

Stefano Mambretti  
Ademar Nogueira do Nascimento  
(Organizadores)

Gestão e Tecnologia do

# SANEAMENTO BÁSICO:

Uma abordagem na Perspectiva  
Brasileira e Internacional



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

Stefano Mambretti  
Ademar Nogueira do Nascimento  
(Organizadores)

Gestão e Tecnologia do

# SANEAMENTO BÁSICO:

Uma abordagem na Perspectiva  
Brasileira e Internacional



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



# Gestão e tecnologia do saneamento básico: uma abordagem na perspectiva brasileira e internacional

**Diagramação:** Natália Sandrini de Azevedo  
**Correção:** Flávia Roberta Barão  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Organizadores:** Stefano Mambretti  
Ademar Nogueira do Nascimento

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G393 Gestão e tecnologia do saneamento básico: uma abordagem na perspectiva brasileira e internacional / Organizadores Stefano Mambretti, Ademar Nogueira do Nascimento. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0639-6

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.396221110>

1. Saneamento. 2. Água. 3. Drenagem. 4. Esgoto. I. Mambretti, Stefano (Organizador). II. Nascimento, Ademar Nogueira do (Organizador). III. Título.

CDD 363.72

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



## PREFÁCIO

Diante de um mundo em rápida mudança, onde promover a sustentabilidade ambiental exige qualificadas habilidades técnicas e invocam a importância da atualização das leis, consideramos importante apresentar uma visão geral sobre o estado da arte da pesquisa, dos projetos e da gestão e tecnologia do serviço integrado de água e destinação de esgotos, juntamente com alguns exemplos de implementação no Brasil e no exterior.

Nesse sentido consideramos muito útil, devido às recentes mudanças legislativas, apresentar o novo marco legal brasileiro, juntamente com as atualizações normativas ocorridas nos Estados Unidos e na Itália. Entendemos que o desenvolvimento e a cooperação multi-países nesse segmento é de fundamental importância para a disseminação de técnicas de racionalização e otimização dos serviços de água e esgoto, de modo a proporcionar melhorias na qualidade de vida das populações com a universalização de tecnologias e gestão de sistemas de referência internacional.

A origem deste presente projeto remete-se à longa e profícua colaboração acadêmica entre a Universidade Federal da Bahia (Brasil) e o Politecnico di Milano (Itália), e posteriormente estendido a profissionais e pesquisadores do Brasil, Itália e Estados Unidos.

Esperamos que o conteúdo deste livro, de caráter transversal, possa ser útil aos profissionais que atuam em diferentes áreas do planejamento dos recursos hídricos e saneamento ambiental, visto que, ao se reconhecer a sua interdisciplinaridade, foram incluídos conteúdos tanto de engenharia, quanto normativo, de gestão e de tecnologias aplicadas, proporcionando uma ampla compreensão técnica para soluções desta relevante problemática ambiental universal.

Stefano Mambretti

Ademar Nogueira do Nascimento




## SUMÁRIO

### **CAPÍTULO 1..... 1**

#### OTIMIZAÇÃO DOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA


Gianfranco Becciu  
Stefano Mambretti  
Mariana Marchioni

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211101>

### **CAPÍTULO 2..... 27**

#### PRÁTICAS DE GESTÃO DA REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS


Gianfranco Becciu  
Stefano Mambretti  
Luiz Fernando Orsini Yazaki  
Mariana Marchioni

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211102>

### **CAPÍTULO 3..... 49**

#### DRENAGEM E MANEJO DAS ÁGUAS EM GRANDES CIDADES BRASILEIRAS: O CASO DO MUNICÍPIO DE SALVADOR (BRASIL)

Lafayette Dantas da Luz  
Patrícia Campos Borja

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211103>

### **CAPÍTULO 4..... 81**

#### ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTO NOS ESTADOS UNIDOS: A ESTRUTURA REGULATÓRIA E SERVIÇO PÚBLICO/PRIVADO


David W. Schnare

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211104>

### **CAPÍTULO 5..... 99**

#### O MARCO REGULATÓRIO E SISTEMA DE GESTÃO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA URBANA E ÁGUAS RESIDUAIS NA ITÁLIA


Alessandro de Carli  
Sara Zanini




 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211105>

### **CAPÍTULO 6..... 124**

#### A PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E ESGOTAMENTO SANITÁRIO NO BRASIL, APÓS ALTERAÇÕES NO MARCO LEGAL E REGULATÓRIO DO SANEAMENTO BÁSICO PELA LEI Nº 14.026/2020

Abelardo de Oliveira Filho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211106>

<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>162</b>
O SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL: VISÃO GERAL DA ESTRUTURA JURÍDICA DE PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS	
Lucas Custódio	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211107">https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211107</a>	
<b>CAPÍTULO 8</b> .....	<b>181</b>
A QUESTÃO “ÁGUA”: O RECURSO NO MUNDO, A NECESSIDADE DE UM PARADIGMA DIFERENTE, O ENVOLVIMENTO DA POPULAÇÃO	
Gianfranco Becciu	
Camyllyn Lewis	
Stefano Mambretti	
Mariana Marchioni	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211108">https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211108</a>	
<b>CAPÍTULO 9</b> .....	<b>206</b>
TÉCNICAS DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA	
Layane Priscila de Azevedo Silva	
Ademar Nogueira do Nascimento	
 <a href="https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211109">https://doi.org/10.22533/at.ed.3962211109</a>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>240</b>
<b>SOBRE OS AUTORES</b> .....	<b>241</b>

## TÉCNICAS DE TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO PARA POPULAÇÃO DE BAIXA RENDA

**Layane Priscila de Azevedo Silva**

**Ademar Nogueira do Nascimento**

### 1. INTRODUÇÃO

A universalização do acesso aos serviços de saneamento é um princípio fundamental que permanece no novo Marco Regulatório do Saneamento Brasileiro (BRASIL, 2020), contudo, as mudanças que dizem respeito à prestação do serviço têm gerado muitas discussões, sobretudo quanto à cobertura das áreas que apresentam menor arrecadação.

As populações com menor capacidade de pagamento são aquelas que mais carecem de infraestrutura de saneamento básico. Dessa forma, com o estímulo da concorrência, garantida no novo Marco Legal, estima-se que os maiores investimentos se concentrarão em locais que apresentem condição econômica privilegiada. Contudo, o propósito para atingir a universalização é justamente o contrário, os serviços precisam chegar aonde há maior déficit social.

Nesse contexto, de um ambiente regulatório que permita o equilíbrio entre as necessidades sociais e a gestão sustentável dos contratos para os operadores do serviço, encontra-se o desafio de promover a inclusão de áreas vulneráveis e de baixa densidade

populacional (SANTOS et al., 2015).

Regiões isoladas, ou com vulnerabilidade social, normalmente não são atendidas por sistemas centralizados, uma vez que não compreendem a diluição dos custos do investimento. Tal situação compromete a universalização dos serviços de saneamento.

Logo, a adoção de sistemas descentralizados de tratamento e/ou aproveitamento de esgotos para populações de baixa renda, a serem mencionados neste capítulo, poderão contribuir para atingir esse objetivo.

### 2. CENÁRIO ATUAL E DESAFIOS DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM COMUNIDADES DE BAIXA RENDA

Segundo o *Atlas Esgotos* lançado pela Agência Nacional de Águas (ANA), apenas 43% da população brasileira apresenta esgoto coletado e tratado (BRASIL, 2017). Tal situação é preocupante, pois a ausência do tratamento adequado dos esgotos compromete a qualidade das águas, o equilíbrio do meio ambiente e a saúde das pessoas.

Este capítulo terá enfoque nas populações de baixa renda, que sofrem privações em todas as áreas –educacional, alimentar, habitacional, saúde, infraestrutura e, inclusive, sanitária.

O novo Marco Regulatório do

Saneamento (BRASIL, 2020), artigo 3º e inciso VII, prevê que o Plano Nacional de Saneamento Básico deverá contemplar ações de saneamento básico em núcleos urbanos informais ocupados por populações de baixa renda, quando estes forem consolidados e não se encontrarem em situação de risco. O artigo 3º e inciso VII prevê ainda o emprego de subsídios como instrumentos econômicos de política social, que contribuam para a universalização do acesso aos serviços públicos de saneamento básico por parte de populações de baixa renda (BRASIL, 2020).

O tema é complexo, pois as populações de baixa renda encontram-se em variações geográficas muito distintas: comunidades rurais, tradicionais, isoladas e favelizadas. Em pesquisas realizadas pelo Instituto Trata Brasil, estimou-se que cerca de 10 milhões de pessoas moram em áreas urbanas irregulares (PESQUISA..., 2016).

Acerca das comunidades isoladas, sete entre dez pessoas que não têm acesso aos serviços adequados de saneamento básico, moram em zonas rurais. Parece uma realidade distante para quem vive no meio urbano, mas 49% da população que habita essas áreas ainda convivem com práticas consideradas inadequadas, 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 (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2015).

### **3. GESTÃO DESCENTRALIZADA PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM COMUNIDADES DE BAIXA RENDA**

Existem dois tipos de gestão para a execução dos serviços de saneamento: a centralizada e a descentralizada.

A gestão centralizada é utilizada como solução de tratamento para grandes vazões. Normalmente, são administradas por concessionárias, exigindo técnicas avançadas e grandes áreas para instalação das unidades de coleta e tratamento, bem como elevados investimentos financeiros para implantação e manutenção de todo o sistema (SURIYACHAN; NITIVATTANANON; AMIN, 2012).

Entretanto, a população de baixa renda geralmente se encontra em áreas sem infraestrutura, na zona rural ou nos pequenos núcleos urbanos. Desse modo, pensar na gestão centralizada para atender a esse grupo pode ser inviável financeiramente. Sendo assim, para assistir essa população de forma sustentável, a gestão descentralizada parece ser a melhor opção.

Para Larsen, Udert e Lienert (2013), um sistema descentralizado pode ser definido como: "sistemas autônomos utilizados para tratamento de pequenas vazões, nas quais os resíduos podem ser processados no local ou tratados em outras unidades". De acordo com Rodriguez (2009), as tecnologias de tratamento descentralizadas devem ser aplicadas em

comunidades com população inferior a 2 mil habitantes.

Antes de tudo é importante destacar que a associação de sistemas descentralizados à precariedade e ao subdesenvolvimento é equivocada. Essa percepção não pondera o contexto social e os entraves técnicos existentes em determinadas localidades, na qual impedem a adoção de alternativas convencionais para o tratamento de esgotos domésticos, consideradas mais eficientes e modernas pela maioria da população (SERAFIM; DIAS, 2013). Sendo assim, uma estratégia complementar e não oposta à centralização, objetivando a universalização dos serviços de esgotamento sanitário (LIBRALATO; GHIRARDINI; AVEZZÙ, 2012).

### **3.1 Tipos de sistemas descentralizados**

Há dois tipos de sistemas descentralizados: o local e o coletivo.

No sistema local, a coleta e o tratamento acontecem no próprio local da geração do esgoto, com efluentes provenientes de uma única propriedade, seja residência ou edifício, seja residencial ou comercial.

Já o sistema coletivo é caracterizado pelo atendimento de mais de uma propriedade, podendo receber várias conexões, e conduzindo todo o efluente a uma unidade de tratamento comum, localizada perto das fontes geradoras de esgoto (LOMBARDO, 2004).

## **4. TÉCNICAS PARA TRATAMENTO E APROVEITAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM COMUNIDADES DE BAIXA RENDA**

Nos itens subsequentes serão abordadas as principais técnicas de tratamento de esgotos domésticos para as comunidades de baixa renda.

As sessões serão divididas entre técnicas descentralizadas locais e coletivas. Inicialmente, serão apresentadas as tecnologias locais.

### **4.1 SISTEMA DESCENTRALIZADO LOCAL**

#### *4.1.1 Fossa seca*

Embora o Brasil apresente uma alta cobertura com abastecimento de água tratada (83,7% da população), quando comparada ao de esgotamento sanitário, cerca de 16% dos brasileiros ainda não são atendidos com rede pública de abastecimento (SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO, 2019).

A fossa seca consiste num buraco escavado no solo, sobre o qual é construído um piso e uma “casinha”, que pode ser construídas com material de baixo custo, e que estejam

disponíveis na localidade (Figura 7), é destinada a receber somente as excretas, ou seja, não dispõe de veiculação hídrica (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2015).

O buraco pode ser redondo, com 90 cm de diâmetro, ou quadrado, com 80 cm de lado, podendo ser revestido ou não. Sua profundidade depende das características do solo e do nível do lençol freático, sendo comum a adoção de 2,50 m (TONETTI et al., 2018).

Em terrenos com pouca estabilidade, a fossa seca deverá ser revestida com manilhas de concreto armado, tijolos, madeiras etc. Também é necessário construir uma base de 20 cm, a fim de distribuir uniformemente o peso da casinha sobre o terreno, apoiar o piso e impedir a entrada de pequenos animais. Recomenda-se ainda instalar um tubo de ventilação na parte interna da casinha, para impedir o desprendimento abrupto dos gases, no momento em que o usuário retirar a tampa do buraco do piso. A porta deve estar sempre fechada e o buraco tampado, quando a fossa estiver fora de uso, a fim de evitar a proliferação de vetores (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2015).

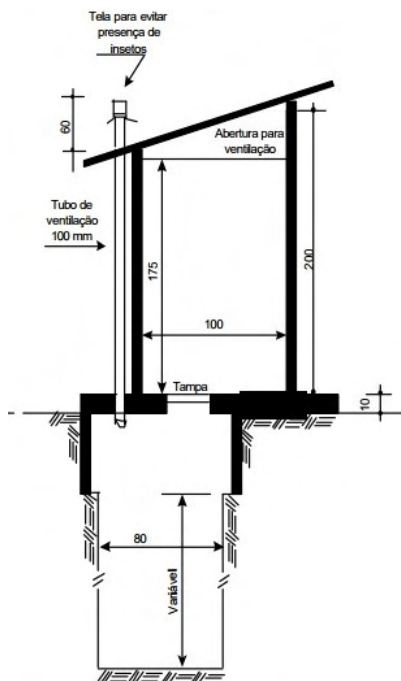


Figura 1: Privada com fossa seca ventilada.

Fonte: adaptada da Fundação Nacional de Saúde (2015).

Sobre o local de instalação da fossa seca, o *Manual de Saneamento* da Fundação Nacional de Saúde (Funasa) (2015) recomenda que seja distante de poços e fontes, no mínimo 15 metros, e em cota inferior a esses mananciais, a fim de evitar a contaminação

dos mesmos.



Figura 2: Fossa seca construída em madeira.

Fonte: adaptada de Tonetti e demais autores (2018).

#### 4.1.2 *Fossa séptica biodigestora*

Desenvolvida pela Embrapa Instrumentação, a Fossa Séptica Biodigestora (FSB) é uma tecnologia composta por três caixas d'água conectadas, em que ocorre a degradação da matéria orgânica do esgototransformando-o em biofertilizante (GALINDO et al., 2010).

A FSB é aplicada apenas ao esgoto do vaso sanitário, não podendo ser incorporado a ele qualquer outro resíduo. Segundo Galindo e demais autores (2010), a indicação é para atender uma família de até cinco pessoas, devendo conter no mínimo três caixas d'água, cada uma com capacidade para 1000 litros. Os dejetos devem fermentar por um período mínimo de 25 dias. As caixas ainda devem contar com tubos para alívio do biogás, a fim de evitar que a pressão no interior do sistema se eleve.

Para utilizar o fertilizante, o agricultor deve usaros equipamentos de segurança e respeitar as doses de aplicação recomendadas. Se o biofertilizante não puder ser utilizado, um dispositivo convencional de infiltração deve ser construído, a exemplo da vala de infiltração. Vale ressaltar que a aplicação desse composto não pode ser feita em verduras, hortaliças ou frutas que crescem rente ao solo (TONETTI et al., 2018).

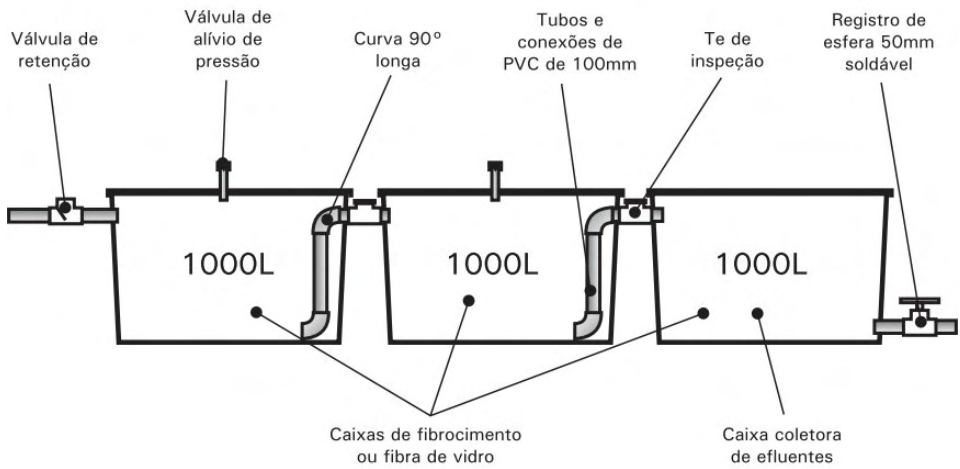


Figura 3: Esquema da FSB.

Fonte: adaptada de Tonetti e demais autores (2018).



Figura 4: FSB instalada em Holambra.

Fonte: adaptada de Tonetti e demais autores (2018).



### 4.1.3 Fossa séptica

A fossa séptica é uma câmara fechada, com a finalidade de deter os despejos domésticos, por um período de tempo estabelecido, de modo a permitir a decantação dos sólidos e retenção do material graxo contido nos esgotos transformando-os bioquimicamente em substâncias e compostos mais simples e estáveis (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2015).

Ela é aplicada tanto para sistemas descentralizados locais quanto coletivos. Porém, segundo a Funasa (2015), economicamente, ela é recomendada para até 100 habitantes, e requer que as residências disponham de suprimento de água.

Diferentemente da fossa seca, a séptica pode receber todos os despejos domésticos (cozinhas, lavanderias, banheiros, pisos etc.). As águas pluviais, e quaisquer outros tipos de contribuições não domésticas devem ser desviados. Recomenda-se também a instalação de uma caixa de gordura, uma vez que esse componente apresenta prejuízos ao tratamento.

O tanque séptico trata-se de uma unidade ambientalmente mais correta que a fossa seca. O projeto, construção e operação desse dispositivo são normatizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 7.229/1993.

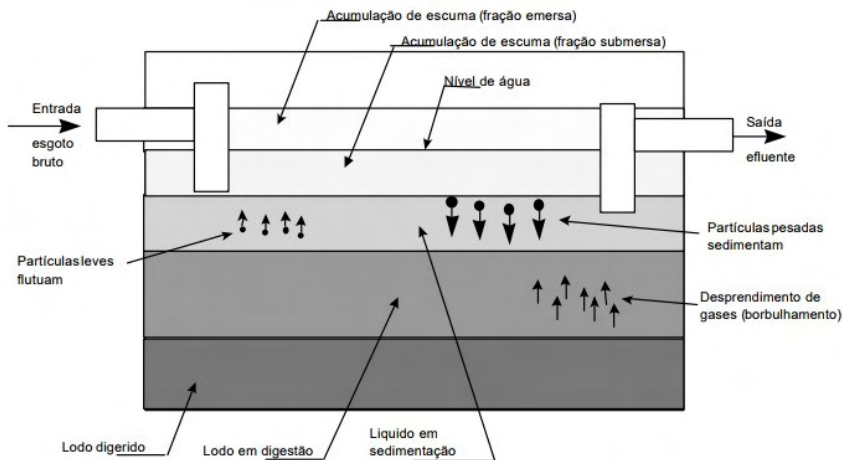


Figura 5: Esquema do tanque séptico.

Fonte: adaptada de Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993).

Trata-se de uma unidade impermeável, podendo ser construído com anéis de concreto, alvenaria, ou qualquer outro material que garanta a estanqueidade das paredes e do fundo. Há modelos pré-fabricados já prontos para serem instalados (Figura 6).



Figura 6: Fossa séptica pré-fabricada em plástico reforçado com fibra de vidro.

Fonte: adaptada de Fortlev ([20--]).

O funcionamento do tanque séptico compreende três fases: retenção, decantação e digestão. Primeiramente, o esgoto é retido por um tempo de detenção de 12 a 24 horas, a depender da contribuição diária afluente. Em seguida, tem-se a decantação de 60 a 70% dos sólidos suspensos formando o lodo. Os sólidos que não sedimentaram se misturam a outros componentes, como gases e gordura, e forma a espuma. A matéria orgânica é digerida por bactérias anaeróbias, finalizando o processo (PESSÔA; JORDÃO, 2009).

O destino do esgoto tratado deverá ser avaliado em função da qualidade, observando os limites estipulados pela legislação ambiental, bem como as características ambientais locais (TONETTI et al., 2018).

O lodo e a espuma acumulados no interior da fossa séptica devem ser removidos em intervalos de tempo definidos no seu dimensionamento, e encaminhados para destino sanitário seguro.

#### 4.1.4 Zona de raízes

Segundo a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Cetec) (1985), uma solução apropriada para localidades do meio rural é o sistema de tratamento de esgoto sanitário através de zona de raízes.

Essa é uma tecnologia autossustentável, baseada em solos filtrantes, que pode ser aplicada para uma única residência até pequenas comunidades (LEMES et al., 2008). Outro aspecto positivo do sistema é a ausência da produção de lodo, e a não exalação de maus odores, pois as próprias raízes filtram esses gases (VAN KAICK, 2002).

O tratamento por zona de raízes é o resultado da união entre os processos físicos, químicos e biológicos. O filtro propicia a formação do biofilme bacteriano em seu meio suporte, este é responsável pela degradação da matéria orgânica presente no esgoto. As condições aeróbias e anóxicas só acontecem devido ao fornecimento de oxigênio pelas raízes das macrófitas, utilizadas nesse processo (VALENTIN, 1999). A espécie mais comumente utilizada na zona de raízes, principalmente por sua fácil adaptação, é a *Zantedeschiaaethiopica*, popularmente conhecida como copo-de-leite (LEMES et al., 2008).

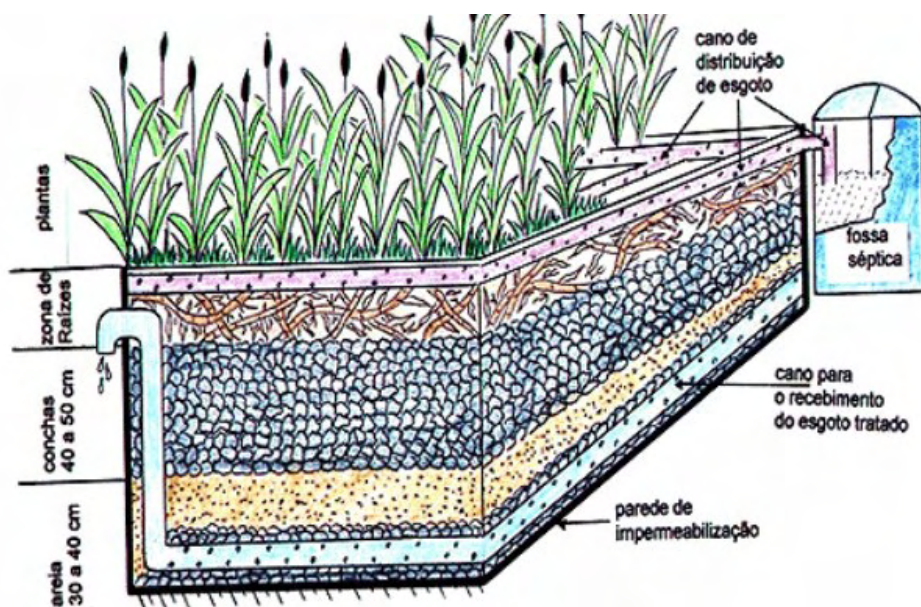


Figura 7: Esquema de um filtro por meio de zona de raízes.

Fonte: adaptada de Ramos e demais autores (2017).

Nesse sistema, o esgoto deve primeiro ser submetido a um tratamento primário, geralmente, a fossa séptica, para serem retidos os sólidos sedimentáveis. Em seguida, o efluente será encaminhado através de tubulação perfurada até um filtro, onde estarão instaladas as plantas acrófitas. O filtro deve ser estruturado por uma camada de brita nº 2, de 50 cm de profundidade, e sobre a rede de distribuição do afluente. Logo abaixo da camada de brita, deve ser adicionada a camada de areia –com granulometria de média

para grossa –, com 40 cm de profundidade. No fundo do filtro, se encontrarão as tubulações de coleta do efluente tratado (LEMES et al., 2008).



Figura 8: Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) através de zona de raízes em Angra dos Reis (RJ).

Fonte: adaptada de Tratamento de esgoto por zona de raízes (2012).

## 4.2 Sistema descentralizado coletivo

Nos itens a seguir, serão apresentadas as tecnologias descentralizadas coletivas, para tratamento de esgotos sanitários em populações de baixa renda.

### 4.2.1 Reator anaeróbio compartimentado

O Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) é um sistema de tratamento composto por câmaras em série. Em cada uma delas, o esgoto é direcionado para o fundo 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, num tempo de detenção entre 10 e 24 horas. Durante esse processo, ocorre o depósito de partículas em suspensão presentes no líquido, formando um lodo rico em micro-organismos, responsável pela degradação anaeróbia do esgoto. O lodo excedente deve ser removido periodicamente, de acordo com o intervalo definido em projeto (TONETTI et al., 2018).

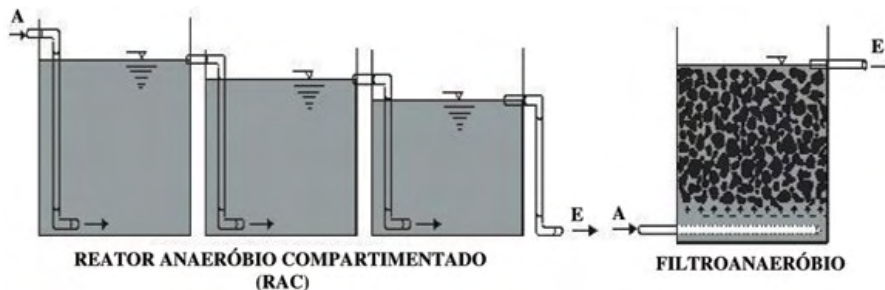


Figura 9: RAC associado a filtro anaeróbio.

Fonte: adaptada de Javaréz Júnior e demais autores (2007).

O efluente RAC apresenta qualidade superior ao gerado ao da fossa séptica. Para um esgoto tratado de melhor qualidade, deve-se adotar um pós-tratamento, com as tecnologias a serem indicadas nos próximos itens.

De acordo com Tonneti e demais autores (2018), O RAC pode ser construído com anéis de concreto, alvenaria, bombonas plásticas, caixas d'água, dentre outros materiais, desde que suas paredes sejam impermeáveis.



Figura 10: RAC com bombonas.

Fonte: adaptada de Tonetti e demais autores (2018).

#### 4.2.2 Filtro anaeróbio

O filtro anaeróbio trata-se de um tanque, retangular ou circular, que apresenta em seu interior um leito fixo submerso— brita nº 4 ou peças plásticas –, no qual se desenvolve o biofilme bacteriano responsável pela degradação da matéria orgânica presente no esgoto sanitário. Nos interstícios do leito, existem ainda flocos de bactérias que contribuem também para o processo (PESSÔA; JORDÃO, 2009).

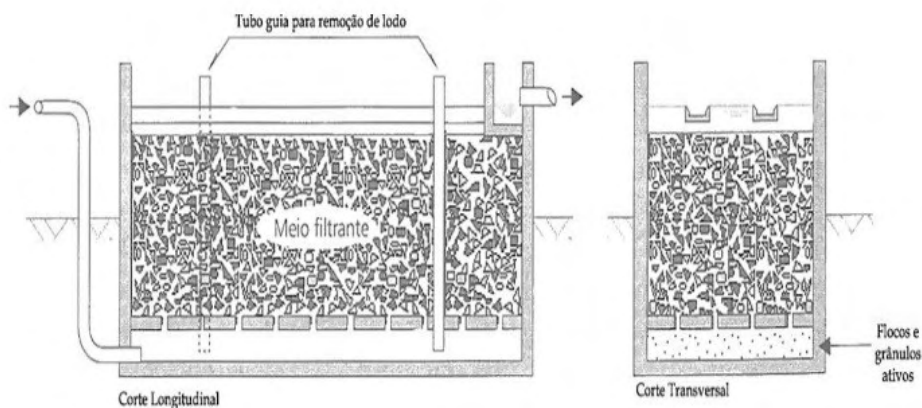


Figura 11: Cortes longitudinal e transversal de um filtro biológico anaeróbico de fluxo ascendente.

Fonte: adaptada de Campos (1999).

O filtro anaeróbico não deve tratar esgoto sanitário bruto, sob pena de sofrer obstrução. Sendo assim, normalmente ele é precedido por uma fossa séptica, servindo como complementação ao tratamento efetuado por ela. No caso, o conjunto fossa-filtro pode resultar em uma remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) da ordem de 80% (VON SPERLING, 2005).

O dimensionamento dessa unidade de tratamento também é normatizado pela ABNT e pode ser encontrado na NBR 13.969/1997. Além do filtro anaeróbico, ela dispõe sobre o projeto, construção e operação de demais unidades de tratamento complementares ao tanque séptico.

Em relação à produção de lodo, ele pode encontrar-se aderido ao material suporte e/ou retido no fundo falso. De acordo com a NBR 13969/1997 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), o filtro anaeróbico deve ser limpo quando for observado a obstrução do leito. A remoção deve ser feita com uma bomba de recalque ou sucção por mangote de carro limpa fossa. O volume a ser retirado é de aproximadamente 10% do total (TONETTI et al., 2018).

No entanto, para populações de baixa renda, o investimento para aquisição de uma bomba ou contratação periódica de carros limpa fossa pode inviabilizar economicamente o projeto. Uma alternativa, desde que haja declividade suficiente no terreno, é incluir um registro para descarga hidráulica do lodo de fundo.

A Funasa (2015) sugere também a construção de uma bomba de sucção manual, confeccionada com tubulação de PVC de 40 mm de diâmetro, e um êmbolo de madeira. Com esses materiais de fácil acesso, é possível construir uma espécie de seringa, que

puxa o lodo do fundo do reator até a superfície.

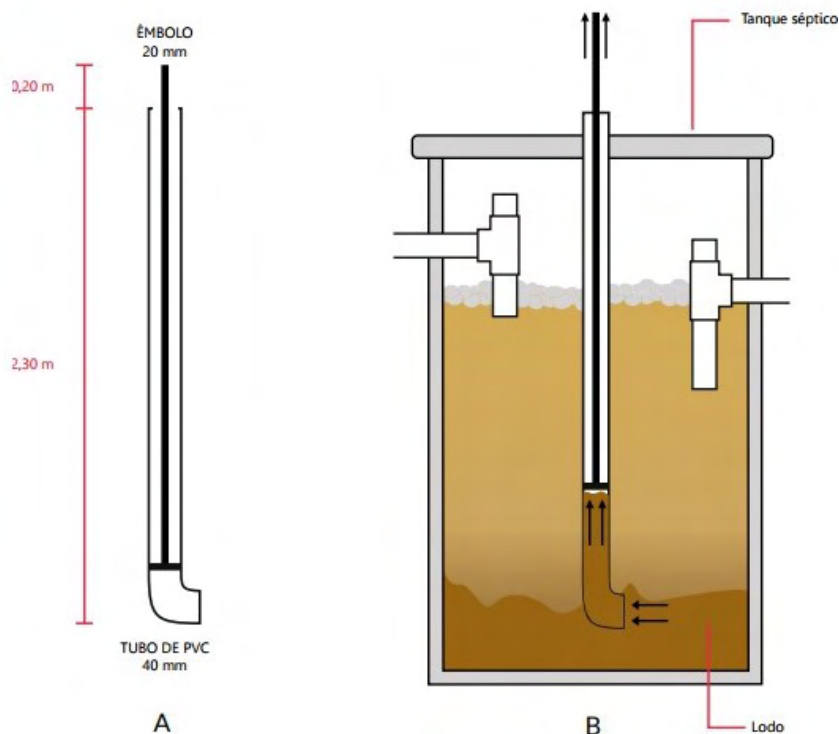


Figura 12: Esquema construído por Tonetti de bomba de sucção proposta pela Funasa.

Fonte: adaptada de Tonetti e demais autores (2018) e da Funasa (2015).

O filtro anaeróbio pode ser construído em concreto ou pré-fabricado em plástico reforçado com fibra de vidro, por exemplo. A configuração fossa séptica + filtro anaeróbio + sumidouro é a mais comum no Brasil. Existem ainda soluções mais sustentáveis com reuso de resíduos, como pneus por exemplo, solução essa adotada pela Prefeitura de Guapimirim (Figura 13).



Figura 13: Fossa, filtro e sumidouro com pneus.

Fonte: adaptada de Sousa (2021).

### 4.3 Disposição final do esgoto tratado

O esgoto tratado pode ser infiltrado, lançado em corpo receptor ou reutilizado. Todas essas alternativas devem obedecer aos normativos legais estabelecidos em cada região.

A solução mais comum em comunidades de baixa renda é a infiltração por meio de sumidouro ou vala de infiltração. O reuso pode ser viável, dependendo da qualidade do esgoto. Já o lançamento em corpo receptor pode se tornar inviável, em função do custo do emissário.

#### 4.3.1 Sumidouro

Também chamado de “poço absorvente”, o sumidouro é uma unidade cujo objetivo principal é infiltrar o esgoto tratado no solo. Seu formato pode ser cilíndrico ou prismático. Suas paredes devem ser revestidas com alvenaria de tijolos, anéis de concreto ou pedras, no entanto as juntas devem ser livres, para que o efluente infiltre pelas paredes. O fundo deve ser preenchido com cascalho. A laje de cobertura deve ficar no nível do terreno, com dimensão mínima de 0,60 m, com fechamento hermético e tampa de inspeção. O sumidouro não pode receber esgoto bruto, pois rapidamente seria colmatado, podendo assim ocorrer transbordamento. Além disso, deve ser instalado longe de fontes de água – mínimo de 30 metros – e o seu fundo a uma distância mínima de 1,50 metros do lençol freático (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2015).

A performance desse dispositivo depende das características do solo, sobretudo seu grau de saturação. O ideal é que sejam feitos testes para que a sua capacidade de



infiltração seja conhecida (TONETTI et al., 2018).

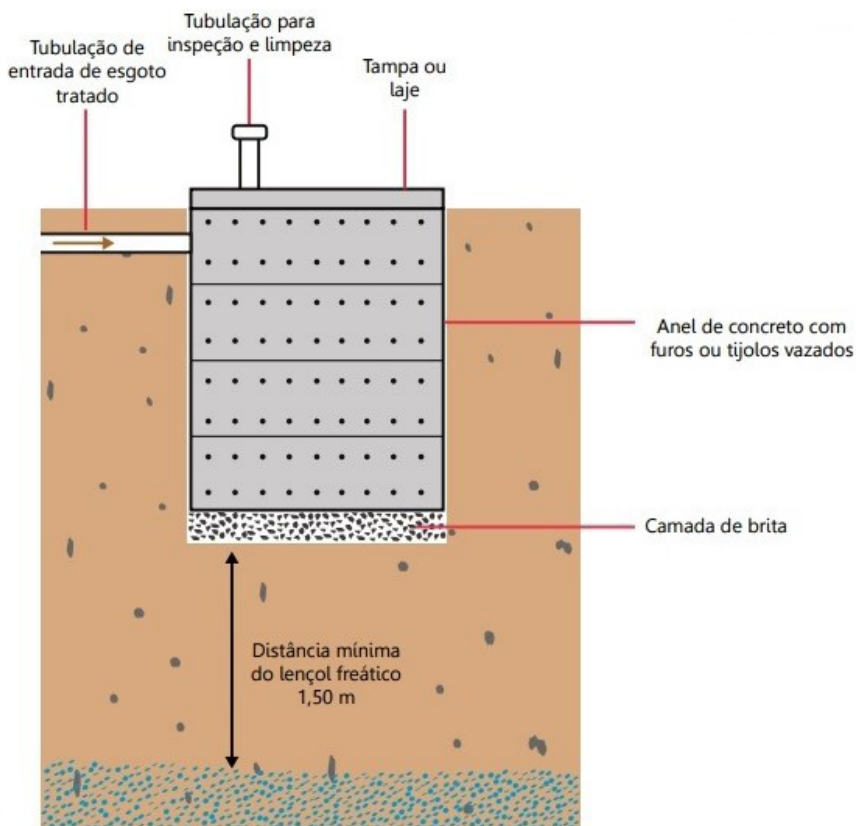


Figura 14: Esquema de um sumidouro.

Fonte: adaptada de Tonetti e demais autores (2018).

#### 4.3.2 Vala de Infiltração

A vala de infiltração é um dispositivo de profundidade bem inferior ao sumidouro, própria para solos com lençol freático alto. Além da infiltração, também ocorrerá a depuração final da matéria orgânica ao longo de todo o comprimento da vala.

Para o dimensionamento da vala de infiltração, deve-se considerar uma profundidade entre 0,60-1,00 metro, largura mínima de 0,50 e máxima de 1,00 metro, comprimento máximo de 30 metros. Devem ser assentadas em tubos de drenagem de no mínimo 100mm de diâmetro, a tubulação deve ser envolvida em material filtrante (ex.: brita). Deve haver pelo menos duas valas de infiltração para disposição do efluente de uma fossa séptica (FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE, 2015).



Figura 15: Vala de infiltração.

Fonte: adaptada de L&L Engenharia Ambiental (2021).

### 4.3.3 Reuso

Nesse contexto, o reuso empregado seria o local, ou seja, utilizado na própria comunidade que produziu os efluentes. Há muitos usos possíveis para utilização da água de reuso, cada um deles com uma determinada qualidade requerida. Aqui, focaremos no reuso agrícola, sobretudo de culturas consumidas cozidas, pois requerem qualidade inferior, quando comparado a outros tipos de atividades, e o contato com o usuário é indireto. Além disso, essa é uma demanda da população de baixa renda, que habita em zonas rurais desprovidas de redes de esgotamento de esgotamento sanitário.

O reuso agrícola apresenta várias vantagens, como: economia de água potável para usos mais nobres, a exemplo do abastecimento doméstico; aumento da oferta de água para demais atividades e regiões; reciclagem de nutrientes, diminuindo o uso de fertilizantes sintéticos; e redução do lançamento de esgotos tratados em corpos hídricos, diminuindo a sua poluição e contaminação (HESPANHOL, 2002).

Apesar das vantagens, existem os riscos que devem ser considerados. Além dos patógenos, que podem causar doenças quando do contato sem os devidos equipamentos de segurança, ainda se tem a concentração de sais, que em excesso podem prejudicar a fertilidade do solo. Dessa forma, é muito importante atentar para o que as autoridades sobre o assunto recomendam acerca dessa prática, observando as legislações pertinentes.

NORMA	APLICAÇÕES	QUALIDADE REQUERIDA	OBSERVAÇÕES
FAO, 1985	Sem restrição de aplicação quanto ao solo e à cultura.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Condutividade elétrica (CE) menor do que 0,7 Ds/m;</li> <li>• Concentração de sódio menor do que 70mg/l;</li> <li>• Sólidos dissolvidos totais em quantidades menores do que 450 mg/l.</li> </ul>	Esta recomendação é relacionada ao grau de salinidade do esgoto a ser reutilizado na irrigação agrícola.
NBR 13969/1997	Reuso nos pomares, cereais, forragens e pastagens para gados. Cultivos com escoamento superficial ou por irrigação pontual.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oxigênio dissolvido em concentração maior do que 2,0 mg/l;</li> <li>• Coliformes fecais em quantidade menor do que 5000 NMP/100ML.</li> </ul>	Aplicações devem ser interrompidas dez dias antes da colheita.
WHO, 2006	Irrigação localizada em plantas que se desenvolvem distantes do nível do solo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ovos de helmintos em quantidade menor ou igual a 1 ovo/l;</li> <li>• Concentração de E.Coli menor do que 104 NMP/100ML.</li> </ul>	-
CETESB N° 31, 2006	Solos bem drenados e cultivo de espécies tolerantes a salinidade.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CE com valores entre 0,75 e 2,9 ds/cm.</li> </ul>	Algumas frutíferas são sensíveis. Observar as concentrações máximas de cloreto e de sódio: 106,5 e 69 mg/L, respectivamente.

Tabela1: Principais normas relacionadas ao reuso agrícola.

Fonte: adaptada de Tonetti e demais autores (2018).



Figura 16: Palma forrageiro sendo irrigada com água de reuso no município de Santana do Seridó (RN) – Projeto Palmas para Santava.

Fonte: adaptada de Brasil (2021).

#### 4.4 Disposição do lodo

O lodo removido em ETEs não pode, de maneira nenhuma, ser lançado em corpos hídricos. Ele deve ser encaminhado para destino sanitário seguro ou ser reaproveitado.

Algumas formas de disposição do lodo excedente são: coleta por caminhão limpa fossa; secagem natural em leito e posterior encaminhamento para aterros sanitários; uso agrícola ou florestal (após secagem); recuperação de solos degradados (após secagem); incineração; reuso industrial, como fabricação de tijolos, cerâmica e cimento (TONETTI et al., 2018):



Figura 17: Leito de secagem de lodo.

Fonte: adaptada de Lodo de esgoto é distribuído a agricultores do norte do Paraná (2009).

#### 4.5 Aproveitamento de esgotos para produção de biogás

A digestão anaeróbia de águas residuárias domésticas (esgotos) em reatores (biodigestores) é uma útil opção para pré-tratamento e destinação final deste tipo de resíduo, visto que, além de reduzir a carga poluidora na qual constitui-se, representa uma importante aplicação, sobretudo para comunidades carentes, diante da possibilidade de

produção de biocombustível como alternativa complementar ao gás de cozinha (GLP).

#### *4.5.1 Biodigestão e biodigestores aplicados ao aproveitamento de esgotos domésticos*

Podendo ser definido como um fluido gasoso, constituído principalmente de metano e gás carbônico, originário da decomposição anaeróbia da matéria orgânica pela ação de bactérias, a tecnologia de produção de biogás, a depender do grau de exigência, é muito antiga, tendo sido inicialmente concebida no século XVI (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2021).

Tecnologias para a produção de biogás têm sido bastante empregadas no Brasil desde a década de 1980, assim como também na Europa, tendo aumentado de 7934 tep ( $9,298 \times 10^9$  L), em 2009, para 14 120 tep ( $1,6548 \times 10^{10}$  L), em 2016 (ACHINAS; ACHINAS; EUVERINK, 2017).

De um modo geral, e para os fins aqui propostos, o ciclo da produção de biogás resulta em dois produtos: a mistura energético-gasosa – biogás propriamente dito –, podendo ser usada como fonte de calor; e o biofertilizante, corrente líquida densa, assim caracterizada em razão da satisfatória concentração de nitrogênio bem como de outros micronutrientes, portanto, útil para a fertilização do solo.

Além dos benefícios do uso desses efluentes, a conversão de matéria orgânica, sobretudo presente nos esgotos sanitários, apresenta também a importante vantagem de contribuir com o saneamento ambiental, minimizando a sobrecarga de sistemas de tratamento ou mesmo sua indesejável disposição em cursos d'água – comprometendo a DBO –, ainda mais em se tratando de áreas de população de baixa renda, onde muitas vezes não há acesso à infraestrutura de esgotamento e muito menos de atendimento à coleta e destinação final do mesmo.

No que se refere ao seu uso para fins energéticos, o biogás, principalmente em razão de sua concentração média de metano que, a depender da matéria-prima, pode situar entre 50% e 75%, e poder calorífico em torno de  $5.500 \text{ Kcal/Nm}^3$ , tem importante apelo socioeconômico diante do potencial de seu aproveitamento, sobretudo para emprego como fonte de cocção de alimentos, principalmente para famílias de baixa renda. Observa-se, nesse caso, que a fonte fóssil tradicional empregada no Brasil diz respeito ao difundido Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), geralmente comercializado em preços sempre crescentes e que impactam significativamente a renda de famílias pobres nas periferias das grandes cidades ou mesmo na zona rural. Tal uso sustentável tem ainda efeito complementar na redução da oferta de combustível fóssil (GLP), bem como a consequente dispensa na distribuição, visto que poderá ser produzido e utilizado localmente e ainda empregando-se tecnologias de fácil operação.

Há de se destacar ainda a possibilidade de emprego do biogás para fins de geração de eletricidade, sobretudo se forem instalados sistemas concentradores de captação de esgotos para tais fins, podendo viabilizar determinada potência a ser instalada empregando-se esse energético como fonte de calor em sistemas geradores de vapor. Outra possibilidade diz respeito ao aproveitamento do efluente do biodigestor que, a depender dos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas, poderia ser empregado como biofertilizante em hortas das comunidades carentes onde esses equipamentos possam estar instalados.

Apesar das possibilidades do emprego de esgotos domésticos em biodigestores para produção de biogás, existem muitas limitações quando o objetivo se refere ao uso em áreas carentes dadas as dificuldades operacionais desses sistemas que geralmente demandam pré-tratamento do lodo em razão de fatores adversos à biodigestão, a exemplo da concentração de sólidos e pH do meio.

#### *4.5.2 Breves fundamentos sobre digestão anaeróbia*

De modo geral, a degradação de compostos orgânicos em meio anaeróbio, principalmente através de diferentes espécies de bactérias, levando à formação de uma mistura líquido-gasosa, ocorre, de modo mais amplo, em duas etapas: acidogênica/acetogênica e metanogênica.

Na primeira, a matéria orgânica – geralmente proteínas, gorduras e carboidratos – é inicialmente submetida ao processo de hidrólise decompondo-se em substâncias menos complexas tais como açúcares, aminoácidos e ácidos orgânicos de cadeias longas, seguida de fermentação acidogênica e acetogênica, gerando predominantemente ácidos orgânicos de cadeias menores, álcoois primários, ácidos lácticos, carboidratos mais simples, acetatos, aminoácidos e hidrogênio livre. Na segunda etapa, por sua vez, o material gerado é igualmente convertido por ação de bactérias metanogênicas em mistura gasosa, em que predomina o metano e dióxido de carbono. A representação esquemática simplificada dessas etapas, sugerida por Wang (2018), pode ser observada na Figura 18.

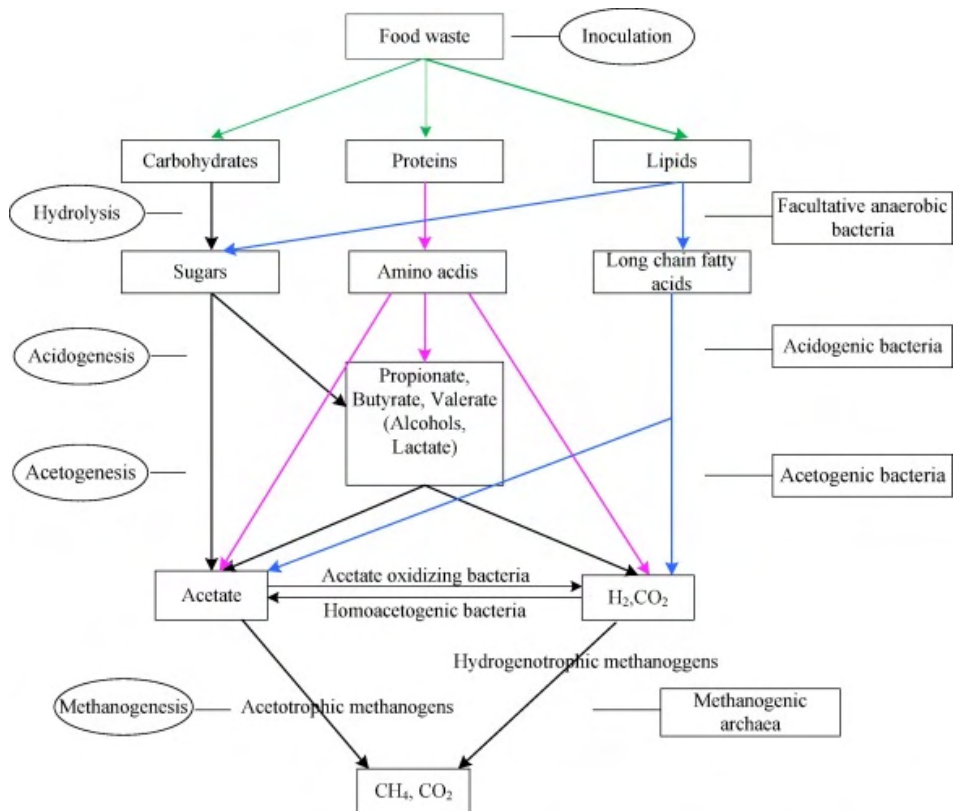
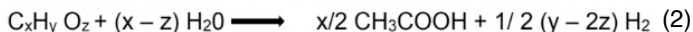
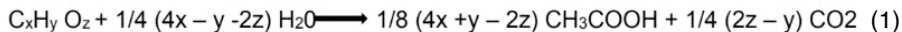


Figura 18: Fases da biodigestão anaeróbia.

Fonte: adaptada de Wang e demais autores (2018).

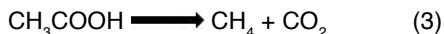
De acordo com o diagrama da Figura 18, pode-se concluir que a biodigestão anaeróbia desagrega-se em quatro fases, quais sejam: hidrólise, acidogênica, acetogênica e metanogênica. Segundo Hameed (2019), os três primeiros estágios são geralmente realizados por bactérias, enquanto a fase metanogênica estaria sob a ação de arqueias – micro-organismos eucariontes, mas com semelhanças às bactérias –, impulsionando essa fase final da fermentação. Ainda segundo Hameed (2019), a hidrólise é um passo importante que limita as taxas de conversão final, pois os produtos da hidrólise são rapidamente consumidos por metanogênicos.

Haandel e Lettinga(1994), por sua vez, afirmam que a acetogênese é a conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam os substratos para a produção de metano. Dependendo do estágio de oxidação da matéria-prima a ser digerida, a formação de ácido acético pode ser acompanhada de dióxido de carbono e hidrogênio. As equações (1) e (2), representam esse processo:



Admite-se, nesses casos, que em misturas de efluentes como esgoto doméstico, ambos os processos (Equações 1 e 2) podem ocorrer simultaneamente, contudo a possibilidade maior seria de formar mais hidrogênio que dióxido de carbono.

Ainda segundo Haandele Lettinga (1994), a metanogênese é a etapa que limitaria a velocidade do processo de digestão como um todo, embora reconheça que em temperaturas inferiores a 20°C a fase de hidrólise possa se tornar limitante. Assim sendo, o metano é produzido por bactérias metanogênicas, quais sejam acetotróficas e hidrogenotróficas, tanto da redução do ácido acético quanto da redução do dióxido de carbono, respectivamente. A Equação 3 e a Equação 4 detalham as respectivas conversões bioquímicas:



Em resumo, os diferentes tipos de bactérias que atuam sobre o efluente doméstico apresentam tanto atividade catabólica quanto anabólica, visto que existe a tanto a formação de produtos da fermentação quanto a formação de novas células, dando origem a diferentes populações bacterianas no reator (biodigestor).

As bactérias que produzem metano a partir de hidrogênio crescem mais rapidamente que aquelas que usam ácido acético, de modo que as metanogênicas acetotróficas geralmente limitam a taxa de transformação de material orgânico complexo presente no esgoto (HAANDEL; LETTINGA, 1994).

#### 4.5.3 Cinética resumida da biodigestão anaeróbia

De acordo com Monod (1948) citado por Haandel & Lettinga (1994), a cinética da digestão anaeróbia, mensurada pela taxa de crescimento de micro-organismos em função do tempo, pode ser resumidamente representada pela Equação 5:

$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_c = \left(\frac{dS}{dt}\right)_u = \mu \cdot X = \mu_m \cdot X \cdot S / (S + K_s) \quad (5)$$

Onde:

X = Concentração de micro-organismos (mg/L);

S = Concentração de substrato (mg DQO/L);

$\mu$  = Constante específica de crescimento (aumento da massa de micro-organismo/



tempo);

$\mu_m$  = Valor máximo de  $\mu$ ;

$b$  = Constante da taxa de decaimento ( $d^{-1}$ );

$K_s$  = Constante de Mood (ou de meia-saturação) ( $mg\ DQO.L^{-1}$ ).

Dessa expressão (5), conclui-se que a taxa de crescimento é diretamente proporcional à concentração de substratos e à concentração dos próprios micro-organismos. Apesar de outras expressões para a velocidade específica de crescimento terem sido sugeridas, a equação de Monod é a mais amplamente aceita e utilizada (BORZANI; LIMA; AQUARONE, 1975).

Pode-se deduzir, aplicando-se limite, que, para concentrações de substrato muito baixas, a razão,  $S/(S+K_s)$ , tende a  $S/K_s$ , de modo que a taxa de crescimento torna-se proporcional à concentração do substrato, ou seja, a concentração de micro-organismos aumenta à medida que  $S$  aumenta. Por sua vez, para concentrações elevadas de substratos, a razão  $S/(S+K_s)$  tende à unidade e, portanto, a taxa de crescimento se torna independente da concentração de substrato, tendendo à máxima velocidade específica de crescimento ( $\mu_m$ ), conforme observado na Figura 19.

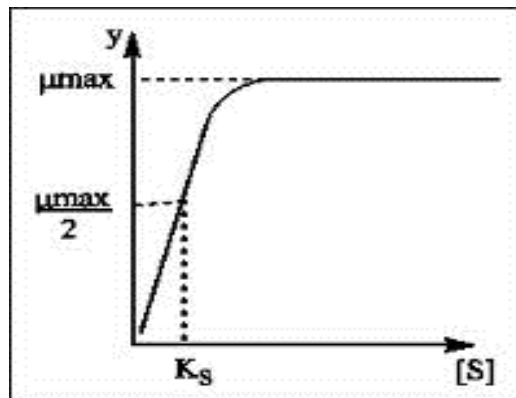


Figura 19: Velocidade de crescimento de bactérias em função do substrato.

Fonte: adaptada de BORZANI; LIMA; AQUARONE, 1975.

Conforme HaandeleLettinga (1994), deve-se ainda considerar a taxa de decaimento de células vivas, em razão da morte das mesmas, podendo ser expressa pela Equação 6.

$$(dX/dt)_d = -b.X \quad (6)$$

Deduz-se, portanto, que o valor de  $S_{min}$ , menor valor de concentração operacional do sistema, como é o caso da geração de biogás em esgotos, pode ser calculado impondo-

se nula a taxa de variação do crescimento de micro-organismos ( $dX/dt = 0$ ), na Equação 6, o que resulta em:

$$S_{min} = \frac{K_s \cdot b}{(\mu_m - b)} \quad (7)$$

Visto que  $K_s$  e  $b$  são constantes, aumentos na taxa específica de crescimento de micro-organismos ( $\mu$ ) deverão diminuir o valor de  $S_{min}$ , limitado ao valor de  $\mu_m$  para que a otimização seja mantida.

#### 4.5.4 Fatores que influenciam na digestão anaeróbia

Vários são os fatores que impactam a degradação microbiana de águas residuárias tal como o próprio esgoto doméstico. Dentre esses fatores, destacam-se: temperatura do meio em decomposição, a acidez (pH) e a presença de materiais tóxicos que inibem a ação bacteriana.

##### 4.5.4.1 Influência da temperatura

De um modo geral, já está consolidado que três grupos de bactérias podem estar presentes em um processo de biodigestão anaeróbia: psicofílicas (inferiores a 20 °C), mesofílicas (entre 20°C e 45°C) e termofílicas (acima de 45°C). Contudo, as do grupo mesofílicas são predominantes e mais relevantes para águas residuárias residenciais (esgotos domésticos), muito embora a temperatura do meio certamente é menor que a faixa mais produtiva, ou seja, em torno de 35°C, de modo que a taxa de digestão, apesar de ser menor, não inviabiliza o emprego dessa matéria-prima para a produção de biogás. Uma possibilidade para se alcançar temperaturas mais recomendadas (30°C a 35°C) pode ser o aquecimento da alimentação do biodigestor, empregando-se o próprio biogás como fonte térmica, o que é muito importante visto que estando o esgoto geralmente à temperatura entre 25°C e 30°C, a taxa de digestão, e conseqüentemente de produção de gás, dobra para cada aumento de 10°C antes de alcançar os 30°C (HAANDEL; LETTINGA, 1994).

##### 4.5.4.2 Influência da acidez (pH) do meio

A acidez do meio é dos mais sensíveis fatores de controle da biodigestão anaeróbia, de modo que pequenas mudanças de faixa podem comprometer significativamente esse desempenho. De acordo com Ventura, Lee e Jahng (2014), os melhores desempenhos da metanogênese situa-se na faixa de pH entre 6,6 a 7,8. Valores de pH predominantemente ácidos poderão favorecer acidogênese inibindo a formação de metano, situação equivalente também ocorre em pH mais elevados (alcalinos). Adição de carbonatos visando a correção de pH mais baixo ou mesmo a redução da alimentação por algum período são geralmente

estratégias frequentes que visam estabilizar as variações do pH.

#### 4.5.4.3 Materiais tóxicos

De acordo com Nogueira (1986), bactérias metanogênicas são muito sensíveis a determinados níveis máximos de concentração de algumas substâncias, a depender do pH do meio, que podem reduzir ou mesmo inibir a formação de metano, dentre as quais, destacam-se íons de amônio (3000 mg/L), ácidos voláteis (2000 mg/L), acetatos (10.000 mg/L) e elementos químicos como sódio (8.000 mg/L), potássio (12.000 mg/L) e cálcio (8.000 mg/L). Em se tratando de emprego de biomassa de águas residuárias domésticas (esgoto), o tradicional emprego de detergentes tem sido um fator muito limitante quando presentes em concentrações superiores a 15 mg/L.

#### 4.5.5 Características termodinâmicas do biogás

O biogás consiste em uma mistura de gases originário da decomposição biológica de matéria orgânica, animal ou vegetal, na ausência de oxigênio, em que predominam o gás metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e pequenas frações de gás sulfídrico e hidrogênio ( $\text{H}_2$ ). Assim, diante dessas características é considerado um biocombustível, portanto, renovável que pode servir como fonte de energia e calor, inclusive substituir o GLP, muito difundido para cocção de alimentos. Detalhes da composição química média do biogás podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2: Composição média do biogás.

Gás constituinte	Em volume (%) de gás produzido
Metano ( $\text{CH}_4$ )	50 - 75
Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )	25 - 40
Hidrogênio	1,0 – 3,0
Nitrogênio ( $\text{N}_2$ )	0,5 – 2,0
Oxigênio ( $\text{O}_2$ )	0,1 – 1,0
Gás sulfídrico	0,1 – 0,5
Outros (incluindo $\text{H}_2\text{O}$ )	0,0 – 0,1

Fonte: adaptada de Zank e demais autores (2020).

Destaca-se, pela Tabela 2, que o metano é predominante na composição do biogás, podendo chegar a 75% v/v, seguido do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) com concentrações de até 40%. Tendo em vista o foco na concentração do metano, sendo possível a desumidificação do biogás, bem como o eficiente controle de fatores como concentração de sólidos e toxicidade do meio, temperatura e pH da mistura em digestão, certamente a participação

desse gás na mistura deverá aumentar.

Dentre as possibilidades de emprego do biogás, destaca-se o seu uso como fonte geradora de calor (queima), dado o seu considerável poder calorífico, visto que, embora menor que o GLP (25.775 Kcal/Nm<sup>3</sup>) e o gás natural (7.600 Kcal/Nm<sup>3</sup>), ainda assim é relevante, mesmo considerando sua composição bruta, sem purificação. A Tabela 3 apresenta o poder calorífico de misturas de gases – metano e dióxido de carbono –, principais componentes do biogás, à medida que se possa aumentar a concentração de metano na mistura.

Composição do biogás	PCI (Kcal/Nm <sup>3</sup> )
0,10CH <sub>4</sub> ; 0,9CO <sub>2</sub>	856,06
0,40CH <sub>4</sub> ; 0,6CO <sub>2</sub>	3.424,29
0,60CH <sub>4</sub> ; 0,4CO <sub>2</sub>	5.136,46
0,65CH <sub>4</sub> ; 0,35CO <sub>2</sub>	5.564,50
0,75CH <sub>4</sub> ; 0,25CO <sub>2</sub>	6.420,59
0,95CH <sub>4</sub> ; 0,05CO <sub>2</sub>	8.132,78
0,99 CH <sub>4</sub> ; 0,01CO <sub>2</sub>	8.475,23

Tabela 3: Poder Calorífico Inferior (PCI) em função da composição do biogás.

Fonte: adaptada de Passamani e Lima (2012).

Frações mais frequentes na composição do biogás são intermediárias em termos da participação de metano, ficando em torno de 70%, de modo que seu poder calorífico geralmente varia entre 5.136,46 Kcal/Nm<sup>3</sup> a 6.420,59 Kcal/Nm<sup>3</sup>, para concentrações de metano entre 60% e 75%, respectivamente, em operações regulares do biodigestor.

Tais características reforçam a possibilidade do emprego do biogás como fonte geradora de calor para a preparação de alimentos em residências de famílias de baixa renda, tendo ainda importante efeito complementar de sustentabilidade ambiental, visto que a equivalente quantidade de esgoto doméstico geradora deste gás, se não destinado para fins tão nobres, certamente seria disposto em condições de fermentação natural no ambiente, liberando gases de efeito estufa, sem antes ter sido útil à sociedade, principalmente populações pobres.

#### *4.5.6 Modelos de biodigestores adequados ao uso por populações carentes*

Biodigestores podem ser entendidos como um reator no qual ocorrem transformações bioquímicas de matéria-orgânica (biomassa) por micro-organismos, predominantemente bactérias. A depender, portanto, da matéria-prima a ser digerida, vários modelos de

equipamentos com essa finalidade encontram-se disponíveis, sendo aqui apresentado três possibilidades, conforme a seguir descritos.

#### 4.5.6.1 Modelo DAFA

O mais difundido digester anaeróbico adequado para converter, em larga escala, esgotos domésticos em biogás refere-se ao Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente (DAFA) (HAANDEL; LETTINGA, 1994), cuja estrutura é apresentada na Figura 20.

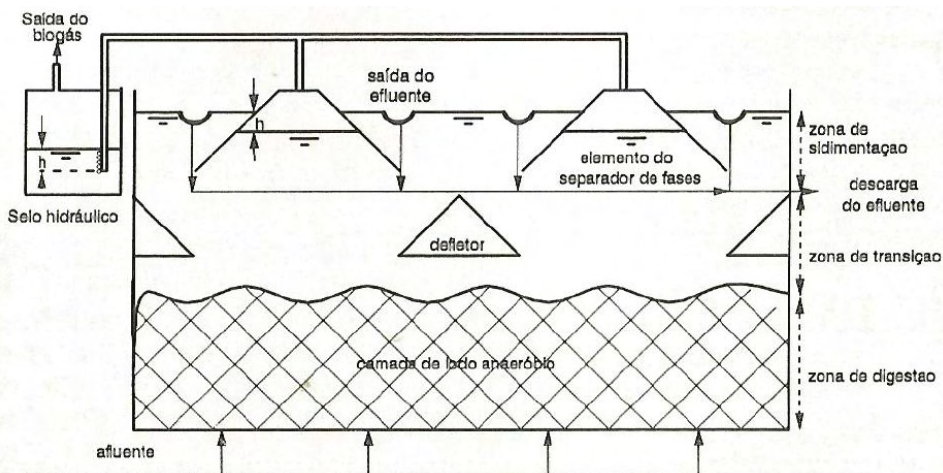


Figura 20: Modelo de biodigestor DAFA.

Fonte: Haandel e Lettinga (1994).

Conforme descrito por Haandel e Lettinga (1994), o principal componente desse reator diz respeito ao separador de fases, o qual divide o equipamento em duas partes: inferior e superior. Na região inferior, predomina a manta de lodo responsável pela digestão anaeróbia, enquanto na fase superior ocorre a sedimentação. O esgoto fluido adentra o DAFA em sua região inferior iniciando um fluxo ascendente através da região de sedimentação. Uma vez no interior do digester, ocorre a mistura do material orgânico da água residuária (esgoto) com o lodo contido na zona de digestão anaeróbia, onde ocorre a formação do biogás. Ainda em ascensão, o fluido alcança e atravessa o separador de fases através de aberturas projetadas para o mesmo. Consta-se que a área de percolação do material em movimento aumenta na medida em que este se aproxima da superfície mais líquida presente na superfície de contato do separador, impondo redução de velocidade dessa fase. Nesse movimento, flocos de lodo que possam ser arrastados passam para a parte superior do reator, sendo depositados sobre a superfície inclinada do separador até que em razão do peso e do efeito da gravidade retornam ao fundo (zona de digestão). Admite-

se que a zona de sedimentação acima do separador de fases resulte na retenção do lodo, promovendo expressivo volume de massa em que ao mesmo tempo descarrega efluente com baixa concentração de sólidos. Haandel e Lettinga (1994), citando experimentos em laboratório, indicam reduções quase totais de Demanda Química de Oxigênio (DQO) para tempos de residência superiores a 20 horas.

À medida que os gases são formados, naturalmente tendem a ascender o reator, atravessando uma zona de transição pastosa-fluida alcançando a fase líquida contida no separador, formando a fase líquido-gás que; em razão da turbulência, os gases despreendem-se formando uma fase predominantemente de biogás. Com o objetivo de evitar a perda de biogás pelas saídas laterais do separador, o projeto do DAFA prevê a instalação de defletores abaixo da zona de sedimentação e acima da zona de transição, forçando a fase gasosa a passar através de conduto coletor de gás com selo hidráulico.

Naturalmente que projetos como o DAFA implicam custos que certamente devem ser assumidos pela iniciativa privada, a concessionária do serviço público, visto que dificilmente comunidades carentes, ainda que em modo cooperado, poderão assumir além das óbvias complexidades técnicas envolvidas na construção e operação desses equipamentos.

#### 4.5.6.2 Modelo indiano acoplado com campânula de contenção de gás

Os mais tradicionais biodigestores de certa forma artesanais e muito popularizados no Brasil dizem respeito ao intitulado de “modelo indiano”. Tais equipamentos, geralmente construídos em material mineral (alvenaria), blocos ou pedras ligados por cimento ou argamassa, constituem-se em três partes componentes: i) tanque cilíndrico; ii) tanques retangulares; iii) acumulador de gás (gasômetro). A Figura 21 ilustra com o seu correspondente desenho um biodigestor em “modelo chinês”.

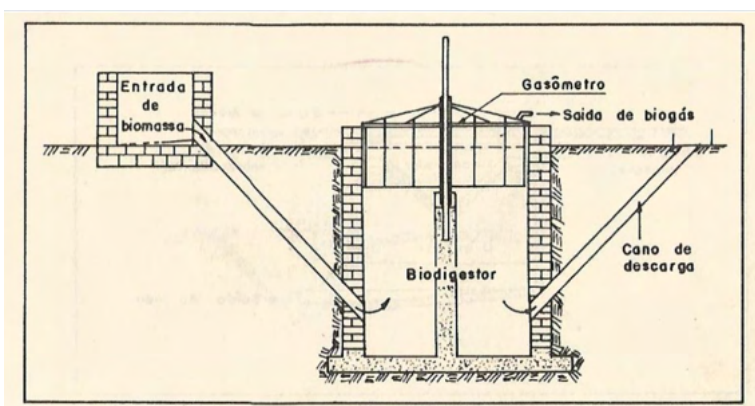


Figura 21: Modelo de biodigestor indiano.

Fonte: adaptada de Nogueira (1986).

O tanque cilíndrico pode ser compreendido como um reator, visto que consiste no meio em que deverá ocorrer a decomposição da biomassa, a qual, em forma fluido-pastosa é alimentada no tanque retangular que, após a digestão e continuamente, é transferida por diferença de pressão gravitacional ao tanque retangular de saída. Sobre o diâmetro da base do reator (tanque cilíndrico), projeta-se uma parede divisória até à altura de  $2/3$ , que o segrega em dois compartimentos: o que recebe gradualmente e inicia o processo fermentativo e o que complementa a digestão, transferindo a massa fluido-pastosa digerida à caixa de contenção desse material. No ponto central dessa parede, ergue-se um eixo que servirá de guia para a campânula contentora do biogás, tendo a típica função de um gasômetro. Assim, à medida que o gás é gerado e gradualmente acumulado, exerce pressão sobre a mesma, deslocando-a ao longo do eixo, o qual ocupa todo o volume entre o meio em digestão e a superfície dessa campânula. O sentido do fluxo gasoso então se inverte a partir do instante em que o gás passa a ser consumido para a queima – geralmente cocção de alimentos e/ou iluminação –, de modo que o peso da campânula exerce pressão sobre essa mistura gasosa, facilitando a combustão nos queimadores.

O contínuo movimento da campânula, contudo, implica em frequentes problemas nos pontos de contato das superfícies eixo-campânula, exigindo também frequentes ações de manutenção e disposição de pesos sobre a mesma a fim de recompor a pressão à medida em que a fração molar do gás diminui. Para evitar esse problema, dispõe-se de modelo alternativo de gasômetro que opera de modo independente da câmara de digestão.

#### *4.5.6.3 Modelo indiano com gasômetro independente da câmara de digestão*

Este modelo é vinculado a um projeto de acumulador de gás que opera em separado do tanque digestor, cujo desenho contém dois recipientes sobrepostos, os quais se comunicam por dois condutos cilíndricos, por onde ocorre o fluxo de água e de gás, conforme ilustrado na Figura 22.



Figura 22: Modelo de biodigestor com gasômetro independente da câmara digestora.

Fonte: Protótipo desenvolvido pelo autor.

O carregamento do biogás no gasômetro dá-se de modo contínuo, sendo este fluido, que inicialmente fica contido no plano superior acima da parede divisória do biodigestor, transferido por conduto ao gasômetro à medida que é produzido. Inicialmente, o volume inferior deste equipamento (gasômetro) encontra-se totalmente ocupado com água e, com o fluxo gasoso sobre pressão exercida pelo acúmulo de gás no biodigestor, este pressiona a coluna d'água de modo que um volume aquoso correspondente ascende à parte superior do gasômetro até alcançar o equilíbrio hidrostático com a ocupação do gás em seu interior. Posteriormente, durante a liberação do gás para uso (queima), a pressão interna reduz, de modo que a coluna d'água percola a tubulação hídrica, acendendo no reservatório e, ao ocupar e expulsar o gás de seu interior, este passa a ser utilizado nos queimadores (fogões, por exemplo). Esse processo tem contínua operação em regime estacionário à medida que a alimentação de biomassa, a exemplo de esgoto, seja feita no tanque de carga.

De acordo com o funcional *design* do equipamento e as facilidades de encontrar seus materiais de construção, sobretudo alvenaria, cimento, areia conexões metálicas e plásticas, bem como tradicionais válvulas de fluxo de gás, fica evidente tratar-se de proposta de equipamento mais fácil de ser instalado com os propósitos de atender populações de baixa renda, muito embora ainda exigiria a participação da concessionária de saneamento.



## 5 . CONCLUSÕES

O atendimento às populações de baixa renda com esgotamento sanitário não é tão simples, pois estão inseridas em vários contextos: comunidades isoladas geograficamente, assentamentos rurais, instaladas até em áreas de risco geológico, ultrapassando a competência do saneamento.

No entanto, historicamente, essas populações já sobrevivem com todo tipo de escassez, e não devem continuar dessa forma, devendo sim serem inseridas nos planos municipais de saneamento, sendo atendidas dentro do seu contexto geográfico, econômico e social.

As tecnologias apresentadas no presente capítulo, portanto, demonstram ser factíveis de aplicação nessas comunidades, e contribuir ao disposto na Lei nº 14.026 que estabelece o atendimento a toda a população brasileira com 90% de coleta e tratamento de esgotos até 2033, sobretudo considerando o estabelecido no referente normativo que prever a possibilidade do prestador do serviço de saneamento, utilizar métodos alternativos e descentralizados para a coleta e tratamento de esgotos com vistas a garantir a economicidade desse serviço.

Constata-se, portanto, conforme aqui evidenciado, que existem tecnologias simplificadas, capazes de remover matéria orgânica, sólidos em suspensão e micro-organismos, diminuindo assim o passivo ambiental e preservando a saúde dos usuários, além de agregar valor final a este efluente (esgoto), passando a ser matéria-prima para a produção de energia térmica (biogás), útil para populações carentes e consolidadas em núcleos urbanos geralmente nas periferias de grandes cidades.

## REFERÊNCIAS

ACHINAS, S.; ACHINAS, V.; EUVERINK, J-W. A technological overview of biogás production from biological waste. **Engineering**, Bristol, v. 3, n. 3, p. 299-307, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13.969**: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7.229**: projeto, construção e elaboração de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

BORZANI, W.; LIMA, U.; AQUARONE, E. **Engenharia bioquímica**. São Paulo: Blucher, 1975.

BRASIL. **Atlas Esgoto**. Brasília, DF, [2017]. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 23 dez. 2021.

BRASIL. **Detalhes do projeto**. Brasília, DF, [2021]. Disponível em: [https://premio.ana.gov.br/Edicao/projeto-detalle.aspx?id=129&\\$ListID=A2CB8C6D-6FE2-4E67-BD57-5254DBCF88DD](https://premio.ana.gov.br/Edicao/projeto-detalle.aspx?id=129&$ListID=A2CB8C6D-6FE2-4E67-BD57-5254DBCF88DD). Acesso em: 23 nov. 2021.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 8 jan. 2007. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm). Acesso em: 02/11/21.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm). Acesso em: 02/11/2021.

CAMPOS, J. R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Biogás. **CETESB**, São Paulo, 2021. Disponível em <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/>. Acesso em: 12 maio 2021.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Instrução técnica nº 31**: aplicação de água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. São Paulo: CETESB, 2006.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Waterquality for agriculture**. Rome: FAO, 1985.

FORTLEV. [S. l.], [20--]. Disponível em: <https://www.fortlev.com.br/produtos/meio-ambiente/biodigestor-500l-esgoto-dia/>. Acesso em: 3 nov. 2021.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS – CETEC. Prática de implantação de disseminação de tecnologias apropriadas ao meio Rural: Projeto Juramento. Belo Horizonte: Fundação CETEC, 1985

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Brasília, DF: Funasa, 2015. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/-/asset\\_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/manual-de-saneamento?inheritRedirect=false](http://www.funasa.gov.br/biblioteca-eletronica/publicacoes/engenharia-de-saude-publica/-/asset_publisher/ZM23z1KP6s6q/content/manual-de-saneamento?inheritRedirect=false). Acesso em: 3 nov. 2021.

GALINDO, N.; SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P. *et al.* **Perguntas e respostas**: fossa séptica biodigestora. Brasília, DF: Embrapa, 2010. (Documento 49)

HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**: um manual para regiões de climas quentes. João Pessoa: Ed. UFPB, 1994.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

JAVAREZ JÚNIOR.; DE PAULA JÚNIOR, D. R.; GAZZOLA, Jonathan. Avaliação do desempenho de dois sistemas modulares no tratamento anaeróbico de esgotos em comunidades rurais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 794-803, set/dez,2007.

L&L ENGENHARIA AMBIENTAL. Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://lengenhariaambiental.com.br/category/efluentes-sanitarios/>. Acesso em: 04/11/21

LARSEN T. A.; UDERT. K. M.; LIENERT, J. **Source separation and decentralization for wastewater management**. London: IWA Publishing, 2013.

LEMES, J. L. V. B. *et al.* Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural. **Acadêmica: Ciência Animal**, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 169-179, 2008.

LIBRALATO, G.; GHIRARDINI, A. M. V.; AVEZZÙ, F. 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.

LODO de esgoto é distribuído a agricultores do norte do Paraná. **Revista Dae**, São Paulo, 11 maio 2009. Disponível em: <http://revistadae.com.br/site/noticia/1057-Lodo-de-egoto-e-distribuido-a-agricultores-do-Norte-do-Parana>. Acesso em: 4 nov. 2021.

LOMBARDO, P. **Cluster wastewater systems planning handbook**: project n° WUHT-01-45: prepared for the national de centralized water resources capacity development project. Newton: Lombardo Associates, 2004.

MADENOĞLU, T. G. *et al.* Kinetic analysis of methane production from anaerobic digestion of water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) with waste sludge. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Oxford, v. 94, n. 6, p. 1893-1903, 2019.

MONOD, J. La Technique de culture continue: theori et applications. **Annales de l'Institut Pasteur**, Paris, v. 79, n. 4, p. 390-410, 1948.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão**: a alternativa energética. São Paulo: Ed. Nobel, 1986.

PASSAMANI, F. C.; LIMA, A. C. G. **Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator UASB da ETE-UFES**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

PESQUISA Saneamento básico em áreas irregulares – relatório Brasil. São Paulo: Trata Brasil: OAB: Reinfra, 2016.

PESSÔA, C. A.; JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RAMOS, D. A. *et al.* Tratamento de esgoto por zona de raízes: uma revisão de literatura. *In: FÓRUM DE ENSINO, PESQUISA, EXTENSÃO E GESTÃO*, 11., 2017, Montes Claros. **Anais[...]**. Montes Claros: UEMC, 2017.

RODRÍGUEZ, L. B. El tratamiento descentralizado de aguas residuales domésticas como alternativa sostenible para el saneamiento periurbano en Cuba. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, vol. XXX, n°. 1, 2009.

SANTOS, R. F. *et al.* Abordagem descentralizada para concepção de sistemas de tratamento de esgoto doméstico. **Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura**, São Paulo, n. 16, p. 35-44, 2015.

- HAMEED, S. *et al.* Microbial population dynamics in anaerobic digestion in municipal wastewater sludge-temperature stages. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, Oxford, v. 94, n. 6, 2019. Não paginado.
- SERAFIM, M. P.; DIAS, R. B. Tecnologia social e tratamento de esgoto na área rural. In: COSTA, A. B. (org.). **Tecnologia social e políticas públicas**. São Paulo: Instituto Polis, 2013. p. 184-206.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Painel de informações sobre saneamento. **SNIS**, Brasília, DF, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/>. Acesso em: 4 nov. 2021.
- SOUSA, M. Prefeitura de Guapimirim instala fossas ecológicas em residências. **Ciclo Vivo**, [s. l.], 18 jun. 2021. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/mao-na-massa/permacultura/guapimirim-instala-fossas-ecologicas/>. Acesso em: 4 nov. 2021.
- SURIYACHAN, C.; NITIVATTANANON, V.; AMIN NURUL, A.T.M. Potencial of decentralized wastewater management for urban. *Habitat Internacional*, v.36, n.1, p 85-92, 2012.
- TONETTI, A. L. *et al.* **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para escolha de soluções**. Biblioteca UNICAMP, Campinas, 2018. Disponível em: [https://cfg.com.br/up\\_catalogos/Livro-Tratamento-de-Esgotos-Domesticos-em-Comunidades-Isoladas-ilovepd.pdf](https://cfg.com.br/up_catalogos/Livro-Tratamento-de-Esgotos-Domesticos-em-Comunidades-Isoladas-ilovepd.pdf). Acesso em: 2 nov. 2021.
- TRATAMENTO de esgoto por zona de raízes. **Prefeitura de Angra dos Reis**, Angra dos Reis, 7 nov. 2012. Disponível em: [https://www.angra.rj.gov.br/noticia.asp?vid\\_noticia=26042&IndexSigla=imp](https://www.angra.rj.gov.br/noticia.asp?vid_noticia=26042&IndexSigla=imp). Acesso em: 4 nov. 2021.
- VALENTIM, M. A. A. **Uso de leitos cultivados no tratamento de efluentes de tanque séptico modificado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1999.
- VAN KAICK, T. S. **Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná**. 2002. 128 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- VENTURA, J.; LEE, J.; JAHNG, D. A comparative study on the alternating mesophilic and thermophilic two-stage aerobic digestion of food waste. **Journal of Environmental Sciences**, New York, v. 26, n. 6, p. 1274-1283, 2014.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2005.
- WANG, P.; WANG, H.; QIU, Y. *REN, L.; JIANG, B.* Microbial characteristics in anaerobic digestion process of food waste for methane production – A review. **Bioresource Technology**, v. 248, p. 28-36, 2018.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. Geneva: WHO, 2006. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950>. Acesso em: 4 nov. 2021.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Progress on sanitation and drinking water**: 2015. Geneva: WHO: UNICEF, 2015.
- ZANK, J. C.; BRANDT, L, S.; BEZERRA, R. C. *et al.* As características do biogás e avaliação de substituição de combustíveis. **Exacta**: Engenharia de Produção, v. 18, n. 3, p. 502-516, 2020.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**STEFANO MAMBRETTI** - Engenheiro civil com doutorado em Engenharia Hidráulica, professor de Hidráulica do Politécnico de Milão. É professor adjunto e membro do Board of Directors do Wessex Institute of Technology. Há 25 anos, exerce atividade profissional no setor de redes de água. Foi professor visitante da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e consultor da OPAS.

**ADEMAR NOGUEIRA DO NASCIMENTO** - Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Foi professor no Departamento de Engenharia Química da UFBA, onde lecionou as disciplinas Microbiologia Industrial e Processos da Indústria Química Orgânica. Pesquisador na Empresa de Pesquisa Agropecuária da Bahia, gerenciando a produção de etanol combustível em microdestilarias, oportunidade em que operou biodigestor de bancada, inovando design tradicional desses reatores, segregando o biogás em gasômetros independentes da câmara de digestão. Atualmente atua na área de Modelagem Matemática no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial e o IHAC.

## SOBRE OS AUTORES

**GIANFRANCO BECCIU** - Engenheiro civil com doutorado em Engenharia Hidráulica, professor de Construções hidráulicas do Politécnico de Milão. Autor de mais de cem publicações científicas e diretor científico de inúmeros projetos de pesquisa.

**PATRÍCIA CAMPOS BORJA** - Engenheira Sanitarista e Ambiental, MSc.e doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professora associada do Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica da UFBA. Líder do grupo de pesquisa Saneamento e Saúde Ambiental, certificado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Estágio pós-doutoral no Instituto de Governo e Políticas Públicas da Universidade Autônoma de Barcelona e no Centro para Pesquisa Ambiental e Sustentabilidade na Universidade Nova de Lisboa.

**LUCAS CUSTÓDIO** - Bacharel em Direito pela Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo (USP), formado pela Escola de Formação Pública da Sociedade Brasileira de Direito Público e pesquisador vinculado ao Núcleo de Constituição e Justiça da Fundação Getúlio Vargas (FGV).É advogado especializado em infraestrutura e energia.

**LAFAYETTE DANTAS DA LUZ** - Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Bahia (UFBA), especialista em Irrigação pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), mestre em Recursos Hídricos pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas(IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e PhD em Engenharia Ambiental pela Cornell University (EUA). Professor Titular do Departamento de Engenharia Ambiental da UFBA. Área de maior interesse: Águas. Linhas temáticas de interesse: ec hidrologia, recuperação de rios, vazões ambientais e ecológicas, análise de sistemas de recursos hídricos, riscos e desastres hidrológicos, manejo e drenagem de águas urbanas, modelagem matemática. Editor da Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais – Revista GESTA..

**ALESSANDRO DE CARLI** - Engenheiro ambiental emprestado para economia ambiental. Nascido em 1973, concluiu sua graduação no Politecnico di Milano em Engenharia Ambiental e de Planejamento Territorial em 1999. Desde 2000, é pesquisador em Economia e Política da Água na Universidade Bocconi (2000-2010 IEFE; 2011-2018 CERTeT; de 2019 VERDE). Desde 2016, é o diretor da Fundação AquaLAB, centro de pesquisa multidisciplinar em recursos hídricos e serviços hídricos. Esteve envolvido em vários projetos nacionais e da UE (União Européia). De 2008 a 2013, foi coordenador do mestrado em Gestão Verde, Energia e Responsabilidade Social Corporativa (MaGER) da Universidade Bocconi. É um dos membros fundadores da Associação Italiana de Engenheiros Ambientais (AIAT). Desenvolve atividades de pesquisa e consultoria no campo da Economia Ecológica aplicada aos recursos hídricos de forma a conciliar o desenvolvimento territorial com a proteção dos recursos ambientais.

**ABELARDO DE OLIVEIRA FILHO** - Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da UFBA, com 44 anos de experiência na área de água e saneamento e professor do curso de pós-graduação em Direito Administrativo Municipal da Universidade Católica de Salvador (UCSal). Foi secretário nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (2003-2007); presidente da Empresa Baiana de Águas

e Saneamento (Embasa) (2007-2015); Diretor no Brasil e membro do Conselho Executivo Mundial da Public Services International (PSI) (1997-2002). Atualmente, é conselheiro do Conselho de Administração da Embasa e do Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento (Ondas).

**CAMYLYN LEWIS** - BEng Honors em Engenharia Civil pela Oxford Brookes University, Inglaterra. Engenheira Profissional na Comunidade da Virgínia e Gerente Certificado de Floodplain. Engenheira profissional com mais de 25 anos de experiência em água, incluindo mais de 10 anos em gerenciamento de águas pluviais. Ampla experiência com aprovação e licenciamento de planos de Fairfax County, incluindo revisão e análise de planos de VDOT (Virginia Department of Transportation) na área de risco de inundação especial e planos do desenvolvedor para águas pluviais (melhores práticas de gerenciamento BMP (Best Management Practice) e cálculos de qualidade da água da Baía de Chesapeake CBAY).

**MARIANA MARCHIONI** - Pesquisadora no Politecnico di Milano na Seção de Ciência e Engenharia da Água (SIA) do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DICA). Atua como consultora e projetista na área de Drenagem Urbana, principalmente com os pavimentos permeáveis. Foi engenheira na área de mercado da Associação Brasileira de Cimento Portland, sendo responsável pelo projeto pavimentos permeáveis e outros projetos ligados à sustentabilidade de sistemas construtivos. Participou da elaboração da Norma Brasileira de Pavimentos Permeáveis de Concreto (ABNT NBR 16416) e revisão da norma de pavimento intertravado. Lecionou no curso de Arquitetura do Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU). Facilitadora no blog da ConstruLiga.

**LAYANE PRISCILA DE AZEVEDO SILVA** - Bióloga pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), e Mestre em Engenharia Sanitária pela mesma universidade. Atua na área do Saneamento Ambiental desde 2006, com ênfase nas subáreas de tratamento de água, tratamento de efluentes sanitários e industriais, reuso e microbiologia ambiental. Atualmente exerce o cargo de Analista na empresa A&E Saneamento, sendo também integrante do Comitê de Pesquisa & Desenvolvimento da mesma organização.

**LUIZ FERNANDO ORSINI YAZAKI** - Engenheiro civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), foi coordenador de projetos da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica(FCTH) da USP, coordenador da Cooperação Técnica Brasil-Itália em Saneamento Ambiental pelo Ministério das Cidades, Gerente de projetos da CH2M Hill do Brasil, entre outros. Atualmente, é consultor em saneamento, meio ambiente, recursos hídricos e manejo de águas pluviais, tendo participado nos últimos anos de importantes projetos como o Diagnóstico Nacional de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas (SNIS Drenagem), Plano Nacional de Reuso de Efluentes Sanitários Tratados, Revisão do Manual de Drenagem do Distrito Federal e Plano de Modernização do Tratamento de Esgotos na Região Metropolitana de São Paulo. Exerce também os cargos de coordenador nacional da Câmara Técnica de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental(ABES) e diretor do Departamento de Infraestrutura de Saneamento da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp).

**DAVID W. SCHNARE** - Advogado, cientista, autor e editor de livros, capítulos e artigos sobre Gestão Ambiental, Política e Direito, refletindo uma carreira federal de 37 anos como um profissional de Ciência e Gestão Ambiental e palestrante com experiência no setor privado em consultoria e litígio local, estadual, federal e gestão de risco ambiental internacional e questões ambientais de mercado livre. Atualmente, ele atua como diretor de Políticas e Regulamentações da Pinnacle Waste Solutions, LLC (Limited Liability Company) e é membro do Instituto Thomas Jefferson de Políticas Públicas.

**SARA ZANINI** - Graduada em 2019 em M.Sc. e Doutorado em Economia Ambiental e Alimentar pela Universidade Milano-Statale, com especialização em Economia de Recursos Naturais, Energia e Mudanças Climáticas. Durante 2020, trabalhou no âmbito da economia da água como pesquisadora júnior no Centro de Geografia, Recursos, Meio Ambiente, Energia e Redes (Green) da Universidade Bocconi em Milão, no qual colaborou em um projeto europeu dedicado ao reuso de água.



 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

Gestão e Tecnologia do

# SANEAMENTO BÁSICO:

Uma abordagem na Perspectiva  
Brasileira e Internacional

  
Ano 2022

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)  
 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)  
 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

Gestão e Tecnologia do

# SANEAMENTO BÁSICO:

Uma abordagem na Perspectiva  
Brasileira e Internacional



  
Atena  
Editora  
Ano 2022