todas as caixas são os agentes responsáveis pela degradação anaeróbia (sem oxigênio) da matéria orgânica contida no esgoto. A Embrapa recomenda a aplicação mensal de esterco bovino fresco misturado com água (FIGURA 3), o que garantiria a formação de uma comunidade de micro-organismos mais efetiva para a degradação da matéria orgânica. No entanto, algumas pesquisas recentes tem contradito esta informação.

T09

TANQUE SÉPTICO

Unidade de tratamento para águas de vaso sanitário ou esgoto doméstico. O tanque séptico é formado por uma câmara que armazena o esgoto por um determinado período de tempo, proporcionando a sedimentação de material sólido e a flutuação de óleos e gorduras. Esses sólidos retidos no fundo formam o lodo do tanque séptico, que aloja os micro-organismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica do esgoto.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- O tanque séptico pode ser construído com anéis de concreto (zimbras) (FIGURA 2), alvenaria, ou qualquer outro material que garanta a impermeabilização das paredes e fundo, com uma profundidade interna de pelo menos 1,50 m. Há modelos comerciais de diversos materiais, prontos para a instalação (FIGURA 3).
- O esgoto entra pela parte superior do tanque séptico e fica retido em seu interior por um período de 12 a 24 horas. Esse tempo é definido principalmente em função das características e do volume diário do esgoto de entrada.
- Durante o período que o esgoto fica retido no tanque séptico ocorre a sedimentação de até 70% de suas partículas em suspensão, formando o lodo. Os sólidos não sedimentáveis, principalmente óleos e gorduras, também ficam retidos no interior do tanque, porém na superfície do líquido, recebendo o nome de espuma.
- A matéria orgânica do esgoto é degradada pelos micro-organismos presentes no lodo depositado no fundo do tanque séptico. Desse modo, a tubulação de entrada na unidade deve ter um Tê (FIGURA 1) que permita a condução do esgoto direto para o fundo para que ele entre em contato com esse lodo.

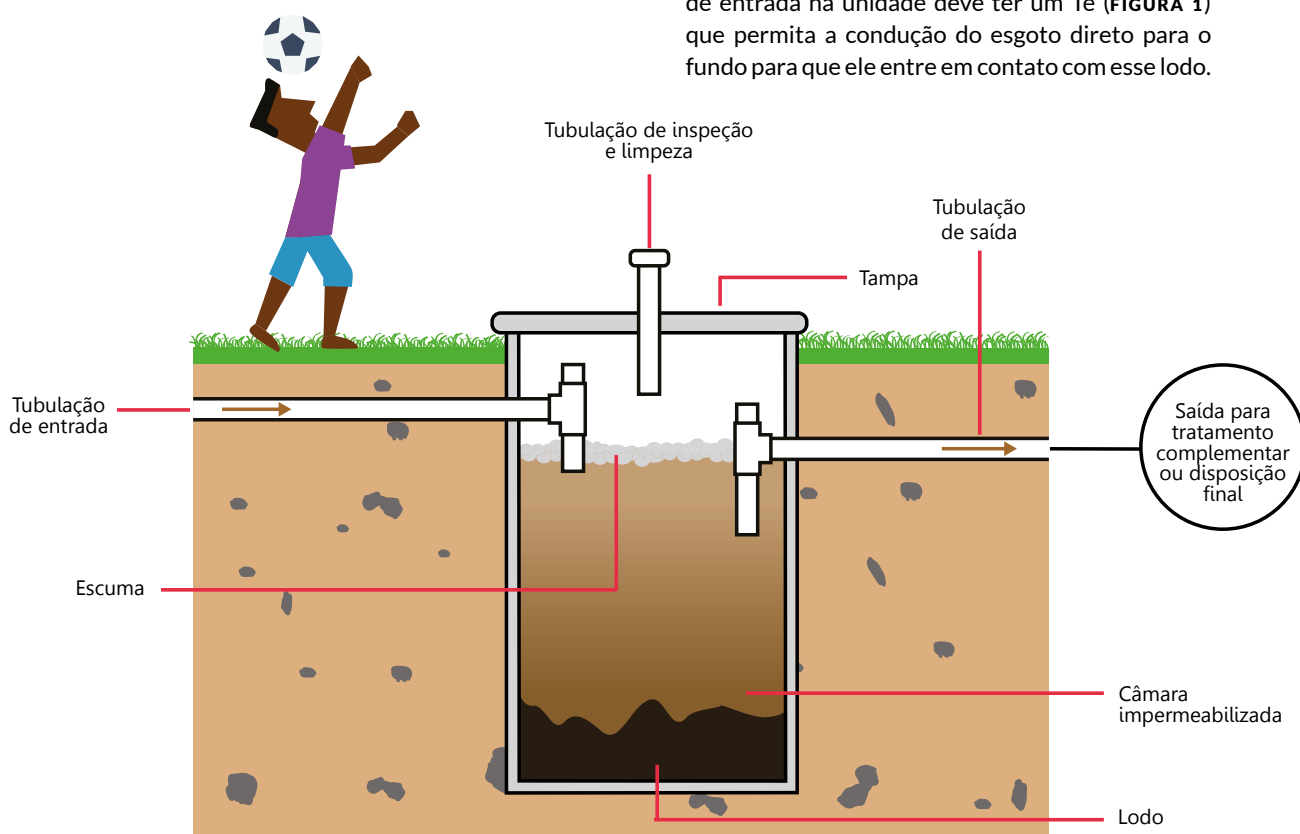


FIGURA 1. Esquema de tanque séptico.



FIGURA 2. Tanque séptico (ainda sem a tampa instalada), construído em anéis de concreto. Campinas-SP (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 3. Tanque séptico comercial, construído em plástico reforçado com fibra de vidro (Imagem modificada da internet).



FIGURA 4. Caminhão tipo “limpa-fossa” fazendo a limpeza programada do tanque séptico, conforme definido em projeto. Campinas-SP (Foto: Luana Cruz).



FIGURA 5. Lodo estabilizado removido do tanque séptico. Campinas-SP (Foto: Luana Cruz).

.....
Tipo de esgoto tratado: Águas de vaso sanitário, águas cinzas ou esgoto doméstico

Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletivo

Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não

Área necessária para até 5 pessoas: 1,5 a 4 m²

Remoção de matéria orgânica: Média

Frequência de manutenção: Baixa

O lodo terá que ser removido?: Sim

Dimensionamento e detalhes de projeto

ABNT NBR 7229, 1993

Figueiredo, Tonetti e Magalhães, 2018

FUNASA, 2015

Casos bem sucedidos

Borges, 2005

Cruz, 2009

Figueiredo, no prelo

Gomes, 2015

Vicq e Leite, 2014

Outras referências

Vídeo Projeto Saneamento Rural Unicamp:

<http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/index.php/galeria/videos/>

Carvalho e Andreoli, 2015

Chernicharo, 1997

Tonetti et al., 2018

Considerações e recomendações

- O tanque séptico pode receber diversos tipos de esgotos, mas não deve receber águas pluviais (chuva) e despejos capazes de causar interferência negativa no tratamento (ex: água de piscinas e de lavagem de reservatórios de água).
- O esgoto tratado que sai do tanque séptico necessita de um tratamento complementar. Sugestões de tecnologias: Sistemas Alagados Construídos (**FICHA T04**), Filtro Anaeróbio (**FICHA T10**), Filtro de Areia (**FICHA T11**), Vermífiltros (**FICHA T12**).
- O lodo e a espuma acumulados no tanque séptico devem ser removidos a intervalos de tempo definidos no projeto e devem ser dispostos em local adequado (**FIGURAS 3 E 4**). Mais informações sobre o manejo do lodo estão contidas no **CAPÍTULO 7**.
- O destino do esgoto após tratamento pelo tanque séptico biodigestor deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental (**CAPÍTULO 3**) e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (ver **CAPÍTULO 6**).

T10

FILTRO ANAERÓBIO

Unidade de pós-tratamento para esgoto doméstico. O filtro anaeróbio é formado por uma câmara preenchida com material filtrante, que permite a fixação de micro-organismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica dissolvida. O filtro pode apresentar um compartimento inferior sem recheio (fundo falso), com a função de reter o lodo produzido, que também possui micro-organismos responsáveis pelo tratamento. Geralmente seu fluxo é ascendente (de baixo para cima). É recomendável que seja precedido de um tanque séptico (FICHA T09), Biodigestor (T13) ou Reator Anaeróbio compartimentado (T14).

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- O filtro anaeróbio pode ser construído com anéis de concreto (zimbras) (FIGURA 4), em alvenaria, ou qualquer outro material que garanta a impermeabilização das paredes e do fundo. Há modelos pré-fabricados em diversos materiais e que estão disponíveis comercialmente.
- Normalmente, a entrada de esgoto é realizada na parte inferior do filtro. Assim, o esgoto passa pelo fundo falso (FIGURA 2) e em seguida pela câmara com o material filtrante. Por fim, a saída do esgoto tratado ocorre na parte superior do filtro anaeróbio.
- O filtro anaeróbio deve possuir um tubo de limpeza (de pelo menos 100 mm de diâmetro) a partir da tampa até o fundo (FIGURA 2), permitindo assim a inserção de um mangote de sucção para a extração periódica do excesso de lodo por caminhão tipo “limpa-fossa”.
- A matéria orgânica do esgoto é degradada pelos micro-organismos aderidos no material filtrante e presentes no lodo do fundo falso.

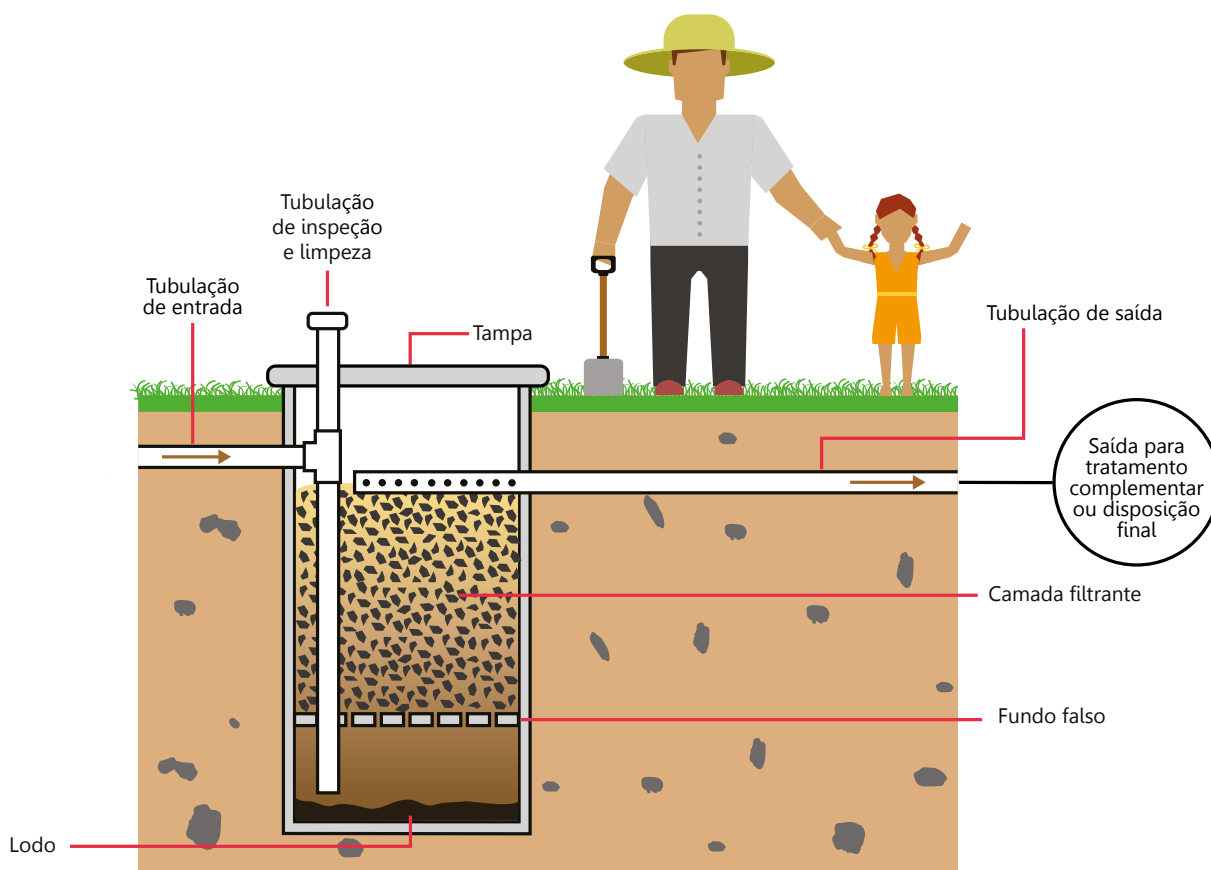


FIGURA 1. Esquema de filtro anaeróbio.



FIGURA 2. Filtro anaeróbio em construção. Detalhe do fundo falso apoiado em blocos de concreto. A imagem também mostra a tubulação de PVC 100mm por onde o esgoto entra no fundo do filtro (Foto: Adriano Tonetti).



FIGURA 3. Casca de coco utilizada como meio suporte no filtro anaeróbio. Campinas- SP (Foto: Isabel Figueiredo).

.....
Tipo de esgoto tratado: Esgoto pré-tratado

Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletiva

Necessita de unidade de pré-tratamento?: Sim

Área necessária para até 5 pessoas: 1,5 a 4 m²

Remoção de matéria orgânica: Média

Frequência de manutenção: Baixa

O lodo terá que ser removido?: Sim

Dimensionamento e detalhes de projeto
 ABNT NBR 13969, 1997
 Figueiredo, Tonetti e Magalhães, 2018
 FUNASA, 2015

Casos bem sucedidos
 Cruz, 2009
 Figueiredo, no prelo
 Gomes, 2015
 Oliveira, 2014
 Zerwis, 2013

Outras referências
 Vídeo Projeto Saneamento Rural Unicamp:
<http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/index.php/galeria/videos/>
 Chernicharo, 1997



FIGURA 4. Filtro anaeróbio em construção. No primeiro plano, um tanque séptico. Depois o filtro anaeróbio e no fundo uma vala de infiltração preenchida com bambu (Foto: Isabel Figueiredo).

Considerações e recomendações

- No tratamento de esgotos domésticos, um tanque séptico (**FICHA T09**) deve ser instalado antes do filtro anaeróbio, evitando o entupimento do material filtrante.
- Todo o material filtrante deve ser mantido afogado, isto é, totalmente preenchido com esgoto para evitar a oxigenação do meio. Para o preenchimento do filtro anaeróbio, deve-se escolher um material filtrante que não apresente alterações em sua composição a longo prazo, sendo recomendado um material leve, resistente e com um tamanho uniforme (Ex: brita, seixo, conduíte picado, anéis de plástico, cacos de tijolos ou telhas). Alguns filtros anaeróbios preenchidos com materiais alternativos, como bambu e cascas de coco (**FIGURA 3**), estão em operação há mais de 10 anos sem apresentar degradação do meio-suporte e com boa eficiência.
- Após passar pelo filtro anaeróbio, o esgoto ainda pode passar por um tratamento complementar para melhorar a remoção de matéria orgânica e nutrientes (Ex: nitrogênio). Sugestões de tecnologias: sistemas alagados construídos (**FICHA T04**) e filtro de areia (**FICHA T11**).
- A limpeza do filtro não tem uma frequência estabelecida. O excesso de lodo deve ser removido através da tubulação de limpeza, quando for observada o entupimento do material filtrante. As alternativas para o tratamento e destinação final do lodo são apresentadas no **CAPÍTULO 7**.
- O destino do esgoto após tratamento pelo filtro anaeróbio deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental (**CAPÍTULO 3**) e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (ver **CAPÍTULO 6**).

T11

FILTRO DE AREIA

Unidades de tratamento de esgoto doméstico após passar por tanque séptico (FICHA T09) ou filtro anaeróbio (FICHA T10). Os filtros de areia (FIGURA 1) e valas de filtração são formados por uma camada superior de areia seguida de camadas de outros materiais filtrantes com partículas de maior tamanho (exemplos: pedrisco, brita ou seixo rolado). O tratamento ocorre pela filtração de partículas do esgoto e pela degradação da matéria orgânica por micro-organismos presentes na areia e demais materiais filtrantes.

Tipo de esgoto tratado: Esgoto pré-tratado

Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletivo

Necessita de unidade de pré-tratamento?: Sim

Área necessária para até 5 pessoas: 2 a 5 m²

Remoção de matéria orgânica: Alta

Frequência de manutenção: Alta

O lodo terá que ser removido?: Não

Dimensionamento e detalhes de projeto

ABNT - NBR 11799/90

ABNT - NBR 13969/97

Casos bem sucedidos

Bueno, 2017

Cruz, 2009

Gomes, 2015

Tonetti et al., 2012

Tonon et al., 2015

Outras referências

Bahgat et al., 1999

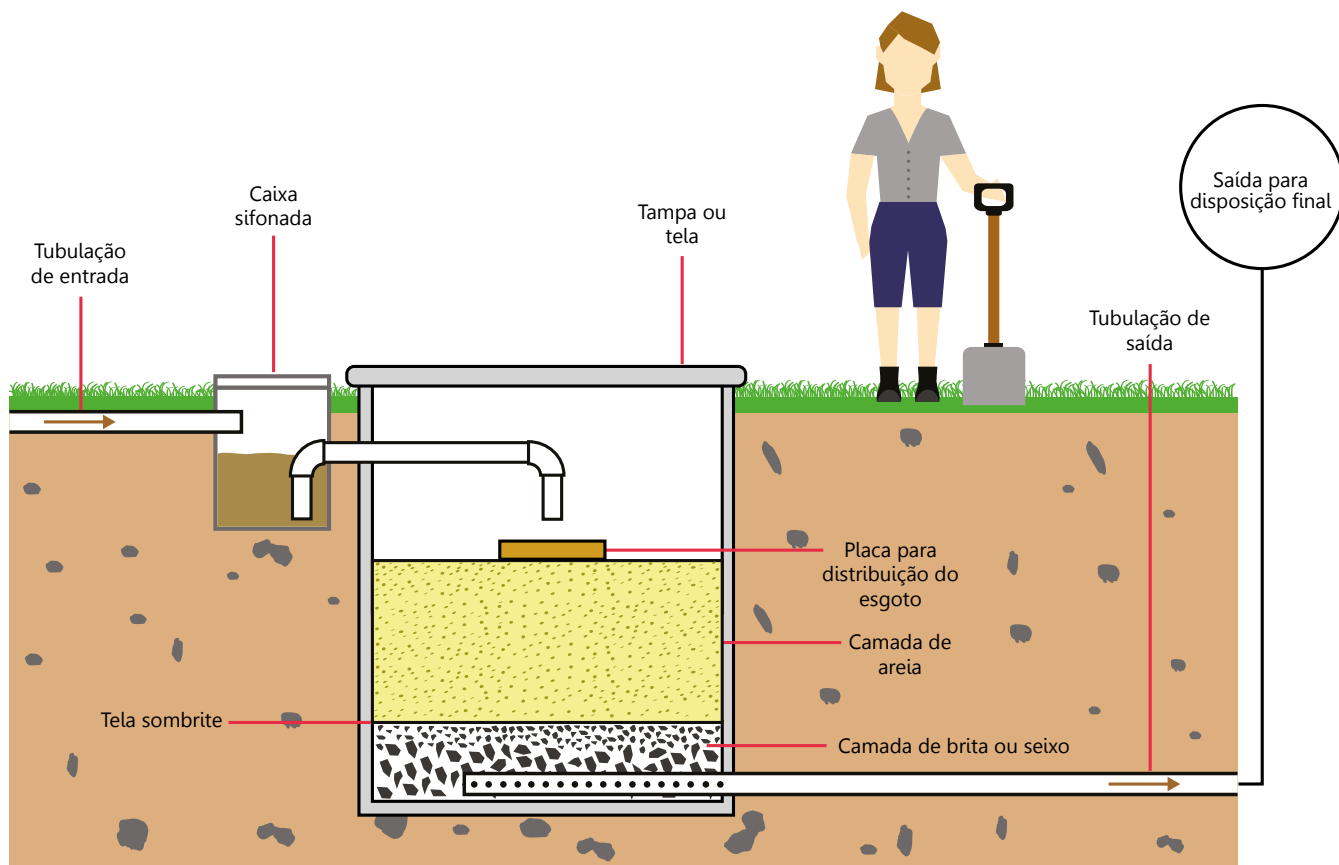


FIGURA 1. Esquema de filtro de areia.



FIGURA 4. Esquema de caixa sifonada que gera aplicações do esgoto em pulsos no filtro de areia.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- O filtro de areia pode ser construído com anéis de concreto (zimbras- **FIGURA 2**), alvenaria, bombonas plásticas, caixas d'água, ou qualquer outro material que garanta a impermeabilização das paredes e do fundo, com uma profundidade interna de pelo cerca de 1,0 m.
- A vala de filtração é um filtro de areia longitudinal. Ele é construído no próprio solo, e tem o seu fundo e paredes impermeabilizados. Seu funcionamento é semelhante ao do filtro de areia, porém sua superfície não fica exposta (solo cobre o filtro) e a vala tem um formato retangular, similar à vala de infiltração. Para mais detalhes, ver NBR 13.969/1997.
- O esgoto doméstico, previamente tratado, é aplicado sobre a superfície de areia de modo intermitente, isto é, com intervalos entre aplicações. O esgoto escoo pela areia e, em seguida, pelas demais camadas de materiais filtrantes. Depois disso, o esgoto tratado é coletado por uma tubulação com pequenos orifícios na parte inferior.
- O sistema pode ser duplicado, composto de dois filtros de areia (ou duas valas de filtração) para uso alternado. Isso garante a degradação do material retido na superfície de areia durante o repouso.
- Para os filtros de areia, o uso continuado pode gerar entupimento (colmatção) da camada superior de areia (**FIGURA 3**). A manutenção desse sistema consiste então na raspagem da camada superficial de areia (primeiros 5 cm de profundidade), seguida da sua reposição por areia limpa.

FIGURA 2. Filtro de areia construído em anéis de concreto para tratamento de esgoto vindo de um tanque séptico (Foto: Luana Cruz).

FIGURA 3. Leito de areia colmatado (entupido), mostrando uma coloração escura (Foto: Luana Cruz).

FIGURA 5. Aplicação do esgoto pré-tratado em placa de madeira para melhor distribuição no leito de areia (Foto: Luana Cruz).

Considerações e recomendações

- O filtro de areia e a vala de filtração são unidades complementares de tratamento de esgoto. Portanto, devem ser precedidos de tanque séptico (**FICHA T09**) e filtro anaeróbio (**FICHA T10**). Caso contrário, a superfície de areia pode entupir em poucas semanas.
- A entrada de esgoto deve ser realizada em intervalos ao longo do dia. Para sistemas unifamiliares, não há a necessidade de controle da aplicação, já que a geração de esgoto é naturalmente intermitente. Já para sistemas semicoletivos, é recomendável a instalação de um sistema de controle de dosagem (Ex: Caixa sifonada - **FIGURA 4**). A aplicação intermitente do esgoto garante a aeração natural da camada filtrante, sendo essencial para a manutenção dos micro-organismos aeróbios que degradam o esgoto.
- A alternância da operação de filtros de areia e de valas de filtração deve ser feita a cada três meses. Toda manutenção deve ser feita com uso de EPI. A areia removida deve ser armazenada em recipiente aberto, ao sol, até que a coloração escura (**FIGURA 3**) desapareça. Após esse procedimento, a areia pode ser reutilizada no filtro.
- O esgoto deve ser aplicado sobre toda a área superficial de areia, da maneira mais homogênea possível. Para isso, recomenda-se a colocação de uma placa de madeira ou concreto próximo ao local de aplicação do esgoto (**FIGURA 5**).
- A NBR 13.969/ 1997 recomenda uma taxa de aplicação diária de esgoto de no máximo 200 L/m². Já para a vala de filtração, a mesma norma recomenda uma taxa de aplicação diária de no máximo 100 L/m².
- O destino do esgoto após tratamento pelo filtro de areia deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental (**CAPÍTULO 3**) e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (ver **CAPÍTULO 6**).

T12

VERMIFILTRO

Unidade de tratamento para águas de vaso sanitário, águas cinzas, esgoto doméstico ou esgoto pré-tratado. O vermifiltro é dividido em duas partes. A parte de cima é composta por serragem, húmus e minhocas. A de baixo é composta por materiais filtrantes (ex: brita ou seixo rolado) divididos em camadas de diferentes granulometrias (tamanho das partículas). As minhocas fazem a degradação inicial da matéria orgânica, enquanto a decomposição mais refinada fica por conta dos micro-organismos que habitam todo o material de recheio do filtro. O vermifiltro possui a vantagem de acumular húmus de minhoca (vermicomposto) na camada superior, que pode ser retirado manualmente e usado como fonte de nutrientes para adubação.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- O vermifiltro pode ser construído com anéis de concreto (zimbras- FIGURA 3), alvenaria, bombonas plásticas, caixas d'água (FIGURA 2), ou qualquer outro material que garanta a sua impermeabilização, com uma profundidade interna de cerca de 0,8 m.
- O esgoto é aplicado na parte superior do vermifiltro de modo intermitente, isto é, com intervalos entre aplicações. Desse modo, o líquido escoar pela camada de serragem e minhocas e, em seguida, pelos materiais filtrantes que estão abaixo dessa camada.
- Após passar pelas camadas de serragem e de material filtrante, o esgoto tratado (FIGURA 4) é coletado por uma tubulação interna com pequenos orifícios, localizada no fundo do vermifiltro.
- As minhocas mais comumente utilizadas na vermicompostagem são as californianas, das espécies *Eisenia andrei* e *Eisenia fetida* (FIGURA 5). Essas minhocas se alimentam de restos orgânicos e proporcionam uma aeração natural do meio. Além disso, auxiliam na formação da comunidade de micro-organismos, que são os principais responsáveis pela decomposição da matéria orgânica.

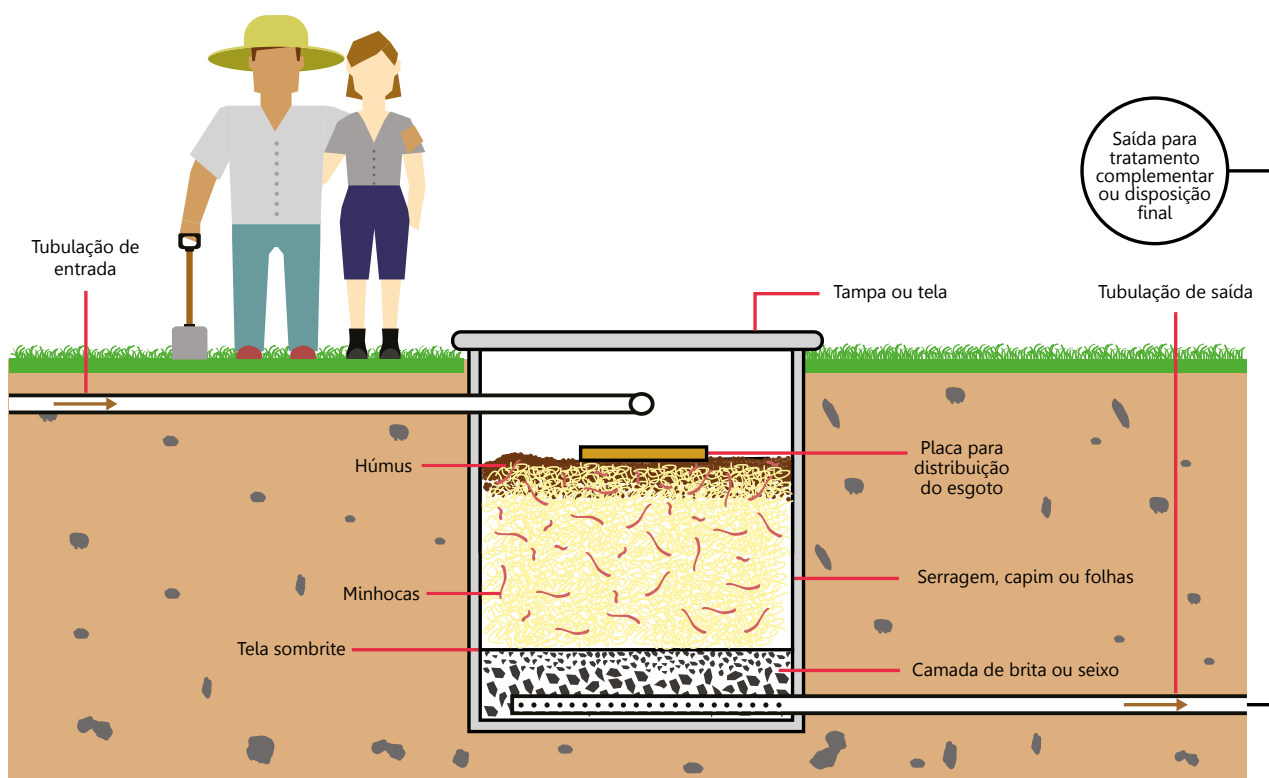


FIGURA 1. Esquema de vermifiltro.



FIGURA 2. Detalhe de um vermifiltro unifamiliar com recheio de serragem. É possível observar a camada de vermicomposto (húmus) (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 3. Vermifiltro construído com anéis de concreto (zimbras) em São Francisco Xavier-SP. Detalhe do Tê para distribuição do esgoto. Projeto Protegendo as Águas- SFX (Foto: Francisco Madrid).



FIGURA 4. Amostras do esgoto bruto, depois de passar pelo tanque séptico e após o vermifiltro. Projeto Protegendo as Águas-SFX (Foto: Danilo Ferrara).



FIGURA 5. Minhocas vermelhas da Califórnia (*Eisenia*) utilizadas nos vermifiltros (Foto: Yuen Yat Chuen).

Considerações e recomendações

- No tratamento de esgotos domésticos, um tanque séptico (**FICHA T09**) pode ser instalado antes do vermifiltro para amenizar possíveis danos causados por variações de temperatura do esgoto e lançamentos de produtos de limpeza que poderiam comprometer as minhocas.
- A entrada de esgoto no vermifiltro deve ser realizada em intervalos ao longo do dia. Para sistemas unifamiliares, não há a necessidade de controle da aplicação, já que a geração de esgoto é naturalmente intermitente. Já para sistemas semicoletivos, é recomendável a instalação de um sistema de controle de dosagem (Caixa sifonada - ver **FICHA T11**). A águas de vaso sanitário, águas cinzas ou esgoto doméstico devem ser aplicadas sobre toda a área superficial da serragem, da maneira mais homogênea possível.
- Pelo menos uma vez a cada seis meses, deve-se remover o excesso de húmus de minhoca da camada superficial e repor serragem até a altura inicial dessa camada. Para isso, é importante usar EPI, especialmente luvas. O húmus removido pode ser disposto em uma área com sol, para secagem. O material seco pode ser utilizado como adubo mas não é recomendável o uso desse material em hortas.
- Ainda não há normas ou padrões de dimensionamento estabelecidos para vermifiltros. Com base em pesquisas científicas, o vermifiltro pode ser construído com uma taxa de aplicação superficial diária de esgoto entre 400 e 1.000 L/m²; b) com uma camada de serragem + minhocas de pelo menos 40 cm de profundidade; c) com camadas de materiais filtrantes de diferentes tamanhos totalizando pelo menos 40 cm.
- O destino do esgoto após tratamento pelo vermifiltro deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental (**CAPÍTULO 3**) e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (ver **CAPÍTULO 6**).

.....
Tipo de esgoto tratado: Águas de vaso sanitário, águas cinzas, esgoto doméstico ou esgoto pré-tratado

.....
Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletivo

.....
Necessita de unidade de pré-tratamento?: Sim

.....
Área necessária para até 5 pessoas: 2 a 4 m²

.....
Remoção de matéria orgânica: Média

.....
Frequência de manutenção: Alta

.....
O lodo terá que ser removido?: Sim, na forma de húmus de minhoca

Dimensionamento e detalhes de projeto

ATOS, 2015

Pureza e Castagna, 2015

Casos bem sucedidos

ATOS, 2015

Sartori, 2010

Outras referências

Madrid, 2016

Nie et al., 2014

T13

BIODIGESTOR

Unidade de tratamento para águas de vaso sanitário, esgoto doméstico, esterco fresco, restos de alimentos ou ainda a combinação de todos esses dejetos. O biodigestor é formado por uma câmara fechada onde acontece a digestão anaeróbia da matéria orgânica (na ausência de oxigênio) e por um gasômetro que armazena o biogás produzido. O biogás pode ser aproveitado como gás de cozinha, utilizando-se uma tubulação instalada na parte superior do gasômetro.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- Existem diversos modelos de biodigestores. O modelo denominado “chinês” (FIGURA 2), muito utilizado no Brasil, pode ser construído em alvenaria de tijolos, incluindo o gasômetro em forma de domo (parte superior em forma côncava). A impermeabilização deste modelo é

a parte mais complicada da sua construção, pois demanda várias camadas de nata de cimento e areia fina. Esse modelo conta ainda com uma caixa de compensação hidráulica que permite o confinamento do biogás com uma boa pressão.

- Para o tratamento de esgoto doméstico com o biodigestor chinês, o esgoto entra pela parede lateral do biodigestor e é conduzido até o seu fundo. Resíduos orgânicos triturados e esterco fresco podem ser adicionados por uma câmara adjacente que possui uma tubulação também conectada ao fundo do biodigestor.
- Dentro do biodigestor ocorre a degradação anaeróbia da matéria orgânica presente no esgoto e nos restos orgânicos, o que leva à produção de biogás. Esse biogás é formado por uma mistura de gases, principalmente o metano, que é um gás combustível.
- O biogás fica retido no gasômetro do biodigestor. Assim, uma tubulação instalada no ponto mais alto se encarrega de transportar o gás para o seu aproveitamento energético (exemplo: gás de cozinha, iluminação e aquecimento de água).

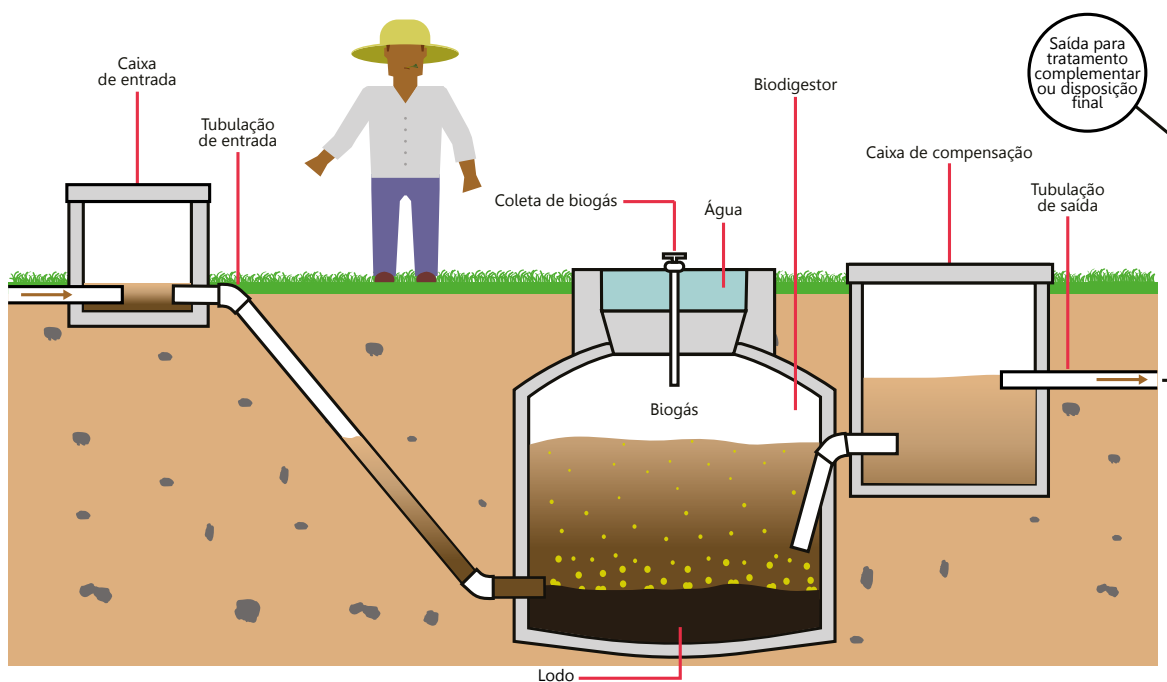


FIGURA 1. Esquema de biodigestor.



FIGURA 2. Biodigestor de alvenaria, integrante de um BSI (T15) para tratamento de esgoto do Vale Encantado- RJ. (Projeto: Otávio Barros e Valmir Fachini. Foto: Leonardo Adler).



FIGURA 4. Biodigestor de anéis de concreto. Na imagem a cúpula está sendo construída com tijolos e suportará a tampa. A tubulação de PVC que chega na base é a entrada de esgoto (Foto e projeto: Guilherme Castagna).



FIGURA 3. Biodigestor experimental de contêiner IBC (modelo Solar Cities) no Centro Experimental de Saneamento Ambiental da UFRJ (Foto: William Romanholi).

Considerações e recomendações

- Existem diversos modelos de biodigestor em uso no Brasil. O biodigestor sertanejo é uma adaptação que utiliza placas de concreto. O biodigestor canadense consiste em uma lagoa coberta com uma lona. Há também modelos pré-fabricados ("biodigestores bags") e modelos experimentais construídos com containers IBC (FIGURA 3) e anéis de concreto (FIGURA 4).
- Apesar da tecnologia ter pouca manutenção, a sua operação exige atenção na verificação da vedação da tampa do biodigestor e de sua válvula de controle de vazão, e de vazamento de biogás pela tubulação de coleta. A principal vantagem do biodigestor em relação às outras alternativas de tratamento é o aproveitamento do biogás. Contudo, esse aspecto deve ser ponderado devido às maiores dificuldades de construção e cuidados na operação.
- O tempo mínimo que o esgoto deve passar dentro do biodigestor é de um dia. Após o tratamento pelo biodigestor, o esgoto ainda necessita de um tratamento complementar. Sugestões de tecnologias: Filtro Anaeróbio (FICHA T10), Sistemas Alagados Construídos (FICHA T04) e Biosistemas Integrados (FICHA T15) que integram os biodigestores em um sistema ecológico mais amplo.
- O excesso de lodo do biodigestor deve ser removido a cada 2 a 4 anos através da caixa de compensação ou pela tampa na cúpula, dependendo do modelo adotado. A remoção pode ser manual ou por caminhão limpa fossa. As alternativas para o tratamento e destinação final do lodo são apresentadas no **CAPÍTULO 7**.
- O destino do esgoto após tratamento pelo biodigestor deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental (**CAPÍTULO 3**) e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (ver **CAPÍTULO 6**).

.....
Tipo de esgoto tratado: Águas de vaso sanitário ou esgoto doméstico

.....
Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletivo

.....
Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não

.....
Área necessária para até 5 pessoas: 5 m²

.....
Remoção de matéria orgânica: Média

.....
Frequência de manutenção: Alta

.....
O lodo terá que ser removido?: Sim

Dimensionamento e detalhes de projeto

FBB, 2003

Tilley et al., 2014

Casos bem sucedidos

Adler et al., 2017

Lermontov e Gomes, 2009

Outras referências

Mattos e Farias Júnior, 2011

T14

REATOR ANAERÓBIO COMPARTIMENTADO (RAC)

Unidade de tratamento para águas de vaso sanitário ou esgoto doméstico. O reator anaeróbico compartimentado (RAC) é muito semelhante a um tanque séptico, porém possui múltiplas câmaras em série. Em cada câmara, o esgoto que entra é direcionado para o fundo do compartimento e a saída é feita sempre pela parte superior. Isso permite que o esgoto tenha um maior contato com o lodo que se acumula no fundo de cada câmara. É justamente nesse lodo que se encontram os micro-organismos que degradam a matéria orgânica e purificam o esgoto.

Tipo de esgoto tratado: Águas de vaso sanitário ou esgoto doméstico

Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletivo

Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não

Área necessária para até 5 pessoas: 3 a 8m²

Remoção de matéria orgânica: Média

Frequência de manutenção: Baixa

O lodo terá que ser removido?: Sim

Dimensionamento e detalhes de projeto

Gonçalves, 2006

Casos bem sucedidos

Franceschini, no prelo

Javarez Júnior et al., 2007

Postigo et al., 2017

Outras referências

Chernicharo, 2016

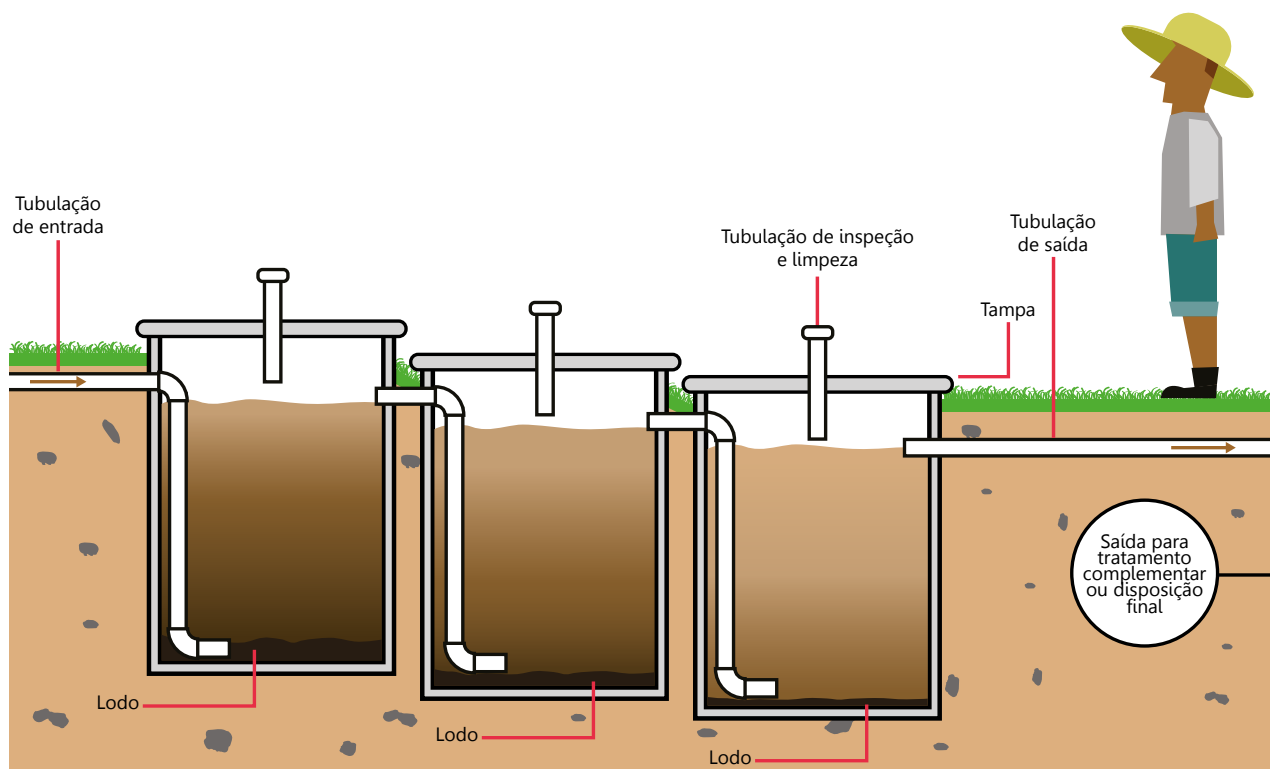


FIGURA 1. Esquema de reator anaeróbico compartimentado (RAC).



FIGURA 2. RAC sendo construído com anéis de concreto (zimbras). É possível observar a impermeabilização entre os anéis, na parte interna (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 3. RAC construído com bombonas plásticas de 220L, compondo o sistema conhecido como Fossa séptica econômica (Foto: Guilherme Franceschini).



FIGURA 4. RAC instalado na FEAGRI/UNICAMP, Campinas-SP. O RAC é a primeira etapa do tratamento de esgoto de uma parte do campus. Depois do RAC o esgoto segue para SAC (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 5. Fossa séptica econômica implantada em área rural de Pederneiras-SP (Fonte: Postigo et al., 2017).

Considerações e recomendações

- O RAC é destinado para o tratamento de água de vaso sanitário ou esgoto doméstico. Não pode haver a entrada de água de chuva ou qualquer outro tipo de despejo que possa diluir o esgoto.
- Há experiências sendo desenvolvidas com o uso de materiais alternativos como bombonas plásticas e em dimensões menores do que as normalmente utilizadas (**FIGURA 4 e 5**). Estes sistemas, apesar de já estarem sendo implantados em muitos locais, ainda estão sendo pesquisados quanto à sua eficiência e manutenção.
- O esgoto após tratamento pelo RAC apresenta qualidade superior ao gerado pelo tanque séptico. No entanto, um pós tratamento ainda é recomendável. Sugestões de tecnologias: Filtro de Areia (**FICHA T11**), Sistemas Alagados Construídos (**T04**), Biosistemas Integrados (**T15**).
- O lodo RAC deve ser removido em intervalos de tempo definidos no projeto. As alternativas para o tratamento e destinação final do lodo são apresentadas no **CAPÍTULO 7**.
- O destino do esgoto após tratamento pelo biodigestor deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental (**CAPÍTULO 3**) e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (ver **CAPÍTULO 6**).

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- O RAC pode ser construído com anéis de concreto (**FIGURA 2 e 3**), alvenaria, bombonas plásticas (**FIGURA 4 e 5**), caixas d'água, ou qualquer outro material que garanta a sua impermeabilização.
- O esgoto deve ficar retido no RAC entre 10 e 24 horas. Este tempo é estabelecido no seu projeto, devendo-se levar em consideração as características do esgoto e seu volume diário a ser tratado.
- O sistema pode ser dividido em câmaras de volumes iguais ou ter a primeira câmara com um volume maior, uma vez que nesta há uma maior retenção de partículas sólidas do esgoto que tendem a se depositar no fundo.
- Durante o período de retenção e passagem do esgoto pelas câmaras, ocorre o depósito de partículas em suspensão presentes no líquido, formando um lodo rico em micro-organismos, responsável pela degradação anaeróbica do esgoto.

T15

BIOSSISTEMA INTEGRADO (BSI)

Sistema integrado baseado nos princípios ecológicos, desenhado para tratamento de águas de vaso sanitário ou esgoto doméstico. O conceito do BSI se baseia no aproveitamento total do esgoto sanitário através de um ciclo de tratamento integrado às atividades produtivas locais, reciclando o potencial energético (com o uso do biogás), a água e os nutrientes.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- O sistema é iniciado por um biodigestor, preferencialmente o modelo chinês (**FICHA T13**). O biodigestor pode receber a totalidade do esgoto ou somente as águas de vasos sanitários. Neste reator acontece a digestão anaeróbia do material orgânico. O biogás gerado no processo poderá ser aproveitado.
- Após o biodigestor, o esgoto pode ser enviado para um Filtro Anaeróbio (**FICHA T10**) que continua a fazer a digestão anaeróbia da matéria orgânica.
- Após o filtro, o esgoto segue para Sistemas Alagados Construídos-SAC (**FICHA T04**). Nesta etapa, parte dos nutrientes presentes no esgoto é absorvida pelas plantas e parte da água é evaporada para o ambiente através da transpiração das plantas.
- Havendo espaço disponível, o esgoto tratado pelo BSI pode ser integrado a sistemas produtivos como um tanque de algas, peixes e plantas aquáticas (ou macrófitas). A construção destes tanques é opcional, mas eles são responsáveis pela depuração final do esgoto e a produção de peixes e algas/plantas aquáticas.
- O esgoto que sai destas lagoas pode ser utilizado para ferti-irrigação de árvores frutíferas (pomares) ou outras culturas (ver informações sobre reúso agrícola no **CAPÍTULO 6**).

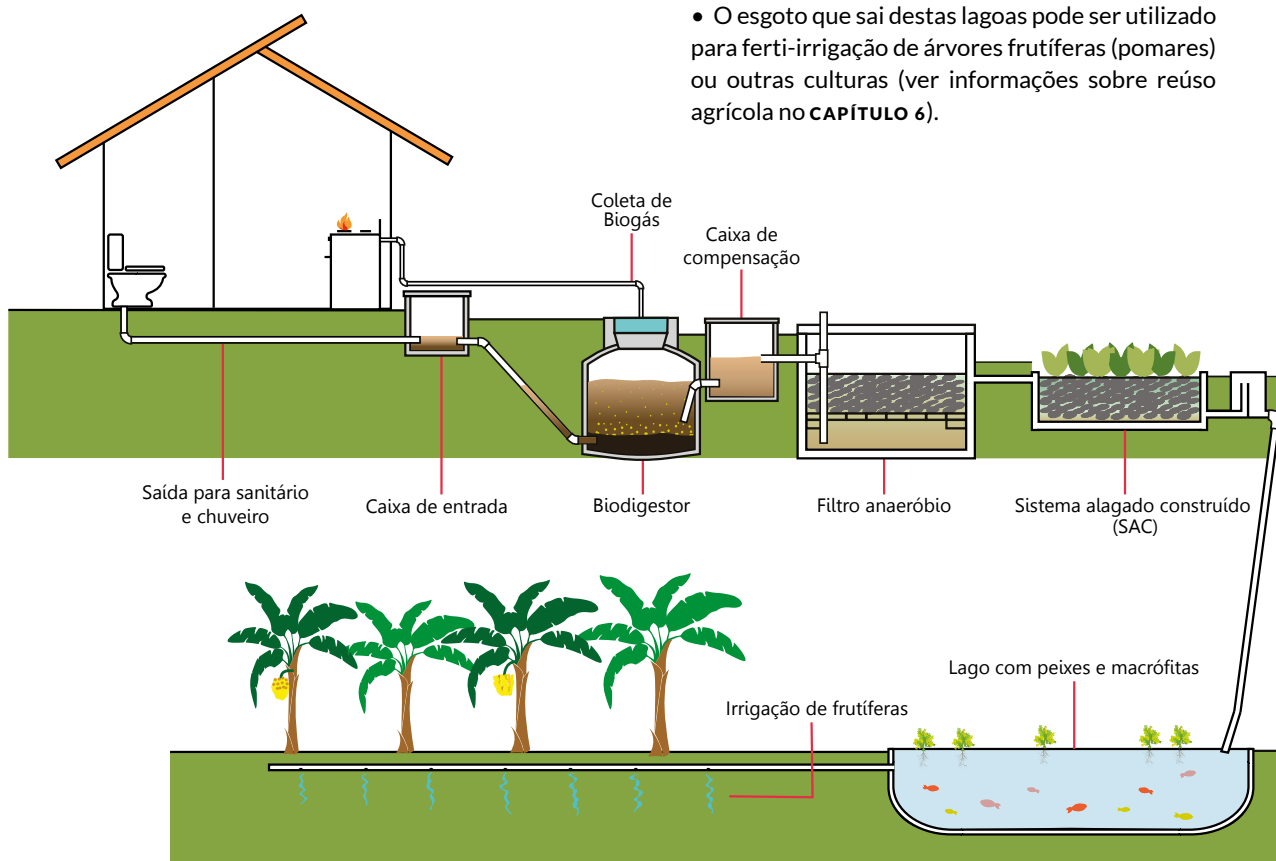


FIGURA 1. Esquema de biosistema integrado (BSI).



FIGURA 2. BSI que atende uma família e uma escola (Sítio Ko Yvy, Mury, RJ). O pós-tratamento do efluente do biodigestor é feito por dois filtros biológicos e um tanque de macrófitas (Projeto e foto: Tito Cals).



FIGURA 3. BSI unifamiliar no Espaço Almagestum, Pedra Bela-SP. O filtro anaeróbio e zona de raízes foram construídos sobre o biodigestor. No centro, o encanamento para saída do biogás (Projeto: Guilherme Castagna. Foto: Isaías Reis).



FIGURA 4. BSI semi-coletivo em início de operação. Sistema de zonas de raízes flutuantes com papiros (ao fundo) e tanque com aguapés (primeiro plano) em pousada de Ubatuba-SP (Foto e projeto: Guilherme Castagna).

Considerações e recomendações

- Para tratamento de esgoto doméstico, o tempo mínimo que o esgoto deve passar dentro do biodigestor e da segunda etapa de tratamento (filtro anaeróbio) é de um dia (24 horas) para cada reator. Com a integração destas etapas com lagoas de algas, peixes e/ou macrófitas para depuração final do esgoto tratado, eleva-se a remoção de carga orgânica a mais de 90%.
- Para evitar a entrada de materiais e resíduos não biodegradáveis (exemplo: fraldas, absorventes, preservativos, entre outros) no biodigestor, este pode ser precedido por um sistema de gradeamento, ideal para sistemas semicoletivos.
- O biodigestor chinês possui um grau de dificuldade de execução/implantação maior em relação a outras unidades de tratamento, por isso ver a **FICHA T13** para maiores detalhes sobre este sistema.
- O excesso de lodo do biodigestor e do filtro anaeróbio deve ser removido de acordo com os respectivos procedimentos de manutenção. As alternativas para o tratamento e destinação final do lodo são apresentadas no **CAPÍTULO 7**.
- Normalmente os BSI eram empregados em sistemas semicoletivos. No entanto, é cada vez mais comum a adaptação deste sistema para realidades unifamiliares (**FIGURA 3**).
- O destino do esgoto após tratamento pelo biodigestor deverá ser avaliado de acordo com a sua qualidade, sempre observando os limites estipulados pela legislação ambiental (Capítulo 3) e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais (ver **CAPÍTULO 6**).

.....
Tipo de esgoto tratado: Águas de vaso sanitário ou esgoto doméstico

Tipo de sistema: Unifamiliar ou Semicoletivo

Necessita de unidade de pré-tratamento?: Não

Área necessária para até 5 pessoas: 25 a 100 m²

Remoção de matéria orgânica: Alta

Frequência de manutenção: Alta

O lodo terá que ser removido?: Sim

Dimensionamento e detalhes de projeto
 FBB, 2003

Casos bem sucedidos
 Lermontov e Gomes, 2009
 Projeto Caxixe-ES, 2018

Outras referências
 Fonseca, 2008
 Rodrigues, Gomes e Selvan, 2006

Avalie e contribua para este capítulo clicando no botão abaixo:

Capítulo 6

Soluções para a disposição final do esgoto tratado

A maioria das tecnologias de tratamento de esgoto apresentadas no Capítulo 5 geram esgoto tratado, que deve ser direcionado para um destino final. Ou seja, após ser gerado em uma casa ou conjunto de casas, o esgoto passa por um processo de tratamento, que, por sua vez, produz um resíduo líquido que deverá ser encaminhado para o chamado destino final. Esse destino também é chamado de **disposição final**. Nesta publicação, são abordadas duas possibilidades de **disposição final** em comunidades isoladas:

- Disposição no solo
- Disposição nos corpos de água

Disposição final no solo

A disposição de esgoto tratado no solo é uma alternativa para a reciclagem de água e de nutrientes. Além disso, o solo atua como um complemento ao tratamento, principalmente no que se refere à remoção de patógenos e nutrientes. Quando o esgoto tratado é distribuído no solo, ele se infiltra através de pequenos espaços que estão nas camadas mais secas e sem água (camadas insaturadas). Durante esse percurso, o esgoto recebe um complemento ao tratamento através de processos de natureza física, química e biológica.

Entre as opções de disposição final apresentadas neste capítulo, a disposição no solo se mostra, ainda, a mais adequada a comunidades isoladas. Entretanto, é importante controlar essa atividade e executá-la com cuidado para não causar danos como:

- a) erosão e salinização do solo;
- b) contaminação do solo;
- c) contaminação das culturas agrícolas;
- d) contaminação das águas superficiais e subterrâneas (lençol freático/águas de poço)¹¹

As principais vantagens e desvantagens do uso de sistemas de disposição no solo estão resumidas no **QUADRO 3**.

QUADRO 3. Vantagens e desvantagens do uso de sistemas de disposição de esgoto tratado no solo.-Fonte: Elaborado pelos autores.

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • São sistemas simplificados e que necessitam de pouca manutenção e operação. • Têm custos de construção e operação menores do que sistemas mais mecanizados, os quais necessitam de bombas, agitadores e aeradores. • Há a possibilidade de haver a recarga dos aquíferos através da infiltração do esgoto tratado no solo. | <ul style="list-style-type: none"> • Existe uma grande variação da qualidade final do esgoto tratado, pois existe a influência de muitos fatores (clima, tipo de solo etc.). • A maioria dos sistemas de disposição no solo necessita de uma grande área para sua implantação. • Solos muito impermeáveis, com lençol freático próximo à superfície, ou áreas que são alagadas com frequência não possibilitam a infiltração no solo. |

Nesta publicação, são apresentadas três alternativas para a disposição de esgotos tratados no solo:

- a) Vala de infiltração - D01
- b) Sumidouro - D02
- c) Círculo de Bananeiras - D03

As duas primeiras formas de disposição do esgoto tratado (Valas de Infiltração - D01 e Sumidouro - D02) são citadas pela norma NBR 13969/1997 (ABNT, 1997)¹². Já o Círculo de Bananeiras (D03) não está contemplado nas normas brasileiras, mas é sugerido pela Funasa (FUNASA, 2015 e 2018) e tem sua eficácia comprovada por pesquisas acadêmicas

11 A resolução Conama nº 396 de 2008 (CONAMA, 2008) dispõe sobre águas subterrâneas e ressalva que, dependendo do enquadramento e da qualidade das águas subterrâneas em determinado local, não serão permitidas a aplicação e a disposição no solo de esgotos tratados.

12 Embora na norma NBR13969/1997 (ABNT, 1997) seja sugerido, também, o canteiro de infiltração como disposição final do esgoto tratado, essa alternativa não está apresentada neste manual, pois demanda a substituição de solo, não sendo uma opção favorável a comunidades isoladas.

(FIGUEIREDO, no prelo) e pelo seu uso corrente em projetos de permacultura e agroecologia. Essa alternativa também foi apresentada como tecnologia de tratamento de águas cinzas no **Capítulo 5** (FICHA T05).

Para que seja feita uma escolha correta da tecnologia a ser empregada para a disposição do esgoto tratado no solo, é necessário avaliar a profundidade do lençol freático e o tipo do solo do local.

A profundidade do lençol freático

O lençol freático delimita a região em que o solo está saturado, ou seja, o local onde todos os espaços vazios do solo passam a ser ocupados por água (FIGURA 23). O nível do lençol freático varia ao longo do ano, de acordo com as épocas de estiagem/chuvas, e depende da presença de vegetação, áreas de infiltração de água da chuva e do consumo de água subterrânea pela população.

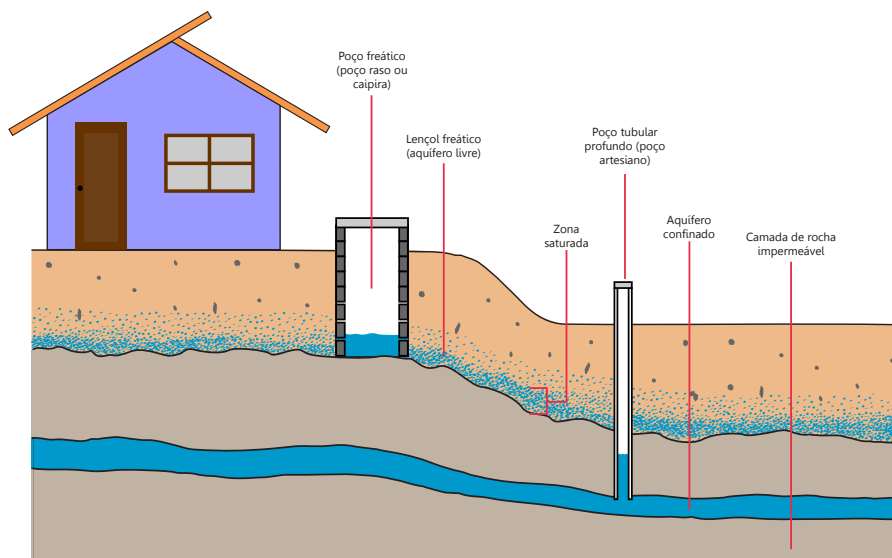


FIGURA 23. Desenho esquemático de lençol freático, poço caipira e poço artesiano (Fonte: Elaborado pelos autores).

O nível do lençol freático pode ser observado nos poços freáticos (poços rasos, comuns, caipiras cacimbas). Se um poço tem água a uma profundidade de 10 metros, por exemplo, esse pode ser estabelecido como o nível do lençol freático naquela pequena área.

O conhecimento da profundidade do lençol freático é importante para a escolha da disposição final, como será mostrado no fluxograma de escolha de disposição final (FIGURA 33). Quanto mais profundo o lençol, mais segura é a disposição de esgotos no solo e menor a chance de ele contaminar as águas subterrâneas. No Brasil, a distância mínima sugerida entre o local de aplicação de esgoto tratado no solo (ex: fundo do sumidouro) e o lençol é de 1,5

m (ABNT, 1997); porém inúmeras pesquisas demonstram que o esgoto tratado pode percorrer distâncias de até centenas de metros pelo subsolo (USEPA, 2002).

O tipo de solo local

O tipo (textura) de solo é outro aspecto importante e que ajuda a definir o sistema de disposição mais adequado. A textura do solo dependerá das partículas que o compõem, e estas podem ser divididas – conforme o seu tamanho – em argilas, siltes ou areias (IBGE, 2007)¹³. Análises de solo para a determinação da sua textura podem ser realizadas em laboratórios especializados. No entanto, optamos por apresentar aqui métodos mais simplificados para essa análise e que estão ao alcance de todos.

Para a realização dos testes, são necessários aproximadamente 25 g (ou cerca de três colheres de sopa) do solo do local onde será instalado o sistema de disposição do esgoto tratado. Com a amostra de solo seca e exercendo pressão com os dedos, pode-se pegar alguns torrões (também chamados de agregados - FIGURA 24) para verificar a resistência à quebra ou ao amassamento (desagregação). Solos mais argilosos apresentam torrões mais resistentes à pressão dos dedos. Já os mais siltosos são menos resistentes e se esmigalham quando quebrados. Solos arenosos não formam torrões. Conforme mostrado na FIGURA 24, também com a amostra seca, pode-se esfregar uma pequena porção do solo sobre uma folha de papel. Nesse caso, pode-se observar que as partículas mais finas (silte e argilas) colore o papel, ficando as partículas de areia isoladas.

Figura 24. Torrões ou agregados em diferentes amostras de solo. Estes devem ser quebrados/amassados antes de realizar os testes (Foto: Isabel Figueiredo).



13 Argilas são partículas com diâmetros menores do que 0,002mm. Partículas de silte possuem diâmetro entre 0,002 e 0,05 mm. Areias possuem entre 0,05 e 2,0 mm de diâmetro (IBGE, 2007).

Para a avaliação da textura, pode-se amassar ou moldar uma amostra úmida, até formar uma massa com consistência uniforme adicionando-se água aos poucos. O solo deve estar úmido, mas não muito lamacento. Após essa preparação inicial, siga os passos explicados na FIGURA 25. AS FIGURAS 26 a 32 mostram detalhes do formato e aspecto do solo que está sendo testado, facilitando a sua identificação.

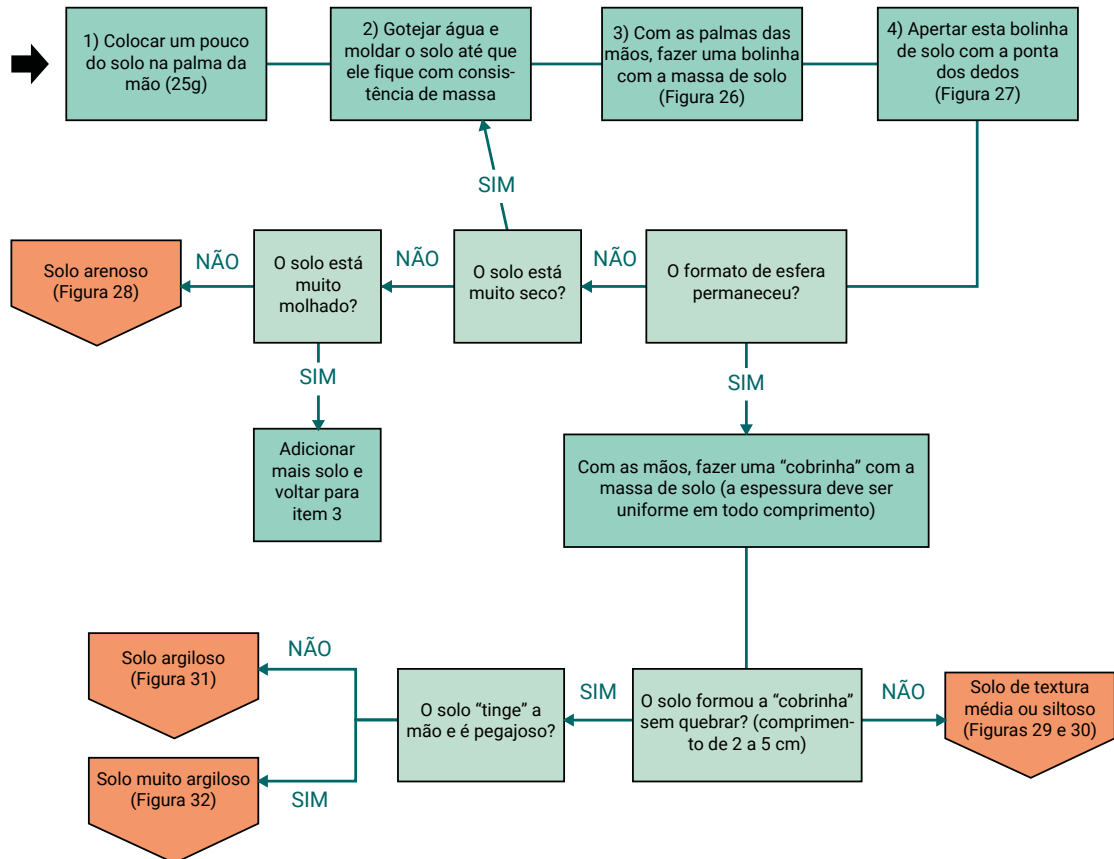


FIGURA 25. Fluxograma para identificação da textura do solo (Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Burks e Minnis, 1994)



FIGURA 26. Bolinha feita com a massa de solo úmido (Foto: Isabel Figueiredo).

FIGURA 27. Bolinha sendo apertada entre os dedos, para testar se o formato esférico permanece (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 28A. Aspecto geral do solo arenoso (muito permeável). Detalhe da tentativa de modelar a bolinha da massa de solo arenoso e ausência de tingimento na palma da mão. (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 28B. Detalhe da cobrinha que não conseguiu ser formada, mostrando que o solo não fica aderido, ficando sem forma (Foto: Isabel Figueiredo).





FIGURA 29. Aspecto do solo de textura média (permeável). Detalhe da cobrinha quebradiça, que indica moderada pegajosidade e plasticidade (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 30. Aspecto do solo siltoso (moderadamente permeável). Aspecto fosco, liso e quebradiço (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 31. Aspecto do solo argiloso (pouco permeável). Detalhe da cobrinha, que teve seu formato mantido, e da mão tingida (Foto: Isabel Figueiredo).

FIGURA 32A. Aspecto do solo muito argiloso (impermeável). Detalhe da mão tingida. (Foto: Rachel Germiniani Resende).



FIGURA 32B. Detalhe da "cobrinha" bem formada (Foto: Rachel Germiniani Resende).



O quadro a seguir sistematiza as situações para interpretação da textura pelo tato.

QUADRO 4. Interpretação da textura do solo pelo tato. Fonte: Elaborado pelos autores.

| SENSAÇÃO AO TATO | TEXTURA |
|---|----------------------------|
| O solo não pode ser moldado como uma bolinha (esfera) ou quando pode, desmorona com facilidade. Produz um ruído quando o solo seco é esfregado próximo ao ouvido. | Arenosa (Figura 28) |
| O solo forma uma bolinha (esfera), mas não forma uma cobrinha. Além disso, apresenta sensação de aspereza. | Média (Figura 29) |
| O solo forma uma "cobrinha", mas quebra-se quando está com menos de 2 cm de comprimento. Apresenta a sensação de sedosidade. Não é possível ouvir o ruído quando o solo seco é esfregado próximo ao ouvido. | Siltosa (Figura 30) |
| O solo é pegajoso e firme, formando cobrinhas alongadas de 2 a 5 cm. | Argilosa (Figura 31) |
| O solo é muito pegajoso e firme e forma fios maiores que 5 cm. | Muito argilosa (Figura 32) |

Além da avaliação pelo tato, é possível realizarmos uma avaliação visual, pela identificação da cor do solo. Os solos podem apresentar cores variadas, tais como preto, vermelho, amarelo, acinzentado etc. Essa variação irá depender da quantidade de material orgânico, da mineralogia, entre outros fatores. O solo é mais escuro, por exemplo, quanto maior for a quantidade de matéria orgânica. Já solos arenosos são frequentemente claros, devido à quantidade elevada de quartzo. No entanto, os solos arenosos podem apresentar colorações escurecidas, se houver elevada presença de matéria orgânica, que tende a recobrir as partículas minerais, escurecendo e mascarando as cores dos minerais. Ao longo do tempo, a água tem um grande efeito indireto sobre a cor do solo. Em solos mais permeáveis, especialmente em áreas mais elevadas e bem drenadas, o solo tende a ter tonalidades avermelhadas e marrons muito intensas. Já em áreas de baixada, fundo de vales alagáveis ou várzeas, pode-se observar a presença de solos acinzentados, indicando pouca permeabilidade e drenagem (excesso de água).

Se for necessária a identificação mais precisa da textura do solo, sugerimos também a determinação da granulometria do solo pelo **Método da Sedimentação** (página 108)¹⁴. Esse método, apesar de um pouco mais trabalhoso, é mais preciso que os descritos anteriormente porque possibilita determinar a porcentagem de areia, silte e argila da amostra.

14 Além das informações apresentadas aqui, também está disponível um aplicativo gratuito para celulares com tecnologia Android, desenvolvido pelo professor Esdras Teixeira Costa, que auxilia nessa classificação: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.agro.textura&hl=pt_BR.

Método da sedimentação: determinação da granulometria do solo

O princípio envolvido nesse método é simples e possibilita determinar a porcentagem de areia, silte e argila do solo. Como as partículas do solo são mais densas que a água, elas tendem a se depositar numa velocidade proporcional ao seu tamanho. Em outras palavras: quanto maior o tamanho da partícula mais rapidamente elas se depositam, ou seja, partículas de areia se depositarão em uma velocidade maior que as partículas de silte e argila.

Para realizar esse teste, escolha o local de onde irá retirar uma amostra de solo. Com uma pá de jardim, colete o solo, retirando raízes e pedras maiores. Também é necessário desmanchar os torrões para em seguida colocar a amostra dentro de um pote de vidro com tampa. Você pode utilizar qualquer vidro transparente disponível. Coloque um pouco de solo, de modo que encha 1/3 do vidro. Complete o volume do vidro com água e acrescente uma colher de chá de detergente. Tampe o vidro e agite bem até obter uma mistura homogênea. Em seguida, deixe em um local para que a mistura repouse por um dia.

No dia seguinte, será possível observar a formação de três camadas. A primeira camada depositada no fundo do vidro corresponde à fração de areia. Logo acima desta, terá se depositado uma camada mais fina, que corresponderá à fração de silte. Por último, observa-se a fração de argila (**FIGURA 1**).

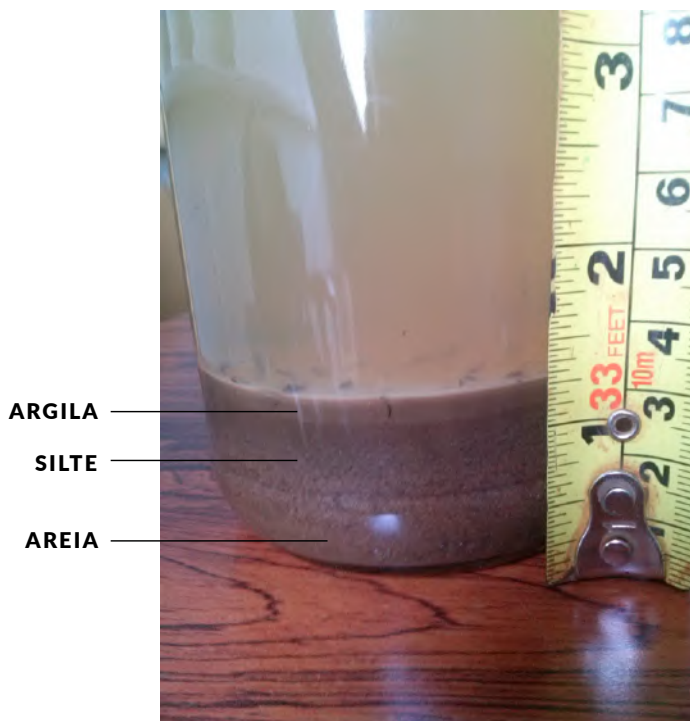


FIGURA 1. Vidro com a amostra de solo para o teste de sedimentação (Foto: Jerusa Schneider).

Com auxílio de uma régua ou trena, realize a medida do conteúdo total de solo (três camadas juntas) que se depositou no fundo do vidro. Em seguida, proceda à medida de cada camada.

O cálculo que terá que ser realizado para cada camada é:

$$(\text{Altura camada específica} \div \text{Altura do conteúdo total}) \times 100$$

Realize o cálculo para as três camadas diferentes e depois verifique se o valor total (soma) é 100%. No caso da amostra da **FIGURA 1**, os cálculos foram os seguintes:

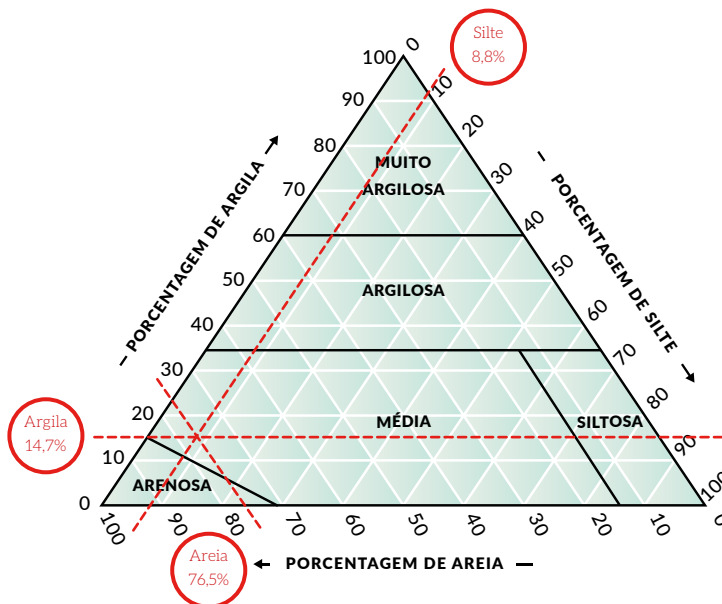
$$\text{ARGILA } (0,5\text{cm} \div 3,4\text{cm}) \times 100 = 14,7\%$$

$$\text{SILTE } (0,3\text{cm} \div 3,4\text{cm}) \times 100 = 8,8\%$$

$$\text{AREIA } (2,6\text{cm} \div 3,4\text{cm}) \times 100 = 76,5\%$$

Seguindo o exemplo acima e utilizando um triângulo adotado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo para a classificação das classes texturais do solo (EMBRAPA, 1999), mostrado na **FIGURA 2**, podemos determinar o nome da classe textural de uma amostra de solo, traçando linhas paralelas ao lado do “percentual de silte”, “percentual de argila” e “percentual de areia”, iniciando no valor calculado. Neste exemplo, a amostra encontra-se no compartimento nomeado classe “Média”, e, portanto, é classificada como textura média, porém com maior conteúdo da fração de areia, pois o ponto de encontro está mais próximo da classe arenosa.

FIGURA 2. (Próxima página)
Diagrama para classificação das classes texturais do solo, adaptado de Embrapa, 1999.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1999, 412p.

Teste de percolação do solo para calcular o tamanho da vala de infiltração ou sumidouro

Para que o tamanho do sumidouro ou vala de infiltração possa ser calculado, é necessário realizar o teste de percolação do solo para que se possa ter uma referência mais exata da sua capacidade de receber e infiltrar o esgoto tratado. Este teste é sugerido pela norma NBR 13969/1997 (ABNT, 1997).

No local proposto para construção da vala de infiltração ou sumidouro, alguns buracos (no mínimo três) são escavados no solo com auxílio de um trado ou cavadeira, até a profundidade onde será disposto o esgoto tratado no solo. Os buracos devem ter em média 20 - 30 cm de diâmetro.

Depois de cavar os buracos, forrar o seu fundo com pedra britada (camada de 5 cm) e depois encher os buracos com água. Depois de a água ter sido drenada, o buraco deve ser cheio com água novamente, simulando uma condição de saturação do solo. Essa preparação para o teste é muito importante, e pode durar entre 4 e 12 horas.

Com o solo já saturado, dar início ao teste, encher os buracos até uma altura de 15 cm e esperar 30 minutos. Depois de passado esse tempo, medir a altura da coluna de água dentro dos buracos, com uma régua ou trena (**FIGURA 1**).



FIGURA 1. Medida da altura da coluna de água dentro do buraco, com auxílio de uma régua (Foto: Jerusa Schneider).

Anotar o rebaixamento da coluna de água, observado depois de 30 minutos (primeiro em centímetros e depois em metros) em uma tabela como a seguir (**QUADRO 1**).

QUADRO 1. Modelo de tabela para anotação dos resultados do teste de percolação do solo (Fonte: elaborado pelos autores).

| ANOTAÇÃO | TEMPO (MINUTOS) | NÍVEL INICIAL DA ÁGUA (CM) | NÍVEL FINAL DA ÁGUA (CM) | REBAIXAMENTO DA ÁGUA (EM CM) | REBAIXAMENTO DA ÁGUA (EM M) | TAXA PERCOLAÇÃO (MIN/M) |
|----------|-----------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| | | | | | | |

O teste deve continuar até que exista uma diferença no rebaixamento do nível da água dos buracos de no máximo 1,5 cm entre cada anotação. Quando isso acontecer, as três últimas taxas de percolação deverão ser utilizadas para que seja calculado um valor médio da taxa. Com esse valor em mãos, consulte a tabela da NBR 13969 (ABNT, 1997), que foi transcrita abaixo (QUADRO 2), para obter a taxa máxima de aplicação diária de esgoto, ou seja, a quantidade máxima de esgoto que pode ser aplicada em um dia, em uma área de 1m². Conforme a quantidade de esgoto que você gera por dia, será possível saber qual a área necessária para implantar a vala de infiltração ou sumidouro.

QUADRO 2. Conversão dos valores de taxa de percolação em taxa de aplicação superficial (Fonte: NBR 13.969/ 1997).

| TAXA DE PERCOLAÇÃO (MIN/M) | TAXA MÁXIMA DE APLICAÇÃO DIÁRIA DE ESGOTO (L/M2 POR DIA) |
|----------------------------|--|
| 40 ou menos | 200 |
| 80 | 140 |
| 120 | 120 |
| 160 | 100 |
| 200 | 90 |
| 400 | 65 |
| 600 | 53 |
| 1200 | 37 |
| 1400 | 32 |
| 2400 | 24 |

Segue um exemplo de preenchimento da tabela em um teste de percolação:

| ANOTAÇÃO | TEMPO (MINUTOS) | NÍVEL INICIAL DA ÁGUA (CM) | NÍVEL FINAL DA ÁGUA (CM) | REBAIXAMENTO DA ÁGUA (EM CM) | REBAIXAMENTO DA ÁGUA (EM M) | TAXA PERCOLAÇÃO (MIN/M) |
|----------|-----------------|----------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1 | 30 | 15 | 10 | 5 | 0,05 | 600 |
| 2 | 30 | 15 | 9,5 | 5,5 | 0,055 | 545 |
| 3 | 30 | 15 | 8,5 | 6,5 | 0,065 | 461 |

Como os três últimos valores de rebaixamento da água medidos foram próximos (menos de 1,5 cm de diferença), é possível iniciar o cálculo da taxa de percolação. Primeiro é necessário fazer a média das três últimas medidas da taxa de percolação:

$$\text{Média} = (600 + 545 + 461) \div 3$$

$$\text{Média} = 535 \text{ min/m}$$

Uma taxa média de 535 min/m equivale a uma taxa máxima de aplicação de cerca de 60 L/m² por dia (ver valor mais próximo no QUADRO 2).

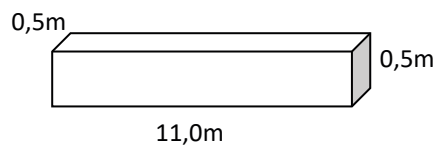
Se em uma casa de cinco moradores forem gerados 1.000 L de esgoto por dia (cerca de 200 L por pessoa em média), a área necessária para infiltração será de:

$$\text{Área de infiltração} = 1000 \div 60$$

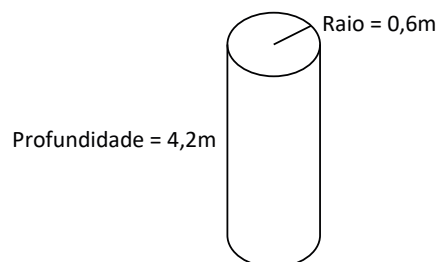
$$\text{Área de infiltração} = 16,7 \text{ m}^2$$

Assim, uma área de infiltração (ou superfície de infiltração) de 16,7 m² será necessária para o sumidouro ou vala de infiltração. No caso das valas e do sumidouro, essa superfície corresponde à soma das áreas das paredes e fundo.

Se a opção for a vala, pode ser construída uma vala de infiltração de 11,0 x 0,5 x 0,5 m, aproximadamente (11,5 m² de área de paredes + 5,5 m² de área de fundo):



E no caso de um sumidouro:



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

A escolha da tecnologia para disposição final no solo

Depois de serem verificadas a altura do lençol freático e a textura do solo, é possível utilizar o fluxograma da FIGURA 33 para auxiliar na escolha da melhor opção para disposição final no solo do esgoto tratado. O fluxograma apresenta as alternativas de acordo com as características do solo e, para cada sistema sugerido, haverá uma Ficha de Disposição Final (D01 a D03) com mais detalhes de funcionamento, recomendações e indicações bibliográficas de dimensionamento e casos bem-sucedidos.

Além das Fichas D01 a D03, também foi produzida uma Ficha específica com informações sobre como realizar o **Teste de Percolação do Solo** (página 110), que deve ser usado para calcular a taxa de percolação do solo e a consequente taxa de aplicação máxima de esgoto tratado no solo (quantidade de esgoto tratado que pode ser aplicado por metro quadrado de solo, por dia). Esse teste é essencial para que seja possível fazer o dimensionamento correto das valas de infiltração (D01) e sumidouros (D02). A capacidade de drenagem do solo deve permitir que o esgoto tratado percole o solo de forma rápida o suficiente para evitar os inconvenientes do alagamento, mas também lenta o suficiente para permitir que o solo purifique o esgoto tratado antes de atingir as águas subterrâneas. Além disso, o solo deve ser suficientemente bem arejado para favorecer a decomposição microbiana dos resíduos e a destruição dos agentes patogênicos. Como visto no fluxograma da FIGURA 33, se no local da disposição final existir um lençol freático raso (com profundidade menor do que 1,5 m

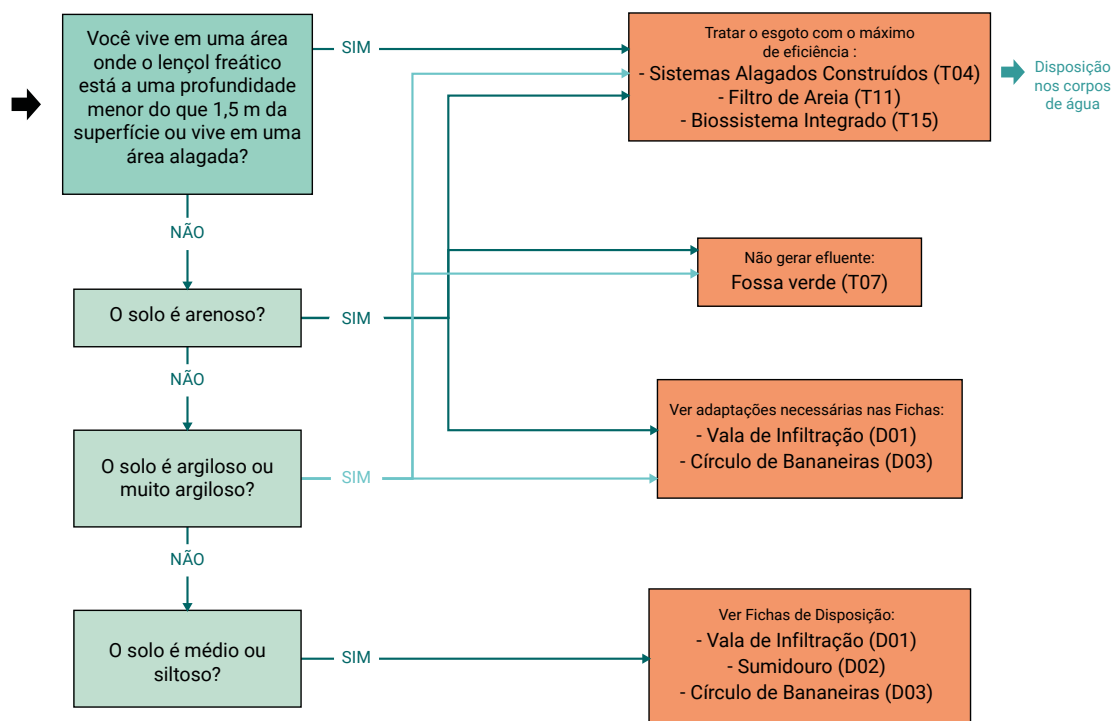


FIGURA 33. Fluxograma para auxiliar na escolha da melhor forma de disposição final do esgoto (Fonte: Elaborado pelos autores).

em relação à superfície onde será disposto o esgoto tratado), se a área for alagável ou se o solo for muito permeável (solos arenosos - FIGURA 28), é importante que sejam consideradas as tecnologias de tratamento que produzam um esgoto tratado de melhor qualidade antes de lançá-lo no solo (ex: Sistemas Alagados Construídos (FICHA T04), Filtro de Areia (FICHA T11) ou Biosistema Integrado (FICHA T15)) ou em corpos de água, minimizando assim a contaminação ambiental e o contato humano com patógenos. A instalação de uma tecnologia de tratamento de esgoto pouco eficiente em locais onde as propriedades do solo não são apropriadas pode resultar em extensa poluição das águas subterrâneas e riscos à saúde.

No caso de solos arenosos (FIGURA 28) ou com textura média e que tenham uma alta capacidade de infiltração, os círculos de bananeira e as valas de infiltração também podem ser utilizados, mas devem ser feitas adaptações, como colocar uma camada de solo mais argiloso no fundo da vala ou do círculo, de maneira que a infiltração ocorra de forma mais lenta e controlada. Essas adaptações estão detalhadas nas Fichas D01 e D03.

Em caso de solos pouco permeáveis, ou seja, com baixa capacidade de infiltração, como os muito argilosos (FIGURA 32), recomenda-se que sejam empregados:

- a) sistemas de tratamento de esgoto que produzam um esgoto tratado de maior qualidade (ex: Sistemas Alagados Construídos (FICHA T04), Filtros de Areia (FICHA T11), Biosistemas Integrados (FICHA T15)) e que depois haja a disposição nos corpos d'água ou reúso agrícola;
- b) sistemas de tratamento de esgoto que não produzam esgoto tratado (ex: Fossa Verde (T07));
- c) disposição no solo por meio de Vala de Infiltração (D01) plantadas, já que as raízes das plantas auxiliam na abertura de canais naturais, facilitando a infiltração do esgoto tratado e a perda de água por evapotranspiração.

D01

VALA DE INFILTRAÇÃO

Técnica de depuração e disposição final do esgoto pré-tratado em uma vala escavada no solo, na qual é instalado um tubo perfurado envolvido por pedra britada ou outro material suporte. Após passar pelo tubo e leito de pedra, o esgoto é distribuído para infiltração no próprio solo.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- O esgoto deve ser disposto por meio de tubulação distribuída ao longo de todo o comprimento da vala de infiltração. A tubulação de PVC deve ser perfurada na lateral (FIGURA 2). A ponta do tubo deve ser tampada com um CAP.

- O tubo deve ser envolvido por material filtrante, como brita (FIGURA 4) ou pedra de mão. Materiais alternativos como o bambu (FIGURA 3) ou entulho também têm sido empregados com sucesso. O esgoto passa por esse material e é distribuído no solo. O tratamento final do esgoto pré-tratado ocorre na passagem pelo material que envolve o tubo e, principalmente, durante a infiltração no solo.

- A camada de pedra britada deve ser coberta por uma tela fina tipo sombrite, manta geotêxtil (bidim) ou lona plástica perfurada (FIGURA 5). Isso impedirá que, após o reaterro, a terra se misture com a pedra e ocasione o entupimento da vala.

- Deve ser mantido um ambiente aeróbio nas valas de infiltração. Para isso, recomenda-se a construção de mais de uma vala, de forma a realizar a alternância de uso entre elas. Pode-se também instalar tubos de ventilação (FIGURAS 3 E 5) para garantir as condições adequadas de oxigenação.

- É importante que o solo das paredes e fundo da vala não sofra compactação durante a sua construção.

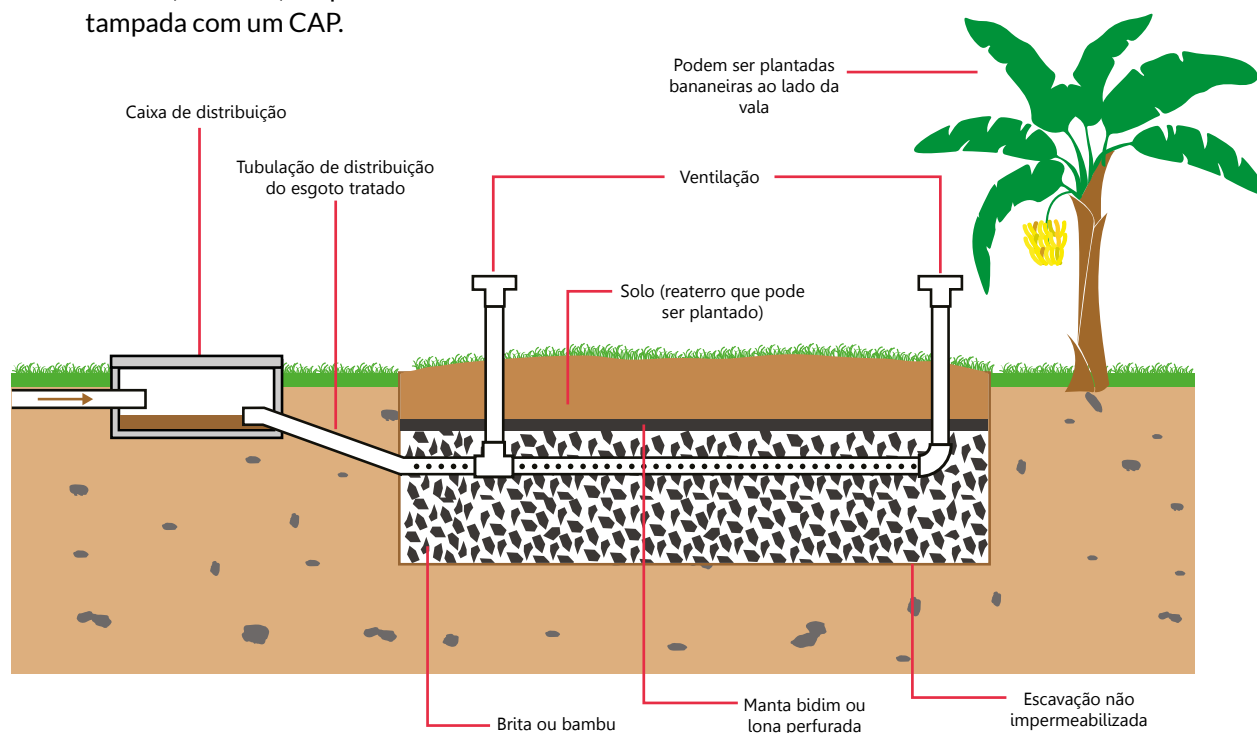


FIGURA 1. Esquema de vala de infiltração para disposição final de esgoto.



FIGURA 2. Tubo de PVC 50mm perfurado para distribuição do esgoto (Foto: Pedro Savastano).



FIGURA 3. Preenchimento de uma vala de infiltração com bambu. No detalhe, a tubulação de ventilação da vala (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 4. Preenchimento de uma vala de infiltração com Brita 02 (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 5. Material filtrante coberto com manta tipo bidim (no detalhe, o respiro e o reaterro) e lona plástica perfurada. Campinas-SP (Foto: Isabel Figueiredo).

.....
Tipo de esgoto tratado: Esgoto pré-tratado

.....
Tipo de sistema: Unifamiliar ou semicoletivo

.....
Área necessária para até 5 pessoas: 4 a 12 m²

.....
Frequência de manutenção: Baixa

Dimensionamento e detalhes de projeto

ABNT NBR 13969, 1997

Figueiredo, Tonetti e Magalhães, 2018

FUNASA, 2015

Casos bem sucedidos

Coelho e Duarte, 2010

Figueiredo, no prelo

Andrade Neto e Lima, 1999

Outras referências

Vídeo Projeto Saneamento Rural

Unicamp: [http://www.fec.unicamp.](http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/index.php/galeria/)

[br/~saneamentorural/index.php/galeria/](http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/index.php/galeria/videos/)

videos/

Coelho, 2007

FUNASA, 2018

Pimentel e Borges, 2015

Considerações e recomendações

- A vala de infiltração deve ser precedida de outros tratamentos (ver **CAPÍTULO 5**), mas há pesquisas avaliando o uso de valas de infiltração para águas cinzas não tratadas.
- Não é recomendado o uso da vala de infiltração em solos saturados de água ou solos muito argilosos – Ver testes de textura e de percolação do solo (**CAPÍTULO 6**).
- No caso de solos arenosos, uma camada fina de solo argiloso pode ser colocada no fundo da vala, para melhorar o seu desempenho.
- Não é recomendado o plantio de árvores próximo à vala, para as raízes não danificarem o sistema. Bananeiras e plantas ornamentais cujas raízes não são agressivas podem ser plantadas ao redor (cerca de 1,0 m) e plantas rasteiras e grama podem ser plantadas sobre a vala.
- Prever sistema de drenagem de água pluvial próximo à vala, para evitar o ingresso da chuva no sistema.
- A distância mínima entre o fundo da vala e o nível máximo do aquífero deve ser de 1,5 m.

D02

SUMIDOURO

Poço escavado no solo, de formato cilíndrico ou prismático, que tem como objetivo a depuração e disposição final do esgoto previamente tratado por outros sistemas.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- Outro nome utilizado para sumidouro é poço absorvente.
- O sumidouro é uma unidade de disposição final mais profunda que a vala de infiltração (FICHA D01). Suas paredes são revestidas por anéis de concreto furados (zimbras), tijolos intercalados, pedras ou outros materiais dispostos de modo a permitir a fácil infiltração do líquido no solo (FIGURAS 2 E 3). O uso de materiais alternativos como pneus usados também é uma opção (FIGURA 4). O menor diâmetro interno do sumidouro deve ser de 0,30 m.

- O sumidouro deve ter uma tampa de material resistente e uma tubulação de inspeção e limpeza (PVC DN100 mm).
- O esgoto já tratado é aplicado na parte superior do sumidouro e é absorvido pelo solo, através das paredes e do fundo da unidade. Durante a percolação do esgoto, ocorre a sua depuração devido a processos físicos químicos e biológicos.
- A NBR 13.969 sugere a construção de pelo menos dois sumidouros, para que seu uso seja alternado.

.....
Tipo de esgoto tratado: Esgoto pré-tratado
.....

Tipo de sistema: Unifamiliar
.....

Área necessária para até 5 pessoas: 1 a 3 m²
.....

Frequência de manutenção: Baixa
.....

Dimensionamento e detalhes de projeto

ABNT NBR 13969, 1997

FUNASA, 2015

Mara, 1996

Casos bem sucedidos

Ahrens, 2005

Outras referências

FUNASA, 2018

Tilley, et al., 2014

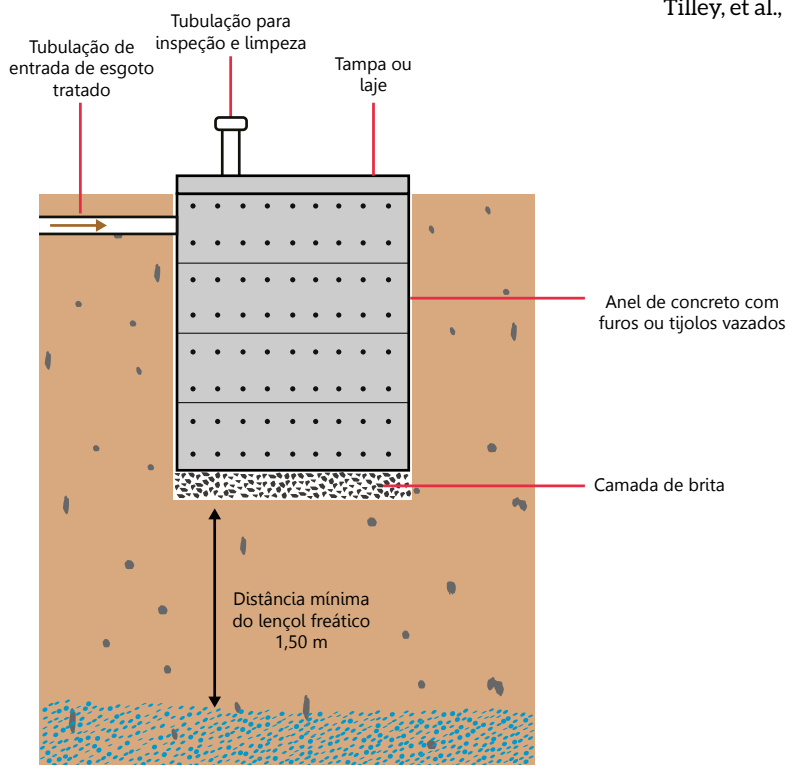


FIGURA 1. Esquema de sumidouro.



FIGURA 2. Sumidouro de tijolos vazados com tampa de concreto. Campinas-SP (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 3. Sumidouro de anéis de concreto furados. Campinas-SP (Foto: Isabel Figueiredo).

Considerações e recomendações

- O sumidouro deve ser utilizado como opção de disposição e tratamento final de esgotos que já passaram por outros sistemas de tratamento (ver **CAPÍTULO 5**). Não é recomendado que esgoto bruto seja aplicado diretamente no sumidouro pois desse modo este poderia entupir rapidamente, deixando de cumprir com sua função.
- O desempenho do sumidouro depende das características do solo, especialmente seu grau de saturação por água (o quanto consegue encher suas camadas com água). Geralmente o sumidouro tem o formato de um poço vertical e por isso é comum que o solo seja composto de diversas camadas com características distintas. O ideal é que sejam feitos testes para que a capacidade de infiltração de cada camada seja conhecida. Os testes para se conhecer a capacidade de infiltração do solo estão descritos no **CAPÍTULO 6**.



FIGURA 4. Sumidouro de material alternativo: pneus usados e tampa de concreto. Campinas-SP (Foto: Isabel Figueiredo).

- A construção desta unidade não é adequada em solos arenosos/ muito permeáveis. Neste caso, deve ser acrescentada uma camada filtrante ao redor do sumidouro, com solo pouco permeável, com espessura de no mínimo 0,3 m.
- O uso do sumidouro é recomendado somente nas áreas onde o lençol freático é profundo (locais onde os poços caipiras são profundos). É necessário garantir a distância mínima de 1,50 m entre o fundo do sumidouro e o nível máximo do lençol freático. Há publicações que recomendam uma distância ainda maior.
- Em locais onde o nível do lençol freático não é muito profundo devem ser adotados vários sumidouros, pouco profundos. A distância mínima entre as paredes dos poços múltiplos deve ser de 3,0 m. Outra opção é a instalação de Valas de Infiltração (**FICHA D01**).
- Os sumidouros também devem ficar distantes de fontes de água como poços e nascentes. Recomenda-se uma distância mínima de 30 metros.
- Quando houver a obstrução das superfícies internas do sumidouro, recomenda-se que estas fiquem expostas ao ar livre durante pelo menos seis meses, para permitir a recuperação da capacidade infiltrativa. Se isso não resolver o problema, é necessário que se construa outro sumidouro. Se comparado com a vala de infiltração (**FICHA D02**), a obstrução das superfícies internas do sumidouro pode ocorrer mais precocemente.

D03

CÍRCULO DE BANANEIRAS

Unidade de disposição final de esgoto doméstico ou águas de vaso sanitário já tratados. Também é uma tecnologia de tratamento de águas cinzas (ver FICHA T05). Consiste em uma vala circular preenchida com galhos e palhada, onde desemboca a tubulação do esgoto tratado. Ao redor são plantadas bananeiras e outras plantas que apreciem o solo úmido e rico em nutrientes.

Aspectos construtivos e funcionamento do sistema

- A construção do círculo de bananeira (FIGURA 1) se inicia com a escavação do solo, que pode ser feita manualmente ou com a ajuda de máquinas. O buraco não deve ser impermeabilizado e nem compactado.

- O buraco circular deve ter um formato de prato fundo, com profundidade de aproximadamente 0,8 m e um diâmetro interno de cerca de 1,4 m.
- O buraco circular deve ter seu fundo preenchido com pequenos galhos no fundo e palhada na parte superior (capim seco, folhas secas de bananeira) para criar um ambiente arejado e espaçoso para haver a disposição final do esgoto tratado.
- Para a entrada do esgoto tratado no buraco, pode-se fixar um Joelho na ponta da tubulação, conduzindo o líquido para entrar no meio da camada de palha seca. Isso evita o seu contato com a superfície, bem como a atração de animais e mau cheiro.
- A água e os nutrientes do esgoto tratado serão consumidos pelas bananeiras, enquanto que os restos orgânicos (restos de alimentos, sabão, etc.) serão degradados pelos microorganismos presentes dentro da vala.
- Apesar do esgoto já ter sido tratado, é possível a ocorrência de cheiro desagradável. Por isso é preciso avaliar a sua instalação em locais próximos à casa.

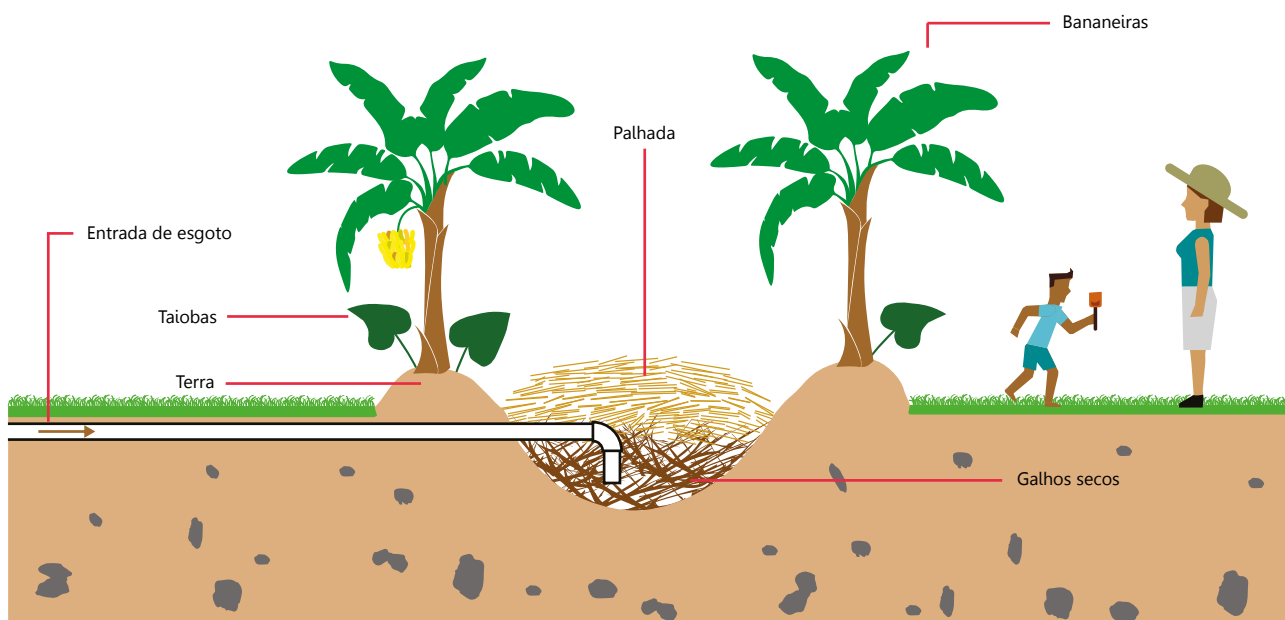


FIGURA 1. Desenho esquemático do círculo de bananeiras.

.....
Tipo de esgoto tratado: Esgoto tratado

.....
Tipo de sistema: Unifamiliar

.....
Área necessária para até 5 pessoas: 3 a 5 m²

.....
Frequência de manutenção: Média

Dimensionamento e detalhes de projeto

Figueiredo, Tonetti e Santos, 2018

FUNASA, 2015

FUNASA, 2018

Vieira, 2006

Casos bem sucedidos

Figueiredo, no prelo

Martinetti, Teixeira e Shimbo, 2009

Paes, 2014

Outras referências

Vídeo Projeto Saneamento Rural Unicamp:

<http://www.fec.unicamp.br/~saneamentorural/index.php/galeria/videos/>

Ludwig, 2012

Mollison, 1988

Considerações e recomendações

- Durante a escavação do buraco do círculo de bananeira, a terra retirada pode ser aproveitada para a construção de sua borda, criando um “morrinho” em torno do buraco. Se o terreno for inclinado, ao invés de um círculo, recomenda-se a escavação de meio círculo (“meia lua”). No monte em volta do buraco devem ser plantadas bananeiras com espaços de aproximadamente 60 cm entre elas (FIGURA 2). Nesse espaço, podem ser plantadas e outras espécies menores que gostem de umidade, como mamoeiros, lírio do brejo, taioba.
- No caso de solos muito arenosos, é recomendada a aplicação de uma camada de solo argiloso no fundo do local escavado, para auxiliar na filtragem do esgoto.
- O tamanho do buraco do círculo de bananeira não deve ser maior do que o padrão apresentado. Essas dimensões garantem um volume interno de aproximadamente 1.000 L, suficiente para atender uma casa com 3 a



FIGURA 3. Bacia de Mulch em Luziânia-GO (Foto: Isabel Figueiredo).



FIGURA 2. Círculo de bananeiras em Campinas-SP (Foto: Isabel Figueiredo).

5 moradores. Contudo, o consumo de água em cada casa pode variar dependendo dos hábitos dos moradores. Além disso, o tipo de solo e condições climáticas são distintos para cada local. Portanto, se for observado que o volume de esgoto tratado produzido extrapola a capacidade de recebimento do círculo de bananeira, a solução seria construir um segundo círculo em seguida ou dividir o fluxo em dois ou três sistemas paralelos.

- O círculo de bananeira é uma alternativa de tratamento (FICHA T05) e disposição final. Toda a água do efluente é consumida pelas bananeiras ou infiltrada no solo. Recomenda-se, portanto, que o local seja afastado do lençol freático e de nascentes. Deve-se também evitar seu uso em locais com solo arenoso. Para este último caso, pode-se adicionar uma camada de argila nas paredes e no fundo do buraco, dificultando a infiltração da água.

- Existe uma alternativa semelhante ao círculo de bananeira, chamada de Bacia de Mulch (FIGURA 3). Este sistema de tratamento e infiltração do esgoto tratado também consiste em um buraco circular na forma de prato fundo. Contudo, o monte de terra é posicionado no meio do círculo, onde são plantadas árvores frutíferas. Assim, o restante da vala deve ser preenchida com galhos e palha seca, circundando o meio com as plantas.

O reúso agrícola como uma alternativa

Outra possibilidade de disposição do esgoto tratado no solo é o reúso. O reúso é o aproveitamento da água já utilizada, uma ou mais vezes, em uma atividade humana (MANCUSO, 2003). No caso deste referencial, entendemos como reúso o emprego do esgoto tratado em alguma atividade na própria comunidade ou propriedade que produziu essa água residual.

Há diferentes alternativas para a aplicação do esgoto tratado, e cada uma delas demanda uma determinada quantidade e qualidade da água para que a prática seja realizada de maneira eficiente e segura. Nesta publicação, o foco será apenas o reúso para fins agrícolas¹⁵. Considerando que o consumo agrícola chega próximo a 70% do total de água utilizado nas atividades humanas, o reúso do esgoto tratado na irrigação pode controlar a poluição e ampliar a disponibilidade hídrica na região onde for realizada essa prática.

Quando o reúso é praticado para a fertirrigação, por exemplo, as águas de melhor qualidade ficam disponíveis para usos mais nobres, como o abastecimento doméstico (HESPANHOL, 2002). A prática do reúso também oferece benefícios econômicos, ambientais e sociais, tais como:

- a) o aumento da oferta de água para outras regiões e atividades;
- b) a reciclagem de nutrientes, diminuindo o uso de fertilizantes sintéticos, e
- c) a redução do lançamento de esgotos tratados em corpos hídricos, diminuindo, consequentemente, a sua poluição e contaminação.

Embora o reúso agrícola tenha muitas vantagens, é de extrema importância realizá-lo com muito cuidado. Nem todas as culturas podem ser irrigadas com água de reúso e é necessário monitorar o impacto causado nas águas subterrâneas (aumento da concentração de nitrogênio na forma de nitrato e de patógenos, por exemplo) e na segurança dos alimentos irrigados. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 1985), além dos patógenos, deve-se tomar cuidado com os sais minerais presentes no esgoto tratado, pois estes podem comprometer o uso de água pelas plantas e salinizar o solo. Tais avaliações são complexas e custosas e devem ser realizadas com o apoio de órgãos governamentais e instituições de pesquisa.

No entanto, em pequenas comunidades, principalmente em áreas rurais, agricultores já realizam o reúso “intuitivo”, especialmente de águas cinzas (FIGURA 34), tratadas ou não, que são utilizadas na irrigação de árvores frutíferas, em especial bananeiras (FIGUEIREDO, no prelo). Mesmo nesse caso, para sua implantação sanitariamente segura, é preciso que sejam

15 Outros tipos de reúso e suas definições podem ser encontrados na Resolução CNRH no 54/2005 (CNRH, 2005). Essa resolução “estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água”. Além disso, expõe sobre a possibilidade de apresentação de licença ambiental pelo produtor, pelo distribuidor e pelo usuário da água de reúso direto não potável.

considerados aspectos ambientais e de saúde pública. De modo geral, águas cinzas tratadas devem ser empregadas em atividades que não exigem qualidade de água potável, como irrigação de jardins, campos agrícolas e árvores (frutíferas ou não).

Outro exemplo de projeto de reúso de água cinza para produção de alimentos pode ser visto na publicação *Bioágua familiar*, lançada pelo projeto Dom Helder Camara (SANTIAGO et al., 2012) e desenvolvido no semiárido brasileiro. Nesse exemplo, as águas cinzas passam pelo tratamento em um vermifiltro (FICHA T12) antes de seguirem para canteiros onde são dispostas no solo por meio de irrigação por gotejamento.

No caso de sistemas semicoletivos e casas onde há a união das águas cinzas e do vaso sanitário, há a necessidade de uma avaliação mais cuidadosa da prática de reúso agrícola.



FIGURA 34. Água cinza armazenada para irrigação de campo agrícola (Foto: Isabel Figueiredo).

Como haverá maior risco de contaminação ambiental e ameaça à saúde pública, deve-se consultar profissionais atuantes no saneamento nas prefeituras municipais ou em outras instituições de extensão e pesquisa. A mesma cautela vale para o reúso de esgoto tratado proveniente de vasos sanitários (águas negras). Neste referencial recomendamos que o uso desse esgoto para a produção agrícola seja feita apenas indiretamente, por meio de valas de infiltração enterradas, pois, mesmo que esse esgoto seja tratado pelas tecnologias expostas no **Capítulo 5**, ainda há um grande risco de contaminação de pessoas, de animais, do solo e das águas se o esgoto tratado for aplicado superficialmente.

De modo geral, não é recomendada a irrigação de hortaliças e frutas de ramos rastejantes com esgoto tratado. No caso de árvores frutíferas, a WHO (2006) recomenda que a irrigação termine duas semanas antes da colheita e que não sejam apanhados os frutos do chão. Também não é recomendado o reúso para irrigar culturas a serem consumidas cruas ou que possam entrar diretamente em contato com a água cinza - hortaliças folhosas (ex: alface, repolho, espinafre, salsa), hortaliças de raiz, tubérculo ou rizomas (ex: beterraba, rabanete, cenoura), hortaliças de flor (ex: brócolis, couve-flor) e outras cujo fruto se desenvolve muito

rente ao solo (ex: abóbora, melancia). Culturas que são processadas antes do consumo humano (como milho, arroz, trigo e café) ou não são consumidas por seres humanos (flores) são mais adequadas para serem irrigadas com esgotos tratados, principalmente em comunidades isoladas. Um resumo das principais normas existentes para o reúso agrícola e os parâmetros de qualidade exigidos por elas se encontra no **QUADRO 5**.

Há alguns estados brasileiros que possuem normas específicas sobre reúso agrícola e padrões de água de reúso. Estas, quando existentes, devem ser consultadas e atendidas.

Ainda em âmbito nacional, devem ser observadas as resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) N° 54/2005 (CNRH, 2005) que estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para o reúso direto não potável e a Resolução N° 121/2010 (CNRH, 2010) que estabelece critérios para o reúso na modalidade agrícola e florestal.

QUADRO 5. Principais normas relacionadas ao reúso de esgotos tratados na agricultura (Fonte: Elaborado pelos autores).

| NORMA | POSSÍVEIS APLICAÇÕES | QUALIDADE | OBSERVAÇÕES |
|--------------------|---|--|--|
| NBR 13969/1997 | Reúso nos pomares, cereais, forragens e pastagens para gados. Cultivos com escoamento superficial ou por irrigação pontual. | <ul style="list-style-type: none"> • Oxigênio Dissolvido em concentração maior do que 2,0 mg/l; • Coliformes fecais em quantidade menor do que 5000 NMP/100MI | Aplicações devem ser interrompidas 10 dias antes das colheitas. |
| WHO, 1989 | Culturas processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens, árvores. | <ul style="list-style-type: none"> • Ovos de helmintos em quantidade menor ou igual a 1 ovo/l; • Coliformes termotolerantes em quantidade menor do que 104 NMP/100MI | No caso de árvores frutíferas, terminar a irrigação duas semanas antes da colheita e não apanhar os frutos do chão. |
| WHO, 2006 | Cultivo de folhosas | <ul style="list-style-type: none"> • Ovos de helmintos em quantidade menor ou igual a 1 ovo/l; • Concentração de E.Coli menor do que 104 NMP/100MI | |
| WHO, 2006 | Irrigação localizada em plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo | <ul style="list-style-type: none"> • Ovos de helmintos em quantidade menor ou igual a 1 ovo/l; • Concentração de E.Coli menor do que 104 NMP/100MI | |
| FAO, 1985 | Sem restrição de aplicação quanto ao solo e à cultura | <ul style="list-style-type: none"> • Condutividade elétrica (CE) menor do que 0,7 Ds/m; • concentração de sódio menor do que 70mg/l ; • sólidos dissolvidos totais em quantidades menores do que 450 mg/l | Esta recomendação é relacionada ao grau de salinidade do esgoto a ser reutilizado na irrigação agrícola. |
| CETESB No 31, 2006 | Solos bem drenados e cultivo de espécies tolerantes a salinidade. | <ul style="list-style-type: none"> • CE com valores entre 0,75 e 2,9 ds/cm | Algumas frutíferas são sensíveis. Observar as concentrações máximas de cloreto e de sódio: 106,5 e 69 mg/L, respectivamente. |

Disposição final em corpos hídricos

Para que o esgoto tratado possa ser disposto em corpos hídricos – tais como lagoas, córregos e rios – ele deve ter uma certa qualidade, a fim de não causar impacto ambiental e nem oferecer risco de contaminação das águas a serem utilizadas pela população.

No Brasil, existem normas principais que determinam a qualidade mínima que o esgoto tratado deve ter para que possa ser disposto nos corpos de água, especificando os parâmetros físicos, químicos e biológicos a serem atendidos: Resolução Conama nº 357, de 2005, e Conama nº 430, de 2011. Além destas, leis de âmbito estadual e mesmo municipal também devem ser atendidas, quando existirem. No entanto, como visto no **Capítulo 2**, a aplicação dessa legislação exige a análise do esgoto tratado, o que demanda recursos e acesso a laboratórios especializados, dificultando a sua realização por uma família ou mesmo por uma pequena comunidade.

Entre as tecnologias elencadas nesta publicação, algumas conseguem produzir um esgoto tratado com qualidade suficiente para atender aos padrões legais, tais como a combinação tanque séptico + filtro anaeróbio + filtro de areia (ex: GOMES, 2015; CRUZ, 2013; BUENO, 2017) e os Sistemas Alagados Construídos (ex: LIMA COASACA, 2016; DOTRO, 2017). Ainda assim, esses sistemas devem passar por manutenção adequada e na frequência necessária, para que funcionem conforme o planejado e possam produzir um esgoto tratado de boa qualidade. Em algumas situações, a simples associação do Tanque Séptico ao Filtro Anaeróbio atenderia a quase todas as exigências para o lançamento de esgotos tratados em corpos hídricos, faltando apenas um polimento final para o aumento do oxigênio dissolvido (OD) até os níveis mínimos que não prejudiquem o corpo hídrico receptor.

Uma importante consideração a ser feita diz respeito ao porte do rio que receberá esse esgoto tratado. Caso o rio seja volumoso (**FIGURA 35**), tendo grande vazão, o lançamento do esgoto tratado produzido por uma família ou por uma pequena comunidade não causará impactos significativos a esse corpo hídrico, desde que ele atenda aos padrões estipulados para o lançamento de esgoto tratado.

FIGURA 35. Rio Atibaia no estado de São Paulo - corpo hídrico de grande vazão (Foto: Lara Terra F. Boccato).



Caso o rio tenha uma vazão média (FIGURA 36A), sendo um pequeno riacho ou córrego, deve-se ter maior cuidado, principalmente quanto ao lançamento do esgoto tratado de uma pequena comunidade ou conjunto de casas, já que o volume de esgoto a ser lançado será maior. Nesse caso, deve-se procurar mais informações junto às companhias ambientais ou prefeituras. Porém, se o corpo hídrico está muito próximo à nascente (FIGURA 36B), não é permitido o lançamento de esgotos, mesmo que tratados. Nesse caso, devem-se buscar outras alternativas de disposição final, principalmente aquelas que têm a característica de infiltrá-lo no solo.



FIGURA 36A. Corpo hídrico de vazão média (Foto: Adriano L. Tonetti).



FIGURA 36B. Corpo hídrico próximo à nascente (Foto: Adriano L. Tonetti).

Avalie e contribua para este capítulo clicando no botão abaixo:

Capítulo 7

Soluções para o gerenciamento do lodo gerado no tratamento de esgotos

Ao longo do processo de tratamento do esgoto, podem ser gerados diversos tipos de resíduos, como areia, espuma e lodo. O lodo, como já abordado no **Capítulo 4**, pode ser primário, quando é constituído pelos sólidos suspensos presentes no esgoto, ou secundário, quando esses sólidos já foram digeridos pelos micro-organismos, caso em que o lodo constitui-se principalmente desses seres vivos. A composição química do lodo também varia bastante em função da sua origem, população contribuinte, sistema de tratamento utilizado, entre outros fatores.

Todos os sistemas de tratamento de esgoto produzem alguma quantidade de lodo, mas em alguns casos essa quantidade é muito pequena e acaba ficando retida dentro do próprio sistema. No entanto, entre os sistemas de tratamento de esgotos propostos nesta publicação, alguns produzem uma quantidade mais significativa de lodo ao longo da sua operação, o qual deve ser removido periodicamente para o correto funcionamento dos sistemas. São eles:

- Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente - RAFA Compacto (FICHA T06)
- Tanque Séptico (FICHA T09)
- Filtro Anaeróbio (FICHA T10)
- Biodigestor (FICHA T13)
- Reator Anaeróbio Compartimentado - RAC (FICHA T14)
- Biosistema Integrado - BSI (FICHA T15)

Em geral, os lodos de tanques sépticos e filtros anaeróbios apresentam elevados teores de umidade e por isso o lodo fresco tem aspecto líquido, sendo às vezes difícil diferenciá-lo do próprio esgoto.

FIGURA 37. Lodo de tanque séptico (A) e de filtro anaeróbio (B) de sistemas descentralizado de tratamento de esgoto em Campinas-SP (Foto: Bianca Gomes).



A **FIGURA 37** mostra exemplos de lodo de tanque séptico e filtro anaeróbio coletados em um sistema descentralizado de tratamento de esgoto em Campinas-SP.

O lodo gerado no tratamento de esgotos apresenta elevadas concentrações de microrganismos nocivos à saúde humana e animal, além de cistos e oocistos de protozoários, como *Giardia* e *Cryptosporidium*, e ovos de helmintos (vermes), de modo que a sua disposição inadequada pode acarretar a contaminação, muitas vezes irreversível, da água e do solo. Sendo assim, é muito importante que a sua manipulação, reúso e destinação final sejam bem planejados, avaliando-se, em cada caso, as possibilidades e limitações do local.

Até poucos anos atrás, não havia a preocupação com o correto descarte do lodo, buscando-se apenas a forma mais fácil e barata de livrar-se desse resíduo. Os métodos mais comumente utilizados eram a disposição do lodo sólido em aterros sanitários e o descarte do lodo líquido em corpos hídricos e em alto-mar. Hoje, a descarga oceânica é proibida no Brasil e em diversos países, por acarretar grande impacto ambiental. É importante destacar que o lodo removido de tanques sépticos assim como os despejos resultantes de outros reatores anaeróbios não podem de forma alguma ser lançados em corpos hídricos.

Resgatando uma prática do passado aplicada em diversos países, o lodo passou a ser visto como uma possível alternativa para a redução do consumo de recursos naturais, principalmente na produção de fertilizantes. Isso porque em sua composição também há a presença de nitrogênio, fósforo e outros componentes benéficos à produção agrícola. No entanto, para a obtenção desse benefício a partir do uso do lodo, é preciso que se tenha alguns cuidados para evitar a contaminação humana e ambiental.

É importante frisar que não existe, ainda, um arcabouço legal que trate, especificamente, do lodo gerado por sistemas descentralizados, individuais ou semi-coletivos. A resolução Conama 375/2006 (CONAMA, 2006a) e a resolução Conama 380/2006

(CONAMA, 2006b) que a complementa, por exemplo, definem critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados especificamente em ETEs. A única menção ao lodo de sistemas individuais ocorre no artigo 3º, parágrafo 2º, que veta a utilização agrícola de lodos provenientes de tratamento individual coletados por veículos, antes do seu tratamento em uma estação de tratamento de esgotos (CONAMA, 2006a). No entanto, mesmo sem o respaldo de legislação específica, o manejo do lodo gerado em comunidades isoladas já ocorre, e acreditamos que seja importante dar atenção à esse tema, buscando as melhores alternativas possíveis em localidades sem acesso a estações centralizadas.

Remoção do lodo

Quando se trata de sistemas de grande volume, pode-se fazer a remoção apenas do lodo sedimentado, mantendo-se o esgoto parcialmente digerido dentro do reator. Nesse caso específico, o resíduo retirado é o lodo secundário propriamente dito. No caso de pequenos sistemas que recebem o esgoto de uma família ou de um pequeno número de pessoas, os resíduos constituem uma mistura de esgoto, espuma e lodo e, embora sejam comumente denominados “lodo”, na verdade não apresentam as características usuais de esgotos nem de lodo secundário.

De acordo com a NBR 7229/1993 (ABNT, 1993), o processo de limpeza que remove lodo e espuma dos tanques sépticos deve ser realizado a intervalos de 1 a 5 anos, de acordo com o estabelecido no projeto (ver FICHA T09). A taxa de acumulação dos sólidos depende muito do esgoto a ser tratado, sendo mais elevada para esgotos contendo maior concentração de sólidos suspensos (CHERNICHARO, 2016).

O lodo de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente Compactos (RAFA Compacto), Biodigestores e Reatores Anaeróbios Compartimentados (RAC) é similar ao lodo de tanques sépticos.

No filtro anaeróbio, o lodo pode encontrar-se aderido ao material suporte, retido entre o material suporte ou retido no fundo falso. De acordo com a NBR 13969/1997 (ABNT, 1997) o filtro anaeróbio deve ser limpo quando for observado o entupimento do leito filtrante, fazendo-se a remoção do lodo com uma bomba de recalque e, quando necessário, aplicando-se jatos de água sobre a superfície do leito filtrante.

A remoção deve ser feita de modo a não haver contato entre as pessoas e o lodo removido e aproximadamente 10% do volume de lodo deve ser deixado no interior do tanque para que o tratamento possa ter continuidade após a limpeza. Chernicharo (2016) menciona que a remoção do lodo pode ser feita com bomba de sucção (mangote de caminhão limpa fossa - FIGURA 38A) ou por pressão hidrostática.

O principal gargalo no caso de comunidades muito isoladas é a remoção do lodo de dentro dos reatores, já que o serviço de caminhões tipo limpa-fossa pode ser muito limitado e custoso. Em alguns casos onde há declividade no terreno, é possível que

seja incluído um registro que permita que o lodo do fundo do reator seja retirado por gravidade. Em outros casos, a remoção do lodo por baldes ou mangueiras (por meio de sifonamento) é a mais comum.

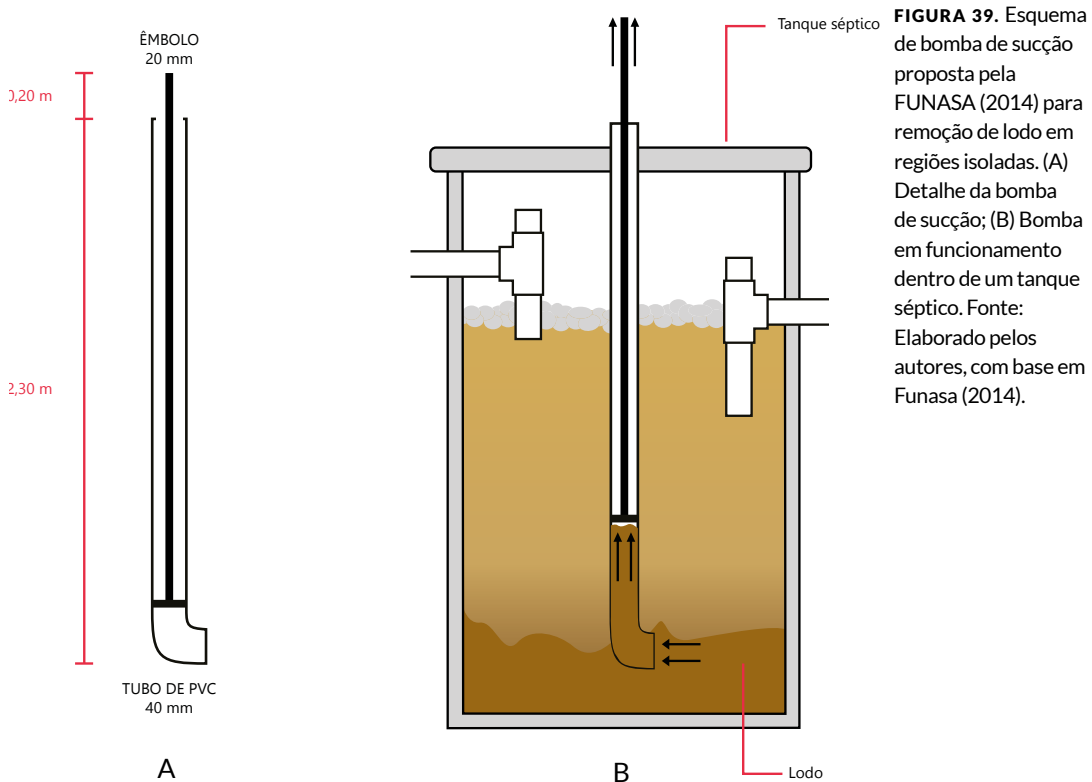
FIGURA 38A.
Caminhão
tipo limpa-
fossa fazendo
a limpeza
do lodo em
tanque séptico
semicoletivo em
Campinas/SP
(Foto: Luana M.
O Cruz).



FIGURA 38B.
Detalhe do lodo
retirado do fun-
do do sistema
(Foto: Luana M.
O Cruz).



Para a remoção do lodo em comunidades isoladas, a Funasa (2014) sugere a construção de uma bomba de sucção manual feita com canos de PVC de 40 mm de diâmetro e um êmbolo de madeira. Com esses materiais simples é possível construir uma espécie de seringa que puxa o lodo do fundo do reator até a superfície, escoando-o dentro de um balde de coleta (FIGURA 39). Em todos os casos, é necessário tomar medidas de segurança e utilizar equipamentos de proteção individual (EPIs) (luvas de cano longo, máscara e botas) para impedir o contato das pessoas com o lodo, evitando-se assim uma possível contaminação (FUNASA, 2014).



Quanto aos custos de cada alternativa apresentada, um estudo realizado por Tonetti et al. (2018) sugere que o gerenciamento do lodo gerado em uma comunidade rural com 250 habitantes na cidade de Campinas-SP seria mais econômico se realizado pela companhia de saneamento municipal (caso esta possuísse caminhão coletor e mão de obra adequada) do que se a comunidade construísse um leito de secagem comunitário ou se fosse feita a retirada do lodo individualmente por caminhão limpa-fossa. Se consideradas apenas as opções de contratação do caminhão limpa-fossa para a remoção do lodo e a do gerenciamento do lodo pela própria comunidade, com a construção de um leito de secagem comunitário e aplicação do lodo na agricultura local, a segunda opção seria economicamente mais favorável (TONETTI et al., 2018).

Alternativas para o aproveitamento ou disposição final do lodo

Algumas das alternativas mais usuais para o aproveitamento ou disposição final do lodo de sistemas de tratamento de esgoto são:

- a) Uso agrícola ou florestal (após leito de secagem);
- b) Recuperação de solos degradados (após leito de secagem);
- c) Coleta por caminhão limpa fossa e posterior tratamento em ETE ou secagem e disposição em aterros sanitários;
- d) Incineração;
- e) Reúso industrial: produção de agregado leve, fabricação de tijolos e cerâmica e produção de cimento.

A FIGURA 40 faz uma síntese das alternativas para o gerenciamento do lodo gerado no tratamento de esgoto descentralizado em comunidades isoladas.

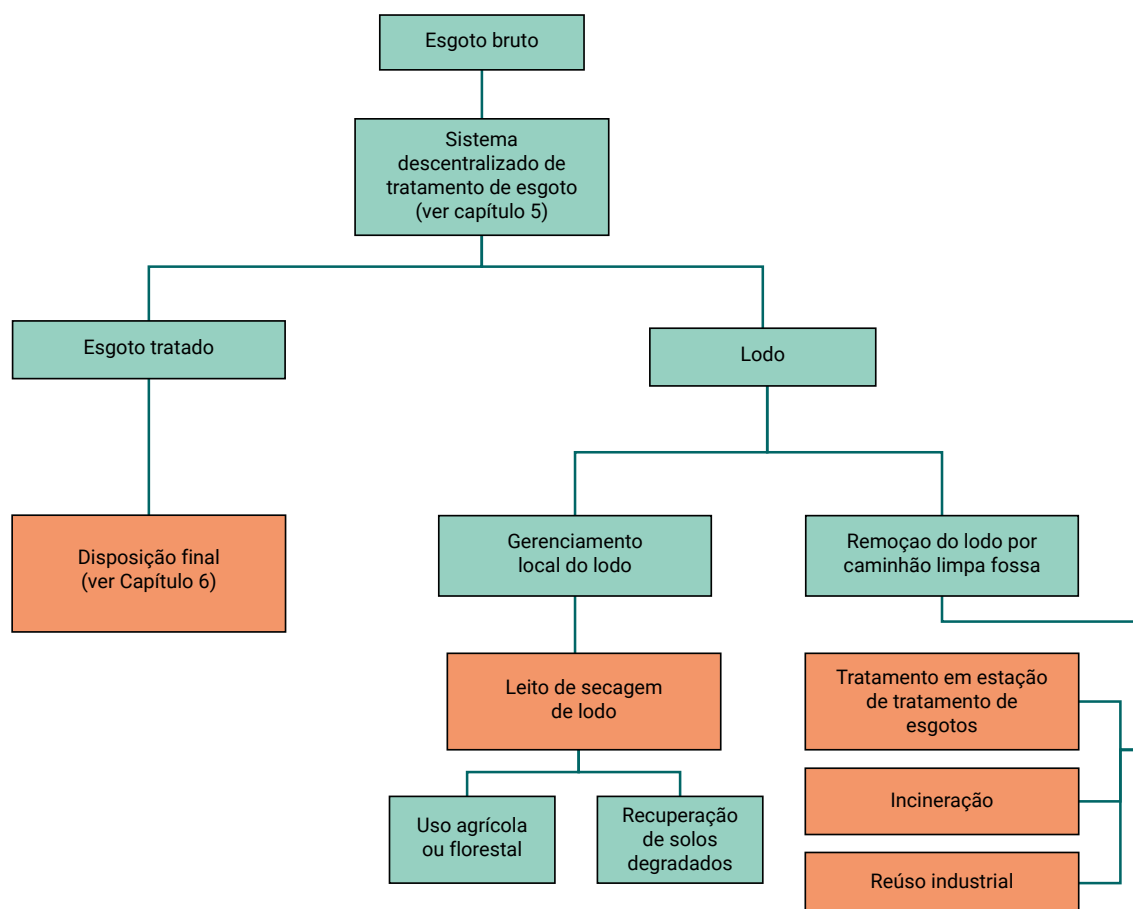


FIGURA 40. Alternativas para o gerenciamento do lodo gerado por sistemas descentralizados de tratamento de esgoto. Fonte: Elaborado pelos autores.

As alternativas **d** (incineração) e **e** (reúso agrícola) em geral não são aplicáveis às comunidades isoladas e por isso não são abordadas nesta publicação. As alternativas **a** (uso agrícola ou florestal) e **b** (recuperação de solos degradados) fazem a disposição do lodo no campo, mas necessitam do leito de secagem como etapa preliminar. A alternativa **c** depende da disponibilidade do serviço de coleta do lodo por caminhão tipo limpa-fossa no local.

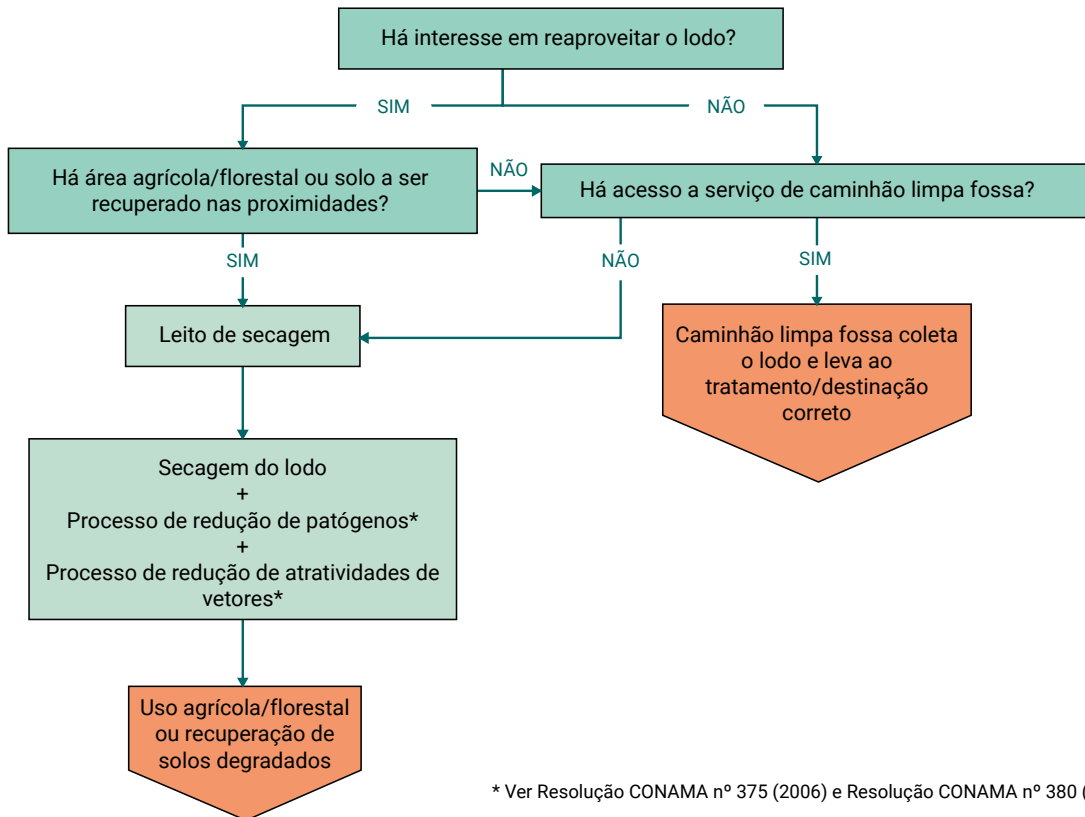


FIGURA 41. Fluxograma de alternativas de gerenciamento do lodo gerado por sistemas descentralizados de tratamento de esgoto. Fonte: Elaborado pelos autores.

Além das opções previamente discutidas para o destino final do lodo gerado no tratamento de esgotos, é importante mencionar que vêm sendo realizados diversos estudos acerca da possibilidade de disposição do lodo em Sistemas Alagados Construídos (SAC), onde o lodo é estabilizado e pode posteriormente ser removido e aplicado na agricultura (CARVALHO E ANDREOLI, 2015). Essa alternativa aparenta ser promissora, porém ainda não está regulamentada na legislação ambiental e portanto optou-se por não discuti-la aqui.

Para auxiliar na escolha da melhor alternativa para o aproveitamento ou disposição final do lodo, um fluxograma específico foi desenvolvido (FIGURA 41).

Secagem do lodo e tratamento complementar

De acordo com a NBR 7229/1993 (ABNT, 1993), o lodo de tanques sépticos de comunidades isoladas deve ser disposto em leitos de secagem projetados de acordo com a norma específica, a NBR 12209/2011 (ABNT, 2011). Depois de seco, o lodo pode ser disposto em aterro sanitário, usina de compostagem ou campo agrícola onde não haja a produção de hortaliças, frutas rasteiras e legumes consumidos crus. Como em comunidades isoladas em geral não há a coleta de resíduos para a disposição em aterros sanitários, a primeira opção não será discutida nesta publicação.

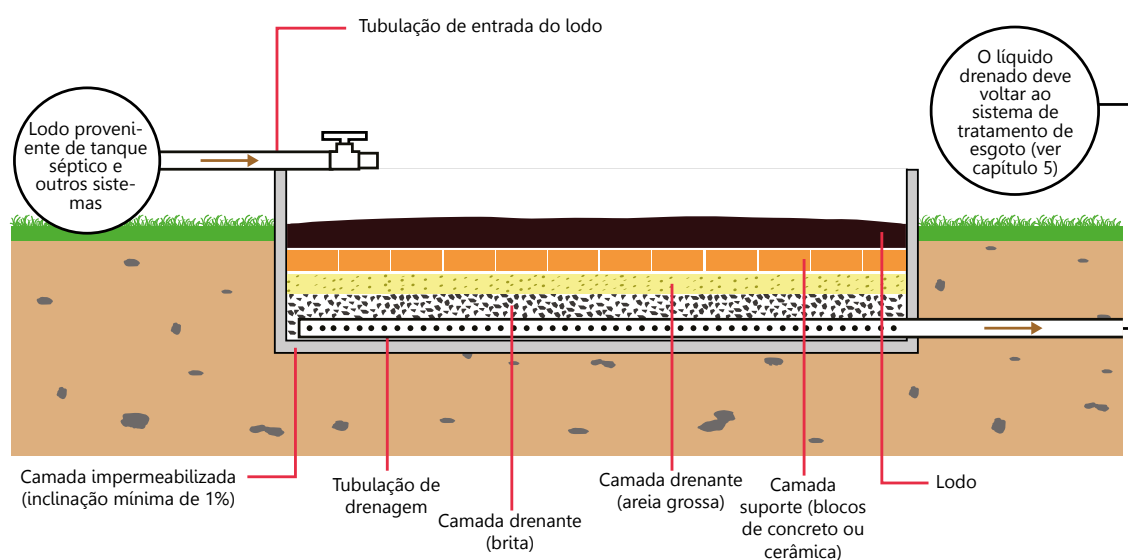


FIGURA 42. Desenho esquemático de leito de secagem de lodo para sistemas unifamiliares ou semicoletivos de tratamento de esgoto. Fonte: Elaborado pelos autores.

O projeto do leito de secagem deve obedecer à NBR 12209/2011 (ABNT, 2011)¹⁶, podendo ser construído em concreto ou alvenaria, assentado sobre uma camada de areia grossa e brita (FIGURA 42). No caso da execução em alvenaria, os tijolos devem estar espaçados de 2 a 3 cm. O fundo do leito de secagem deve ser impermeabilizado e possuir inclinação mínima de 1% no sentido de um coletor principal de escoamento do líquido drenado ou devem ser colocados tubos drenos na camada suporte, a cada 3 metros¹⁷. Pode ser colocada uma cobertura de telhas transparentes para protegê-lo da chuva e ao mesmo tempo não prejudicar a secagem

16 A NBR 12209/2011 traz diretrizes para a “Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários”. Essa normativa traz detalhes sobre a construção dos leitos de secagem de lodo e, apesar de não ser direcionada para comunidades isoladas e sim para estações centralizadas, ela fornece informações úteis sobre o processo.

17 A parte líquida que é produzida durante o deságue ou secagem desse lodo deve retornar para o interior do tanque séptico ou outro sistema de tratamento de esgoto do local.

do lodo pelo sol, aumentando sua eficiência. O tamanho médio de um leito de secagem para uma família de até cinco pessoas seria de 6 m².

A profundidade do leito de secagem deve ser de 0,5 a 1,0 m. A camada de lodo não deve ter espessura maior que 0,35 m, para facilitar a perda de umidade, e a taxa máxima de aplicação de sólidos suspensos (SS) deve ser de 15 kgSS/m². Para se ter uma ideia aproximada do significado desse dado, lodos de tanques sépticos estudados por quatro instituições apresentaram valores médios entre 3,26 e 6,66 kgSS/m³ (ANDREOLI, 2009), o que

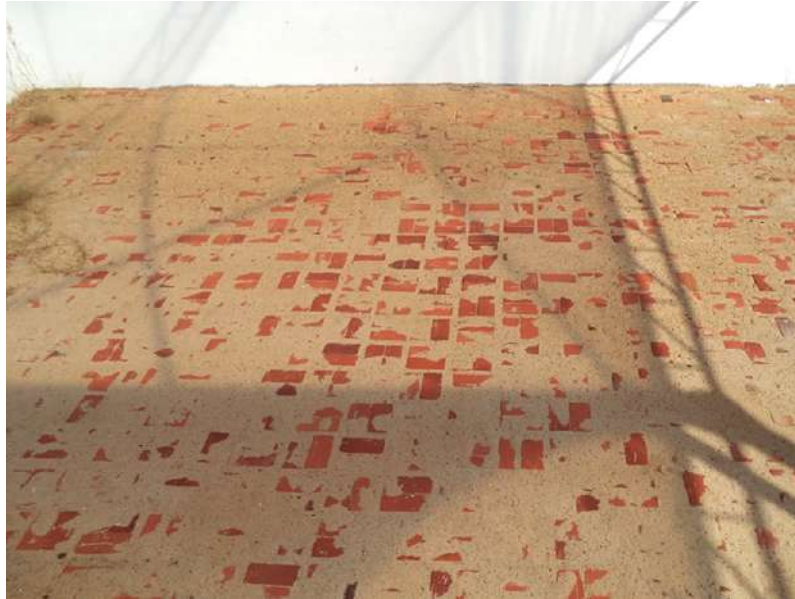
FIGURA 43. Leito de secagem de lodo proveniente de sistema semicoletivo, com cobertura de telhas metálicas (Foto: Kayo Wachholz).



FIGURA 44A. Leito de secagem sem cobertura. Vista geral dos leitos (Foto: Kayo Wachholz).



FIGURA 44B. Leito de secagem sem cobertura. Detalhe do piso feito com tijolos espaçados e preenchidos por areia (Foto: Kayo Wachholz).



possibilitaria uma camada de lodo de cerca de 35 cm, que é a espessura máxima permitida. É importante ressaltar, porém, que as características do lodo de tanque séptico variam bastante de acordo com o local e com as características construtivas do reator e, portanto, o ideal é que se caracterize o lodo gerado antes da execução do projeto do leito de secagem. Outros detalhes técnicos do leito de secagem podem ser encontrados em Carvalho e Andreoli (2015), ABNT (2011), Andreoli (2009), Cherubini (2002). A **FIGURA 43** mostra um leito de secagem com cobertura. A **FIGURA 44A** mostra um leito sem cobertura.

A secagem dos lodos ocorre por processos naturais de perda de umidade (evaporação e infiltração), sendo significativamente maior em altas temperaturas, o que implica uma menor necessidade de área em regiões de clima quente.

Depois de seco (**FIGURA 45**), o lodo é retirado do leito de secagem e armazenado por, no

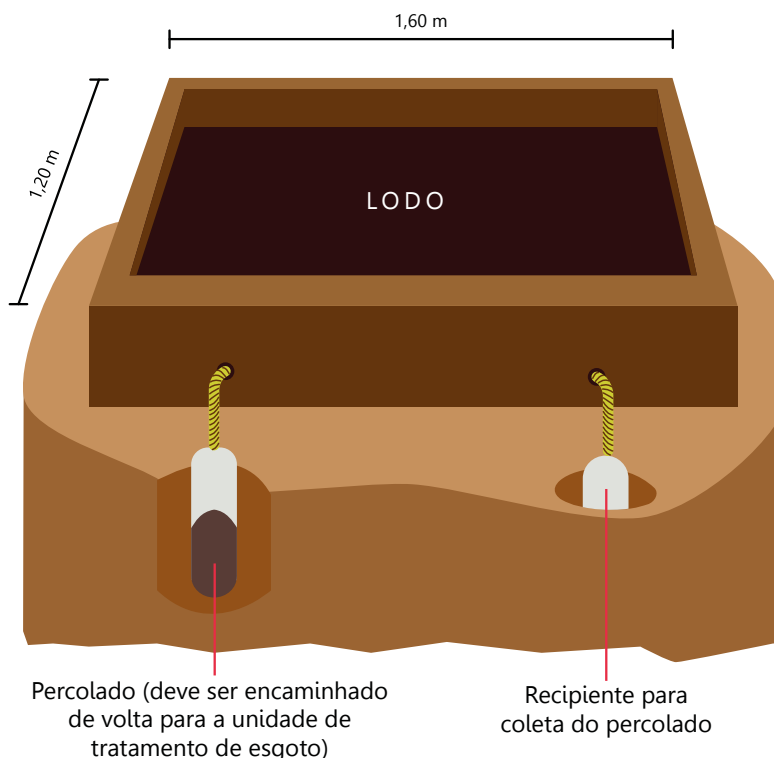
FIGURA 45. Aspecto do lodo seco em leito de secagem em ETE (Foto: Natalia C. Duarte).



mínimo, três meses para posterior uso. Antes de se aplicar uma nova camada de lodo, o leito deve passar por um processo de limpeza que inclui a remoção dos fragmentos de lodo seco e vegetação. Deve-se então avaliar a necessidade de recomposição do leito e, após os devidos reparos, este deve ficar inativo por no mínimo três dias.

A resolução Conama nº 375/2006 estabelece que o tempo de secagem deve ser de três meses para que ocorra a desinfecção do lodo. Além disso, o lodo deve ser armazenado em local com declividade máxima de 5%, situado longe de corpos hídricos. Recomenda-se que o local possua piso de concreto armado ou asfalto para evitar a infiltração do lodo no solo e possua sistema de coleta de chorume e de águas pluviais. O local deve ser coberto para evitar encharcamento do lodo em caso de ocorrência de chuva e reduzir problemas relacionados ao odor. Não deve haver contato direto do operador com o lodo durante seu manuseio e, se possível, o local deve ser isolado com cerca para que pessoas desavisadas não entrem em contato com o lodo. (CONAMA, 2006a)

FIGURA 46. Leito de secagem de lodo simplificado proposto pela FUNASA (2014).



A Funasa (2014) tem uma proposta mais simplificada para a construção de leitos de secagem para o lodo de tanques sépticos e unidades semelhantes. O leito proposto pode ser construído de tijolos e cimento ou com uma lona em formato retangular (120 x 160 cm), com uma declividade de 2%. O importante é que o líquido que vai ser drenado durante o processo de secagem possa ser recolhido em garrafas tipo PET para posteriormente ser utilizado em pilhas de compostagem do próprio lodo seco (FIGURA 46).



FIGURA 47. Remoção de lodo por diferença de pressão hidrostática em tecnologia comercial (Foto: Isabel Figueiredo).

Algumas tecnologias comerciais já contam com um dispositivo para a remoção de lodo localmente, por diferença de pressão hidrostática. A saída do lodo é controlada por um registro, que é acionado manualmente, e o lodo que sai do fundo do reator pode ser então encaminhado para um leito de secagem (**FIGURA 47**).

Para que o uso do lodo seco possa ser ainda mais seguro, é necessário um tratamento complementar para a remoção de patógenos. A Resolução Conama nº 375/2006¹⁸ (CONAMA, 2006a), retificada pela resolução Conama nº 380/2006 (CONAMA, 2006b), determina que os lodos gerados em sistemas de tratamento de esgotos deverão ser submetidos a processos de redução de patógenos e a processos de redução de atratividade de vetores antes da sua aplicação agrícola.

Os processos de redução significativa de patógenos visam, como o próprio nome sugere, reduzir o risco de doenças e, de acordo com a resolução Conama nº 375/2006, podem ser, entre outros: “secagem em leitos de areia ou em bacias, pavimentadas ou não, durante um período mínimo de 3 meses; compostagem [...], desde que a biomassa atinja uma temperatura mínima de 40°C, durante pelo menos cinco dias, com a ocorrência de um pico de 55°C, ao longo de quatro horas sucessivas durante este período ou estabilização com cal, mediante adição de quantidade suficiente para que o pH seja elevado até pelo menos 12, por um período mínimo de duas horas.” (CONAMA, 2006a).

Os processos de redução de atratividade de vetores têm como objetivo evitar a proliferação de animais transmissores de doenças (ratos, mosquitos, pulgas etc.). Entre esses

18 De acordo com a resolução Conama 375/2006, a aplicação de lodo de esgoto e produtos derivados no solo agrícola somente poderá ocorrer com a existência de uma unidade de gerenciamento de lodo devidamente licenciada pelo órgão ambiental competente. Essa norma, porém, regulamenta apenas o uso de lodo proveniente de estações de tratamento de esgotos, não sendo aplicadas a lodos de sistemas isolados, unifamiliares ou semicoletivos. No Brasil, não existe uma legislação específica para o uso desse tipo de lodo, motivo pelo qual esta resolução foi tomada como base nesta publicação.

processos estão a “compostagem confinada ou em leiras aeradas (3 dias a 55°C no mínimo) ou com revolvimento das leiras (15 dias a 55°C no mínimo, com revolvimento mecânico da leira durante pelo menos 5 dias ao longo dos 15 do processo); tratamento térmico pelo aquecimento do lodo de esgoto ou produto derivado líquido a 180°C, no mínimo, durante um período de 30 minutos; processos de pasteurização, pela manutenção do lodo de esgoto ou produto derivado a uma temperatura mínima de 70°C, por um período de pelo menos 30 minutos.” (CONAMA, 2006a).

A compostagem é, portanto, um processo que atende tanto à redução significativa de patógenos quanto à redução de atratividade de vetores, além de ser simples de ser feita. A Funasa (2014) sugere que, depois de seco, o lodo proveniente dos tanques sépticos e fossas

FIGURA 48. Lodo seco e compostado por um período de cinco meses (Foto: Isabel Figueiredo).



pode ser retirado do leito de secagem e colocado em pilhas de compostagem (**FIGURA 48**) junto com resíduos vegetais de cozinha (cascas de frutas e legumes e restos de alimentos), material proveniente de poda (galhos, folhas) e até mesmo esterco animal. O processo de compostagem desse lodo deve atingir temperaturas altas (até 70°C), deve ser mantido aeróbio (com oxigênio, sendo revirado com frequência) e protegido de chuvas fortes e sol intenso por um período mínimo de 15 dias para que sejam destruídos os ovos de parasitas e bactérias patogênicas e para que ele esteja pronto para ser utilizado na agricultura (FUNASA, 2014).

Uso agrícola ou florestal

O lodo de esgoto doméstico possui grande quantidade de nutrientes essenciais ao desenvolvimento das plantas, como nitrogênio e fósforo, o que lhe confere um grande potencial para uso como fertilizante. Além disso, a aplicação do lodo na agricultura apresenta outros benefícios, como condicionamento do solo e melhora da sua capacidade de reter umidade. Por outro lado, o lodo de esgotos apresenta algumas desvantagens em relação aos fertilizantes tradicionais, como sua composição muito variada e a possível presença de substâncias indesejadas, como agentes patogênicos.

O uso agrícola ou florestal é considerado hoje a melhor entre as alternativas para o lodo, pois, com o fornecimento de nutrientes a baixo custo, aumenta a produtividade e o lucro, bem como reduz a exploração de recursos naturais para a fabricação de fertilizantes. Essa aplicação se torna cada vez mais viável, devido ao aumento nos custos da energia e dos insumos necessários para a produção dos fertilizantes comerciais.

A distância do local de produção do lodo à área onde será feita sua aplicação é um fator de extrema importância, pois determina a viabilidade técnica e econômica dessa alternativa, devendo ser levada em conta no momento da decisão sobre o gerenciamento do lodo gerado.

O uso do lodo de esgoto no reflorestamento, além de todos os benefícios para o uso agrícola, apresenta duas vantagens: a aplicação do lodo geralmente é feita em áreas afastadas de núcleos urbanos e com menor acesso de pessoas e animais, além de não envolver a produção de alimentos.

Recuperação de solos degradados

Diversas atividades humanas causam a degradação dos solos, deixando-os compactados, pobres em nutrientes e, conseqüentemente, inférteis. A recuperação desses solos pode ser feita por práticas mecânicas, adição de matéria orgânica ou uma combinação dessas alternativas (WILLIAMS et al., 1990). O lodo de esgoto constitui uma fonte barata e abundante de matéria orgânica e nutrientes, e, por isso, tem sido bastante utilizado na recuperação de solos degradados. A aplicação do lodo, além de agregar nutrientes, aumenta a capacidade de infiltração e retenção de água e de íons, bem como a aeração do solo.

Diversos estudos evidenciaram o maior crescimento vegetal em solos tratados com a aplicação de lodo de esgoto (ALVES et al., 2007, COLODRO; ESPÍNDOLA, 2006, CAMPOS; ALVES, 2008).

Avalie e contribua para este capítulo clicando no botão abaixo:

Referências Bibliográficas

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11799: Material filtrante - Areia, antracito e pedregulho. 1 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1990. 7 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2011. 53 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. 60 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: Abnt, 1993. 15 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução. Rio de Janeiro: Abnt, 1999. 74 p.
- ADLER, Leonardo et al. INTEGRATED BIOSYSTEMS FOR SEWAGE TREATMENT IN RIO DE JANEIRO'S SLUMS: VALE ENCANTADO COMMUNITY CASE STUDY. In: INTERNATIONAL CONFERENCE: PROGRESS IN BIOGAS, 4., 2017, Stuttgart, Alemanha. Proceedings... . Stuttgart: Ibbk, 2017. p. 62 - 62.
- AHRENS, Brook. A Comparison of Wash Area and Soak Pit Construction - The Changing Nature of Urban, Rural, and Peri-Urban Linkages in Sikasso, Mali. Peace Corps, Us: Mit, 2005.
- ALENCAR, Marcelo Henrique Bandeira Costa de. TRATAMENTO ALTERNATIVO DE DEJETOS HUMANOS NA COMUNIDADE DE COQUILHO, ZONA RURAL DE SÃO LUIS-MA. 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2009.
- ALVES, Marlene Cristina; SUZUKI, Luis Gustavo Akihiro Sanches; SUZUKI, Luiz Eduardo Akiyoshi Sanches. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, [s.l.], v. 31, n. 4, p.617-625, ago. 2007. [Http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000400002](http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832007000400002).
- ALVIM, Mariana. Saneamento é básico, mas não existe. 2014. Disponível em: . Acesso em: 19 mar. 2014.

- ANAND, Chirjiv K.; APUL, Defne S. Composting toilets as a sustainable alternative to urban sanitation – A review. *Waste Management*, [s.l.], v. 34, n. 2, p.329-343, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.006>.
- ANDRADE NETO, C. O.; LIMA, M. T. F. Alternativa tecnológica para valas de infiltração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Abes, 1999. p. 1 - 10.
- ANDREOLI, Cleverson Vitório (Org.). Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 388 p. (Projeto PROSAB).
- ATAIDE, Gzabriela Vieira de Toledo Lisboa; BORJA, Patrícia Campos. JUSTIÇA SOCIAL E AMBIENTAL EM SANEAMENTO BÁSICO: UM OLHAR SOBRE EXPERIÊNCIAS DE PLANEJAMENTO MUNICIPAIS. *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, v. 20, n. 3, p.61-78, set. 2017. [Http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc74r1v2032017](http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc74r1v2032017).
- ATOS. Assessoria, Consultoria e Capacitação Técnica Orientada Sustentável. Manual de implantação e manejo do sistema bioágua familiar: reúso de água cinza doméstica para a produção de alimentos na agricultura familiar do semiárido brasileiro. Fábio Santiago... [et al.]. – Caraúbas: 2015.
- BAHGAT, M; A DEWEDAR,; A ZAYED,. Sand-filters used for wastewater treatment: build-up and distribution of microorganisms. *Water Research*, [s.l.], v. 33, n. 8, p.1949-1955, jun. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354\(98\)00290-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0043-1354(98)00290-5).
- BENJAMIN, Amboko. Bacia de Evapotranspiração: tratamento de efluentes doméstico e produção de alimentos. 2013. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Construções e Ambiência, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- BORGES, Kleber. O uso de tanques sépticos na cidade de Araguari-MG. In: EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO, 9., 2005, Belo Horizonte. Anais... Brasília: Assemae, 2005. p. 1 - 7.
- BOTTO, MÁrcio Pessoa. Utilização da urina humana como biofertilizante para produção de alimentos e energia: caracterização, uso na agricultura e recuperação de nutrientes. 2013. 270 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.
- BRASIL, A. L.; Freitas, M. L. H.; Fernandes, P. M.; Polleto, C. 2014. A falta de saneamento como geradora de conflitos sociais e inibidora de iniciativas que diminuam riscos e contaminações. In: XXXIV – Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental.
- BRASIL. Constituição (1988). Constituição, de 1988. . Brasília, DF: Brasil,
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. . Brasília, DF: Brasil,
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. . Brasília, DF.
- BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Portaria nº 268, de 22 de março de 2017. Regulamenta o Programa Nacional de Habitação Rural, integrante do Programa Minha Casa, Minha Vida, para os fins que especifica. . Brasília, DF.

- BUENO, Daniel Augusto Camargo. Filtros anaeróbios com pós-tratamento em filtros de areia intermitentes: Desempenho em operação crítica. 2017. 466 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Área de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.
- BURKS, Bennette Day; MINNIS, Mary Margaret. Onsite wastewater treatment systems. Madison, WI: Hogarth House, 1994. 248 p.
- CAMPOS, Fabiana da Silva de; ALVES, Marlene Cristina. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, [s.l.], v. 32, n. 4, p.1389-1397, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000400003>.
- CAMPOS, José Roberto (Org.). Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: Abes, 1999. 464 p. (Projeto PROSAB).
- CAPP, N.; AYACH, L. R.; SANTOS, T. M. B.; GUIMARÃES, S. T. L. Qualidade da água e fatores de contaminação de poços rasos na área urbana de Anastácio (MS). *Geografia Ensino & Pesquisa*, Vol. 16, No. 3, pp. 77-91. 2012.
- CARVALHO, Eraldo Henriques de; ANDREOLI, Cleverson. Lodos de Fossa e Tanque Séptico: Orientações para Definição de Alternativas de Gestão e Destinação. São Paulo: Abes, 2015. 450 p.
- CEPAGRO. CENTRO DE ESTUDOS E PROMOÇÃO DA AGRICULTURA DE GRUPO. Banheiro seco: Saneamento como princípio agroecológico e resposta à crise de água. Florianópolis: Cepagro, 2013. 38 p. 1 v. (Coleção Saber na Prática).
- CETESB. Instrução técnica nº 31. Aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. São Paulo. 2006.
- CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. Reatores Anaeróbios. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2016. 379 p.
- CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. Reatores anaeróbios. Belo Horizonte: Ufmg, 1997. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas).
- CHERUBINI, Cristina. SECAGEM E HIGIENIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO ANAERÓBIO EM LEITOS DE SECAGEM ATRAVÉS DA SOLARIZAÇÃO. 2002. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia - Área de concentração "Ciência do Solo", Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- CNRH. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Resolução Cnrh nº 54, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF: Dou, 9 mar. 2006.
- CNRH. RESOLUÇÃO CNRH no 121, de 28 dezembro de 2010. Estabelece, diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. 2010.
- COELHO, Virginia Maria Tesone; DUARTE, Uriel. Tratamento de esgotos domiciliares pelo processo misto lagoa primária/fossa séptica e infiltração. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E XVII ENCONTRO NACIONAL DE PERFURADORES DE POÇOS, 16., 2010, São Luis-ma. Anais... São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, 2010. p. 1 - 14.
- COELHO, Virginia Maria. Potencial de contaminação de aquífero freático por esgoto doméstico-quantificação do decaimento bacteriológico. 2007. 129 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Minerais e Hidrotecnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

- COLODRO, Gilberto; ESPÍNDOLA, Carlos Roberto. Alterações na fertilidade de um latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. *Acta Scientiarum. Agronomy*, [s.l.], v. 28, n. 1, p.1-5, 12 jan. 2006. Universidade Estadual de Maringá. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v28i1.1137>.
- CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. . Brasília, DF: Dou, 18 mar. 2005. n. 53, p. 58-63.
- CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. . Brasília, DF: Publicação DOU, 30 ago. 2006a. n. 167, Seção 1, p. 141-146.
- CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 380, de 31 de outubro de 2006. Retifica a Resolução CONAMA no 375/06 – Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. . Brasília, DF: Publicação Dou, 7 nov. 2006b. n. 213, Seção 1, p. 59-59.
- CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama no. 396 de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. 2008.
- CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. . Brasília, DF: Publicação Dou, 16 maio 2011. n. 92, p. 89-89.
- COSTA, Jocilene Ferreira da et al. Role of vegetation (*Typha latifolia*) on nutrient removal in a horizontal subsurface-flow constructed wetland treating UASB reactor-trickling filter effluent. *Water Science & Technology*, [s.l.], v. 71, n. 7, p.1004-1010, abr. 2015. IWA Publishing. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2015.055>.
- CRUZ, Luana Mattos de Oliveira. Tanque séptico seguido de filtro de areia para tratamento de esgoto doméstico. 2013. 154 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Área de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.
- CRUZ, Luana Mattos de Oliveira. Tratamento de esgoto sanitário em reator anaeróbio preenchido por casca de coco verde (*Cocos nucifera*) combinado com filtro de areia. 2009. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- DEMENIGHI, Alexandra Lima. PARÂMETROS PROJETUAIS PARA A IMPLANTAÇÃO DE SANITÁRIOS SECOS DESIDRATADORES COM DESVIO DE URINA (SSD. 2012. 175 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- DOTRO, Gabriela et al. *Treatment Wetlands*. London: Iwa Publishing, 2017. 154 p. (Biological Wastewater Treatment Series). Disponível em: . Acesso em: 25 maio 2018.
- FAO. AYERS, R.s.; WESTCOT, D.w.. *Water quality for agriculture*. Rome: Food And Agriculture Organization Of The United Nations, 1985. 174 p. (FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER). Paper 29 Rev. 1.

- FAUSTINO, Adriana. Estudos Físico-Químicos de efluente produzido por fossa séptica biodigestora e o impacto do seu uso no solo. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Química Analítica, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.
- FBB. FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. Estação biológica de tratamento de dejetos humanos: manual de construção. Brasília: Fbb, 2003. 155 p.
- FBB. FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. Tecnologia Social, Fossa Séptica Biodigestora. Saúde e Renda no Campo. Brasília: Embrapa Instrumentação, 2010. 31 p.
- FIGUEIREDO, I. C. S.; TONETTI, A. L.; SANTOS, B. S. C.. Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018. 28 p.
- FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles. Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas. 2018. 135 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, no prelo.
- FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; TONETTI, Adriano Luiz; MAGALHÃES, Taína Martins. Tratamento de esgoto na zona rural: tanque séptico, filtro de coco e vala de bambu. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018. 28 p.
- FILHO, D. G. N.; CASTRO, D. A. Influência das fossas sépticas na contaminação do manancial subterrâneo por nitratos e os riscos para os que optam pelo autoabastecimento como alternativa dos sistemas públicos de distribuição de água. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.
- FONSECA, Alexandre Ribeiro. Tecnologias sociais e ecológicas aplicadas ao tratamento de esgotos no Brasil. 2008. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saúde Pública, Departamento de Saúde e Saneamento Ambiental, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2008.
- FRANCA, R. M.; FRISCHKORN, H.; SANTOS, M. R. P.; MENDONÇA, L. A. R.; BESERRA, M. C.; 2006. Contaminação de poços tubulares em Juazeiro do Norte-CE. Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 11, No.º 1, pp. 92-102.
- FRANCESCHINI, G. Tecnologias de baixo custo para tratamento de esgoto rural: definição de sistemas tecnicamente eficientes e viabilidade do biogás. 2018. 132 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Butucatu, no prelo.
- FREITAS, Elenilce Monteiro de. Estudo Comparativo entre reatores UASB e Tanque séptico, em escala unifamiliar, no tratamento de esgoto de comunidade Quilombola Amazônica. 2012. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- FUNASA. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 4. ed. Brasília, 2015. 642 p.
- FUNASA. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento: Orientações técnicas. 3. ed. Brasília, 2007. 408 p.
- FUNASA. Ministério de Saúde. Fundação Nacional de Saúde. CataloSan: Catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos. Brasília: Funasa, 2018. 50 p. Eds: Paulo, P.L.; Galbiati, A.F.; Magalhães, F.J.C.
- FUNASA. Ministério de Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Compostagem Conjugada de

- resíduos sólidos orgânicos. Brasília: Funasa, 2014. 32 p.
- GALBIATI, Adriana. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração. 2009. 38 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Ambientais, Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.
- GALINDO, Natália et al. Perguntas e Respostas: Fossa Séptica Biodigestora. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2010. 26 p. (Documentos 49).
- GARRIDO, Juliana et al. Estudo de modelos de gestão de serviços de abastecimento de água no meio rural no Brasil: Parte I. Brasília: Banco Mundial, 2016. 112 p. (Série Água Brasil #13). Disponível em: . Acesso em: 25 abr. 2018.
- GASI, Tania Mara Tavares. Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. São Paulo: Cetesb, 1988. 36 p. (Série Manuais).
- GIKAS, Petros; TCHOBANOGLIOUS, George. The role of satellite and decentralized strategies in water resources management. *Journal Of Environmental Management*, [s.l.], v. 90, n. 1, p.144-152, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.08.016>.
- GOMES, Bianca Graziella Lento Araujo. Tratamento de esgoto de pequena comunidade utilizando tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro de areia. 2015. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Área de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- GONÇALVES, Ricardo Franci (Org.). Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 352 p. (Projeto PROSAB).
- GONÇALVES, Ricardo. Uso racional de água nas edificações. 2. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2006. 352 p. (Projeto PROSAB).
- HESPAÑHOL, Ivanildo. Potencial de Reuso de Água no Brasil Agricultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, [s.l.], v. 7, n. 4, p.75-95, 2002. DOI: 10.21168/rbrh.v7n4.p75-95.
- HILL, Geoffrey B.; BALDWIN, Susan A.. Vermicomposting toilets, an alternative to latrine style microbial composting toilets, prove far superior in mass reduction, pathogen destruction, compost quality, and operational cost. *Waste Management*, [s.l.], v. 32, n. 10, p.1811-1820, out. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2012.04.023>.
- HOLMER, Robert J.; ITCHON, Gina S.; RIZAL, Jose P. Reuso dos efluentes do saneamento ecológico na agricultura urbana: experiências nas Filipinas. *Agricultura Urbana*, [s.l.], n. 20, p.88-93, 2008.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010: População residente, total, urbana total e urbana na sede municipal, em números absolutos e relativos, com indicação da área total e densidade demográfica, segundo as Unidades da Federação e os municípios. Rio de Janeiro: Ibge, 2010.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manuais Técnicos em Geociências. Número 4: Manual Técnico de Pedologia. 2ª edição. Rio de Janeiro. 2007.
- JAVAREZ JÚNIOR, Antônio; PAULA JÚNIOR, Durval R. de; GAZZOLA, Jonathan. Avaliação do desempenho de dois sistemas modulares no tratamento anaeróbio de esgotos em comunidades rurais. *Engenharia Agrícola*, [s.l.], v. 27, n. 3, p.794-803, dez. 2007.

- FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162007000400024>.
- JEFFERSON, B.; JEFFREY, P. 2013. Chapter 19. Aerobic elimination of organics and pathogens: greywater treatment. In: Source Separation and decentralization for wastewater management. Larsen, T. A.; Udert, K. M.; Lienert, J. 2013. IWA Publishing.
- JENKINS, Joseph. The Humanure Handbook: A guide to composting human manure. 3. ed. Grove City: Chelsea Green Publishing, 2005. 255 p.
- JESSEN, Petter. D. et al. Ecological sanitation and reuse of wastewater: ecosan, a thinkpiece on ecological sanitation. Oslo: Agricultural University Of Norway, 2004. 18 p.
- JORDÃO, Eduardo Paacheco; PESSÕA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 6. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2011.
- LANDAU, Elena Charlotte; MOURA, Larissa (Ed.). Variação geográfica do saneamento básico no Brasil em 2010: domicílios urbanos e rurais. Brasília: Embrapa, 2016. 975 p.
- LERMONTOV, André; GOMES, Marcio. SANEAMENTO SUSTENTÁVEL EM COMUNIDADES COM USO DE BIOSISTEMAS. Petrópolis: Grupo Aguas do Brasil, 2009. 8 p.
- LIBRALATO, Giovanni; GHIRARDINI, Annamaria Volpi; AVEZZÙ, Francesco. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. Journal Of Environmental Management, [s.l.], v. 94, n. 1, p.61-68, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.010>.
- LIMA COASACA, Raúl . Remoção biológica de nitrogênio em sistemas alagados construídos enriquecidos com bactérias Anammox. 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Área de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- LIMA, Bruna et al. Avaliação da eficiência de três diferentes configurações de reatores anaeróbios para maior retenção de sólidos e fins de reuso. Revista Tecnologia, Fortaleza, v. 33, n. 2, p.201-212, 2012. Fundacao Edson Queiroz. <http://dx.doi.org/10.5020/23180730.2012.v33.2.201-212>.
- LUDWIG, Art. Create an oasis with greywater: choosing, building, and using Greywater Systems, includes branched drains. Guatemala: Asociación Nacional del Café, 2012.
- MADRID, Francisco. Aplicação da Vermifiltração no Tratamento de esgoto sanitário. 2016. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- MADUREIRA, Felipe A. N.. Adaptação e Melhoria em ETE com Tanque Imhoff. In: JORNADA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 1., 2013, Salvador-ba. Anais... . Salvador-ba: Abes, 2013. p. 1 - 10.
- MANCUSO, Pedro Caetano Sanches; SANTOS, Hilton Felício dos (Ed.). Reúso de água. Barueri, Sp: Editora Manole Ltda., 2003. 579 p.
- MARA, Duncan. Low-Cost Urban Sanitation. London: John Wiley & Sons, 1996. 240 p.
- MARTINETTI, Thaís Helena. Análise da sustentabilidade de sistemas locais de tratamento de efluentes sanitários para habitações unifamiliares. 2015. 292 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.
- MARTINETTI, Thais Helena; TEIXEIRA, Bernardo Arantes do Nascimento; SHIMBO, Ioshiaqui. Pesquisa-ação participativa para execução de sistema de tratamento local de efluentes sanitários residenciais sustentável: caso do assentamento rural Sepé-Tiaraju. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 9, p.43-55, 2009.

- MARTINS, Edjane Suenia Costa da Silva. Efeito do armazenamento sobre as características de urina e águas amarelas. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual de Paraíba, Campina Grande, 2016.
- MASSOUD, May A.; TARHINI, Akram; NASR, Joumana A.. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal Of Environmental Management*, [s.l.], v. 90, n. 1, p.652-659, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>.
- MATTOS, Luis Cláudio; FARIAS JÚNIOR, Mário. Manual do Biodigestor Sertanejo. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2011. 55 p.
- METCALF & EDDY. George Tchobanoglous; Franklin L. Burton; David H. Stensel. *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. 4. ed. Boston: Mcgraw-hill, 2003. 1819 p.
- MOLLISON, Bill. *Permaculture: A designer's Manual*. Tasmania, Australia: Tagari Publications, 1988. 565 p.
- NIE, E. et al. Tower bio-vermifilter system for rural wastewater treatment: bench-scale, pilot-scale, and engineering applications. *International Journal Of Environmental Science And Technology*, [s.l.], v. 12, n. 3, p.1053-1064, 9 jan. 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-013-0479-6>.
- NOVAES, Antônio P. de et al. Utilização de uma Fossa Séptica Biodigestora para Melhoria do Saneamento Rural e Desenvolvimento da Agricultura Orgânica. São Carlos: Embrapa, 2002. (Comunicado Técnico 46).
- OLIVEIRA, José. Estudo comparativo entre reatores de crescimento aderido e disperso pós tanques sépticos tratando esgotos domiciliares. 2014. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal de Paraíba, João Pessoa-pb, 2014.
- OMS. WHO. Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture. Technical report series, 778pgs. Geneva: WHO, 1989.
- ONU. Organização das Nações Unidas. Relatório A/HRC/33/49 da Assembléia Geral das Nações Unidas. Relatório do Relator Especial sobre o direito humano à água potável segura e ao esgotamento sanitário. 21 pgs. 2016.
- ONU. Organização das Nações Unidas. Resolução nº A/HRC/RES/16/2, de 8 de abril de 2011. The Human Right To Safe Drinking Water And Sanitation. Nova Iorque, NY.
- ONU. Organização das Nações Unidas. Resolução nº A/RES/64/2, de 28 de julho de 2010. The Human Right To Water And Sanitation. Nova Iorque, NY.
- PAES, Wellington Marchi. Técnicas de permacultura como tecnologias socioambientais para a melhoria na qualidade da vida em comunidades da Paraíba. 2014. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Estadual de Paraíba, João Pessoa, 2014.
- PHILIPPI, Luiz Sérgio et al. ROOT ZONE SYSTEM TO TREAT WASTEWATER IN RURAL AREAS IN SOUTH OF BRAZIL. In: INT CONF WET SYS WAT POLLUT CONT, 10., 2006, Lisbon. Proceedings. Lisbon: Iwa Publishing, 2006. p. 901 - 908.
- PIMENTEL, Antônio; PAULA, Daniel Magalhães de; BORGES, Diego. Soluções de Saneamento básico para comunidades isoladas: Estudo de caso no bairro Jardim Emburá-SP. 2014. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

- PIRES, Felipe Jacob; TIBURCIO, Túlio M.s. Banheiro seco: avaliação da percepção do usuário. In: VI ENCONTRO NACIONAL E IV ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 6., 2011, Vitória - Es. Anais... . Vitória: Elecs, 2011. p. 1 - 10.
- PIRES, Felipe. Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no Assentamento Rural Olga Benário-MG. 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- PNAD. Pesquisa nacional por amostra de domicílios 2013, volume 33. Rio de Janeiro: Ibge, 2013. 133 p.
- PNAD. Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de indicadores 2013. 2. ed. Rio de Janeiro: Ibge, 2015. 296 p.
- PNSR. Site do Programa Nacional de Saneamento Rural (em construção). <http://pnsr.desa.ufmg.br/>. Último acesso em 20/06/2018. 2018.
- POSTIGO, Murilo Dias et al. AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE FOSSA SÉPTICA DE BAIXO CUSTO DESENVOLVIDA PARA O SANEAMENTO RURAL. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, Espírito Santo do Pinhal, v. 1, n. 14, p.26-35, jan./jun. 2017. Semestral. Disponível em: . Acesso em: 24 abr. 2018.
- PROJETO Caxixe. 2005. Disponível em: . Acesso em: 28 maio 2018.
- PUREZA, Fabiana; CASTAGNA, Guilherme. Como cuidar de nossas águas? [s.l.]: Associação Amigos da Biblioteca Solidária, 2015. 17 p.
- RIGOTTI, José Irineu Rangel; HADAD, Renato. A definição de áreas rurais no Brasil: Belo Horizonte: Ufmg/puc, 2017. 31 slides, color.
- RODRIGUES, Rodrigo; GOMES, Hygu; SELVAM, Pagandi. Biosistemas integrados (B.S.I): modelo de produção e viabilidade preliminar para reaproveitamento dos outputs gerados no agronegócio. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 8., 2006, Bauru. Anais... Bauru: Simpep, 2006. p. 1 - 7.
- SAMPAIO, Américo de Oliveira. Editorial. Revista Dae. São Paulo, p. 3-3. set. 2011.
- SANTIAGO, Fábio dos Santos et al. Bioágua Familiar: Reuso de água cinza para produção de alimentos no Semiárido. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2012. 13 f.
- SÃO PAULO (Estado). Constituição Estadual, de 5 de outubro de 1989. . São Paulo, SP,
- SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. . São Paulo, SP,
- SÃO PAULO. Decreto Estadual nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. . São Paulo, SP,
- SÃO PAULO. Lei Estadual nº 997, de 31 de maio de 1976. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente. . São Pa, SP,
- SARTORI, Márcia. Desempenho de vermifiltros no tratamento de esgoto doméstico em pequenas comunidades. 2010. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- SCHÖNNING, Caroline; STENSTRÖM, Thor Axel. Guidelines on the Safe Use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems. Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute, 2004. 38 p. (EcoSanRes Programme).

- SERAFIM, Milena P; DIAS, Rafael de B.. Tecnologia social e tratamento de esgoto na área rural. In: COSTA, Adriano Borges (Org.). Tecnologia social e políticas públicas. São Paulo: Instituto Polis, 2013. Cap. 8. p. 184-206.
- SEZERINO, Pablo Heleno et al. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 20, n. 1, p.151-158, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-4152201502000096615>.
- SILVA, Bárbarah Brenda. As relações de gênero e o saneamento: um estudo de caso envolvendo três comunidades rurais brasileiras. Dissertação de mestrado. 2017.
- SOARES, Márcia et al. Parâmetros Físico-Químicos e Eficiência de Fossa Séptica Biodigestora na Redução da Carga orgânica de Esgoto Originado de Água Doce ou Salobra, na Borda Oeste do Pantanal. In: AGROECOL, 1., 2016, Dourados-ms. Anais... . Dourados-ms: Cadernos de Agroecologia, 2016. p.1 - 12.
- SOUSA, José Tavares de et al. Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 9, n. 4, p.285-290, dez. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522004000400004>.
- SOUZA, L. A.; ANTONELI, V. O problema da falta de saneamento básico na área rural do município de Irati-PR e a implementação das fossas biodigestoras como alternativa. XVI Encontro Nacional de Geógrafos. Associação dos Geógrafos Brasileiros - AGB. 2010.
- SOUZA, Marcos; VIEIRA, Sônia. Uso do reator Uasb para tratamento de esgoto sanitário. Revista Dae. São Paulo, p. 165-168. jun. 1986.
- SUPREMA. Estudo técnico visando diagnosticar a situação dos recursos hídricos destinados à exploração de água no município de Holambra-SP, compatibilizando alternativas entre disponibilidades e demandas hídricas (Projeto águas de Holambra), 2013: Relatório consolidado pela SHS Consultoria e Projetos de Engenharia Ltda.- EPP, Recurso Fehidro. Holambra, 2013.
- TEIXEIRA, José Boaventura. Saneamento rural no Brasil. In: REZENDE, Sonaly Cristina (Org.). Panorama do saneamento básico no Brasil: Cadernos temáticos para o panorama do saneamento básico no Brasil - Volume VII. Brasília: Ministério das Cidades, 2014. Cap. 6. p. 220-279.
- TILLEY, Elizabeth et al. Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2. ed. Dübendorf, Switzerland: Swiss Federal Institute Of Aquatic Science And Technology (eawag), 2014.
- TONETTI, Adriano Luiz; CORAUCCI FILHO, Bruno; STEFANUTTI, Ronaldo. Pós-tratamento de efluente de filtros anaeróbios operados com baixo tempo de detenção hidráulica por escoamento superficial no solo. Engenharia Sanitaria e Ambiental, [s.l.], v. 17, n. 1, p.07-12, mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522012000100004>.
- TONETTI, A. L.; DUARTE, N. C.; FIGUEIREDO, I. C. S. Brasil, A. L. 2018. Alternativas para o gerenciamento de lodo de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos de áreas rurais. Labor & Engenho, Campinas [SP] Brasil, v.12, n.1, p.145-152, jan./mar. 2018.
- TONON, Daniele et al. Wastewater treatment by anaerobic filter and sand filter: Hydraulic loading rates for removing organic matter, phosphorus, pathogens and nitrogen in

- tropical countries. *Ecological Engineering*, [s.l.], v. 82, p.583-589, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.018>.
- TRATA BRASIL (Org.). *Pesquisa Saneamento Básico em Áreas Irregulares – Relatório Brasil*. São Paulo, 2016. 118 p.
- TUBBS, D.; FREIRE, R. B.; YOSHINAGA, S. Utilização da cafeína como indicador de contaminação das águas subterrâneas por esgotos domésticos no bairro de piranema – municípios de Seropédica e Itaguaí /RJ. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2004.
- USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA/625/R-00/008 (NTIS PB02-108560): ONSITE WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS MANUAL - REVISED FEBRUARY 2002. [s.i.]: U.s. Environmental Protection Agency, 2002. 369 p.
- USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA/625/R-99/010 (NTIS PB2001-101833): MANUAL - CONSTRUCTED WETLANDS TREATMENT OF MUNICIPAL WASTEWATERS. Cincinnati, Ohio: U.s. Environmental Protection Agency, 2000. 165 p.
- VAN LENGEN, Johan . *Manual do arquiteto descalço*. [s.l.]: Tiba, 1996. 695 p.
- VICQ, Raphael de; LEITE, Mariangela Garcia Praça. Avaliação da implantação de fossas sépticas na melhoria na qualidade de águas superficiais em comunidades rurais. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, [s.l.], v. 19, n. 4, p.411-416, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522014019000000395>.
- VIEIRA, Itamar. *Círculo de bananeiras*. 2006. Disponível em: . Acesso em: 25 maio 2018.
- WHO/UNICEF. *Progress on sanitation and drinking water – 2015 update and MDG assessment*. Geneva: World Health Organization (who) And The United Nations Children's Fund (unicef), 2015. 90 p.
- WILLIAMS, Don Duane; BUGIN, Alexandre; REIS, Jorge Luiz Britto Cunha. *Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: Técnicas de revegetação*. Brasília: Ibama, 1990. 96 p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: Volume 1. Policy and regulatory aspects*. Geneva: Who Press, 2006. 114 p.
- ZERWES, Filipe Vargas. *Sistema de tratamento e reúso de águas residuárias em pequenas propriedades rurais: acompanhamento e operação de estação no Vale do Rio Pardo*. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2013.

Visite a nossa página e tenha acesso a mais
materiais e referências:

www.fec.unicamp.br/~saneamentorural

www.facebook.com/saneamentoambiente/