

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS**

JÉSSICA DE CARVALHO SCHROEDER

**TRATAMENTO ALTERNATIVO DO ESGOTO NEGRO EM
RESIDÊNCIAS RURAIS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

MEDIANEIRA

2018

JÉSSICA DE CARVALHO SCHROEDER



**TRATAMENTO ALTERNATIVO DO ESGOTO NEGRO EM
RESIDÊNCIAS RURAIS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Gestão Ambiental em Municípios - Polo UAB do Município de Foz do Iguaçu, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Dr. Fabio Orssatto.

MEDIANEIRA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

Tratamento alternativo do esgoto negro em residências rurais

Por

Jéssica de Carvalho Schroeder

Esta monografia foi apresentada às 17 h do dia **09 de agosto de 2018** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios - Polo de Foz do Iguaçu, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Fabio Orssatto.
UTFPR – Câmpus Medianeira
(orientador)

Prof^a. Dra. Carla Adriana Pizarro Schmidt.
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof^a. Dra. Marcia Antonia Bartolomeu Agustini.
UTFPR – Câmpus Medianeira

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-.

Dedico este trabalho aos meus pais, Cladimir e Marcia, pelo constante incentivo e apoio em cada etapa escolar buscada.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela fé e perseverança para vencer os obstáculos.

Aos meus pais, pela orientação, dedicação e incentivo nessa fase do curso de pós-graduação e durante toda minha vida.

A meu esposo Cleo e nosso filho Davi, o meu muito obrigado pelo carinho e paciência em mais uma etapa de minha formação acadêmica.

Ao meu orientador professor Dr. Fabio Orssatto pelas orientações ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores do curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios, professores da UTFPR, Câmpus Medianeira.

Agradeço aos tutores presenciais e a distância que nos auxiliaram no decorrer da pós-graduação.

Enfim, sou grata a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desta monografia.

“A maior recompensa para o trabalho do homem não é o que ele ganha com isso, mas o que ele se torna com isso” (JOHN RUSTIKIN).

RESUMO

SCHROEDER, Jéssica de Carvalho. **Tratamento alternativo do esgoto negro em residências rurais**. 2018. 50p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

Nesse trabalho, abordaram-se os tipos de tratamentos alternativos para esgotamento rural como tema. Seu objetivo foi apontar o tratamento alternativo de esgoto negro mais eficiente levando em conta a relação custo *versus* benefício para implantação do projeto em propriedades rurais. A metodologia empregada foi pesquisa bibliográfica, com característica de método exploratório, na busca por aprimorar conhecimento sobre o assunto-tema abordado. Na revisão bibliográfica, contemplou-se o saneamento e abastecimento de meio rural, caracterização do esgoto doméstico, tratamento ecológico do esgoto sanitário, e, por fim, priorizaram-se pesquisas empíricas, analisadas em relação com a legislação nacional, com abordagem sobre custo-custeio de projetos alternativos no tratamento do esgotamento sanitário no meio rural paranaense. Constatou-se que a relação custo *versus* benefício do sistema alternativo de tratamento do esgotamento rural mais discutido na literatura é do tipo jardim filtrante, teoricamente definido pela Embrapa, e empiricamente avaliado sob a denominação de Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes (ETERZ). Os dados empíricos apurados nas pesquisas mostram que esse sistema, até então, revela-se como o que melhor se adequa às condições do esgoto negro produzido no meio rural paranaense.

Palavras-chave: Saneamento. Esgotamento Sanitário Rural. Tecnologias Alternativas.

ABSTRACT

SCHROEDER, C. Jéssica. **Alternative treatment of black sewage in rural residences**. 2018. 50p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.

In this work, we addressed the types of alternative treatments for rural exhaustion as a theme. Its objective was to identify the alternative treatment of black sewage more efficient taking into account the cost versus benefit relation for implantation of the project in rural properties. The methodology used was a bibliographic research, with characteristic of an exploratory method, in the search to improve knowledge about the subject matter addressed. In the bibliographic review, it was contemplated sanitation and supply of rural areas, characterization of domestic sewage, ecological treatment of sanitary sewage was considered, and, finally, empirical researches, analyzed in relation to national legislation, were approach on cost-costing of alternative projects in the treatment of sanitary sewage in the rural environment of Paraná. It was verified that the cost versus benefit relationship of the alternative treatment system of the rural exhaustion most discussed in the literature is of the type filter garden, theoretically defined by Embrapa, and empirically evaluated under the denomination of Sewage Treatment Station by Roots Zone (ETERZ). The empirical data verified in the researches show that this system, until then, reveals itself as the one that best suits the conditions of the black sewage produced in the rural environment of Paraná.

Keywords: Sanitation. Rural Sanitary Exhaustion. Alternative Technologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Abastecimento de água nos domicílios brasileiros por zona	15
Figura 2 – Esgotamento sanitário nos domicílios rurais brasileiros	17
Figura 3 – Desenho esquemática de vala de filtração	23
Figura 4 – Desenho esquemática de vala de infiltração	23
Figura 5 – Desenho esquemática de sumidouro	24
Figura 6 – Desenho esquemática do sistema de fossa séptica biodigestora	26
Figura 7 – Imagem do sistema de jardim filtrante	26
Figura 8 – Desenho esquemática do sistema de fossa verde	27
Figura 9 – Desenho esquemática do sistema <i>wetland</i> horizontal (a), TEvap e suas camadas (b)	28
Figura 10 – Desenho esquemático do perfil estrutura do ETE	32
Figura 11 – Fossa séptica ecológica com pneus construção (a) e conclusão (b)	34
Figura 12 – Fossa séptica ecológica com uso de pneus	36
Figura 13 – Protótipos separador de efluentes (a) e biorreator tubular (b)	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características físicas dos esgotos domésticos	19
Quadro 2 – Características químicas dos esgotos domésticos Erro! Indicador não definido.	
Quadro 3 – Características biológicas dos esgotos domésticos	20

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BET	Bacia de Evapotranspiração
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono orgânico total
DBO	Demanda biológica/bioquímica de oxigênio
DQO	Demanda química de oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETE ou ETEZR	Estação de Tratamento Esgoto por Zona de Raízes
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OMS / OMS	Organização Mundial da Saúde / <i>World Health Organization</i>
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio
PNSR	Programa Nacional de Saneamento Rural
PPA	Plano Plurianual
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
TEvap	Tanque de evapotranspiração
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	13
3 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 MEIO RURAL, SANEAMENTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	14
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO	18
3.3 TRATAMENTOS ECOLOGICOS DE ESGOTO SANITÁRIO.....	21
3.3.1 Sistemas de Tratamento de Esgoto Sanitário	21
3.3.2 Sistemas Alternativos de Tratamento de Esgoto Sanitário.....	24
3.4 PROJETOS ALTERNATIVOS NO TRATAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO RURAL	30
3.4.1 Propostas Alternativas de Saneamento Rural no Paraná	31
3.4.2 Custeio-financiamento e Política de Saneamento Básico	38
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Há que se ponderar que toda a extensão aquífera necessita de cuidados mediante o uso interligado dos recursos hídricos (SPERLING, 2005).

Os esgotos *in natura*, que contaminam os corpos d'água, trazem diversos prejuízos e inconvenientes para o meio ambiente como a diminuição do oxigênio dissolvido causando prejuízos à vida aquática, toxicidade, a cor e turbidez interferem na fotossíntese, o excesso de nutrientes leva a eutrofização e outros causados pelas diversas substâncias que podem conter no rejeito contaminante (NUVOLARI *et al.*, 2003). Já para a população humana, esse tipo de esgoto gera maior incidência de doenças, acarreta aumento da mortalidade infantil, redução da média de vida das populações, aumento de custos hospitalares além dos incômodos das próprias doenças (FUNASA, 2012; JORDÃO; PESSÔA, 1995).

As primeiras tentativas de “cuidados” com água datam do sexto século antes de Cristo (século VI a. C.) e se resumiam no afastamento do esgoto sanitário do centro de Roma para a periferia, que resultava em uma mistura de canal para águas pluviais e esgoto, concomitantemente. O emprego desse sistema se repetiria na Europa medieval nos conhecidos canais construídos para escoamento das águas pluviais que também eram usados para afastamento dos excretos. Em 1879, nos Estados Unidos da América (EUA), devido ao alto custo para implantação desse sistema europeu, foi proposto um sistema separado para águas residuárias e para águas pluviais, cujo acerto do sistema foi reconhecido e difundido mundialmente (ALEM SOBRINHO; TSUTIYA, 2000).

Não se pode negar o avanço de metodologias e sistemas de tratamento de águas residuais. Todavia, em pleno século XXI, uma fração maior que 80% do total de águas residuais geradas no mundo inteiro são despejadas no meio ambiente sem qualquer tratamento (UNESCO, 2017).

No Brasil, os índices percentuais não parecem muito diferentes. Conforme dados divulgados pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2012), o esgoto sanitário coletado da área urbana corresponde a 64,1% do total produzido no Brasil, mas nem todo esgoto recolhido pela rede pública recebe o correto tratamento. Devido à falta de viabilidade financeira para atender o sistema de tratamento convencional para áreas rurais, inadequadamente são descartados 75% do esgoto sanitário

produzido nessas áreas diretamente no meio ambiente. No Paraná são 3.286.052 domicílios atendidos pelo sistema público de esgotamento sanitário; desse total, apenas 113.273 são domicílios localizados na área rural (IPARDES, 2018). Decorre daí a necessidade da busca por alternativas para o tratamento do esgoto sanitário negro produzido no meio rural. No presente estudo, buscaram-se respostas para o seguinte questionamento: (i) Em pontos onde a geração de esgoto negro não tem acesso ao tratamento convencional, os quais seria o melhor tratamento para evitar danos ao meio ambiente e à saúde da população? (ii) Dentre os estudos que vem surgindo na comunidade científico-acadêmica, quais apontam opção viável.

O presente estudo traz como assunto a preservação da água doce e como tema tratamentos alternativos de esgoto em propriedades rurais. O objetivo geral desse estudo foi apontar o tratamento alternativo de esgoto negro mais eficiente levando em conta a relação custo *versus* benefício para implantação do projeto em propriedades rurais.

Como objetivos específicos definiram-se:

- a) caracterizar o uso da água doce e os tipos de esgotamento doméstico;
- b) levantar tipos de tratamento alternativo para esgoto negro no meio rural;
- c) analisar vantagens e desvantagens dos tratamentos convencionais e alternativos para esgoto negro no meio rural paranaense;
- d) verificar a existência de financiamento ou custeio para implantação do projeto de tratamento alternativo de esgoto negro em propriedades rurais.

Além de toda problemática ambiental como contaminação de solo, águas superficiais e subterrâneas envolvidas no não tratamento de esgoto, há também a questão de segurança sanitária, pois muitos moradores de áreas rurais têm o abastecimento de suas residências por poços e minas d'água sem passagem por qualquer processo de monitoramento da qualidade ou tratamento da água utilizada. A contaminação por agentes patogênicos causa riscos à saúde dessas populações. Esse tipo de contaminação afeta cerca de um terço de todos os cursos de água da América Latina, África e Ásia, o que põe em risco a saúde milhões de pessoas (UNESCO, 2017). Por tal razão, importa a busca por tratamentos alternativos de baixo custo e que venham a minimizar impactos ambientais e sanitários provocados pelo esgoto negro (GONÇALVES, 2006).

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

São várias as formas de classificação das pesquisas, especialmente, quanto ao método, objetivos e finalidade. Segundo os métodos que indicam os procedimentos técnicos da investigação, nesse estudo, a pesquisa se realizou com base produções textuais já elaboradas, caracterizando-se como pesquisa bibliográfica. Se classificado quanto aos objetivos, o estudo em questão se enquadra no método exploratório, que busca aprimoramento de ideias, pesquisas e projetos já realizados (GIL, 2010).

Os dados coletados por meio da pesquisa bibliográfica foram levantados em bancos de dados e sites de órgãos governamentais (IBGE, Leis), plataformas *online* de artigos (SciELO, Capes, Google acadêmico) devido ao conteúdo recente e alguns de livros encontrados na biblioteca da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Medianeira.

Os dados pesquisados foram analisados e os resultados confrontados, tratados estatisticamente e analisados qualitativamente, apontando-se qual seria a melhor opção de tratamento do esgotamento levando-se em conta os aspectos técnico, econômico e sociocultural do meio rural brasileiro e paranaense.

3 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

3.1 MEIO RURAL, SANEAMENTO E ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Ao longo desse estudo, até então, utilizou-se as expressões “urbano e/ou meio urbano”, “rural e/ou meio rural” de forma quase que indefinida. Frisa-se, porém, que se consideram as expressões “urbano e/ou meio urbano” como sendo áreas correspondentes às cidades (sedes municipais), vilas (sedes distritais) ou áreas isoladas de aglomerados populacionais. As expressões “rural e/ou meio rural” referem-se a toda a área territorial que se situa fora do limite urbano. Esse critério, definição, é empregado na classificação da população urbana e rural e usado para as pesquisas censitárias no Brasil (IBGE, 2010).

Conforme divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), os dados coletados no Censo Demográfico de 2010 evidenciam que, no Brasil, aproximadamente 29,9 milhões de pessoas residem em localidades rurais, quantidade essa que corresponde a 8,1 milhões de domicílios (IBGE, 2010), cujos serviços prestados em termos de saneamento (abastecimento de água, esgoto sanitário e resíduos sólidos) mostram elevado déficit de cobertura (FUNASA, 2017).

Entende-se por saneamento o controle de todos os fatores do meio físico em que vive o homem, que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre seu bem-estar físico, mental e social (WHO/OMS, 2004), constituindo-se em um conjunto de ações socioeconômicas que objetivam alcançar salubridade ambiental, a qual pode ser conceituada como “a qualidade ambiental capaz de prevenir doenças que são veiculadas pelo meio ambiente e de aperfeiçoar as condições favoráveis à saúde da população urbana e rural” (VALVASSORI; ALEXANDRE, 2012, p. 2).

No Brasil, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, conceitua saneamento básico como um conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais dedicados ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas (BRASIL, 2007). Da leitura do texto legislativa, entende-se que o saneamento básico engloba serviços de abastecimento de água, disposição de esgotos sanitários e acondicionamento, coleta,

transporte e destinação dos resíduos (sanitários e sólidos), além de cuidados específicos para com as águas pluviais.

A Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio (PNAD, 2015) revela intensas desigualdades no acesso aos serviços de abastecimento de água entre as populações rurais e urbanas no Brasil. Apenas 34,51% dos domicílios rurais estão ligados à rede pública de distribuição de água e 66,6% usam outras formas de abastecimento, que envolvem soluções alternativas (individual ou coletiva), como captação de água em chafarizes, minas (nascentes) ou poços protegidos (ou não), coletada diretamente de cursos de água sem qualquer tratamento, ou água provinda de outras fontes alternativas, geralmente, inadequadas para consumo humano. No meio urbano, a situação é bem diferente, aproximadamente 93,87% dos domicílios estão ligados à rede de distribuição de água (Figura 1). No Estado do Paraná, aproximadamente 67% dos domicílios rurais se utilizam de soluções alternativas de abastecimento de água.

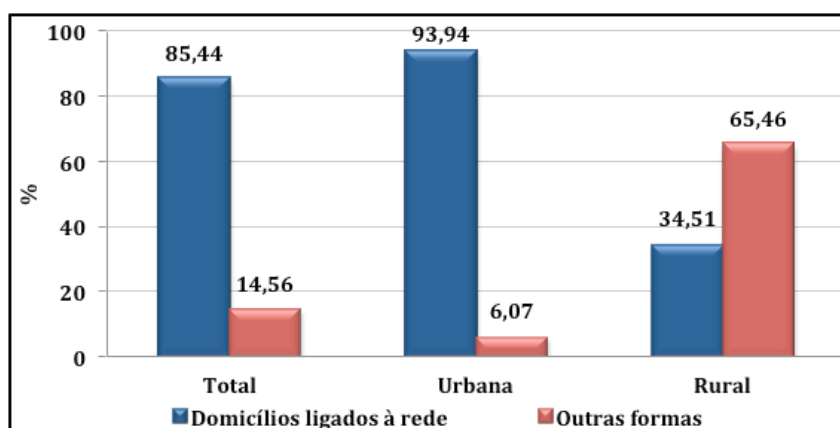


Figura 1 – Abastecimento de água nos domicílios brasileiros por zona
Fonte: Pnad (2015).

Importa lembrar que o acesso ao abastecimento público de água é um dos requisitos entendido pela Organização Mundial da Saúde (OMS, em inglês *World Health Organization*) como direito de todo o cidadão. No entanto, o facilitado acesso não parece garantir a disponibilização de água potável às populações mundiais.

Considera-se potável a água que reúne qualidade adequada para consumo humano, devendo, então, atender padrões de qualidade definidos por legislação própria, pois a água encontrada no meio ambiente, *in natura*, contém uma série de impurezas que definem suas características físico-químico-biológicas, que nem sempre são adequadas ao consumo humano ou de outras espécies animais.

No Brasil, Portaria nº 2.914, de 12 de outubro de 2011, do Ministério da Saúde (MS), em vigência, ao estabelecer procedimentos e responsabilidades para controle e vigilância da qualidade da água destinada para o consumo humano e seu padrão de potabilidade, define água potável como a água para consumo humano cujos parâmetros atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde (BRASIL, 2011).

Anteriormente, sob a égide da Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990, do MS, definia-se padrão de potabilidade da água como “conjunto de valores máximos permissíveis das características das águas destinadas ao consumo humano”, sendo assegurado que o aprovado pela Portaria Ministerial, “constitui o limite máximo para cada elemento ou substância química, não estando considerados eventuais efeitos sinérgicos entre eles e outros elementos ou substâncias. Verificados tais efeitos, comprovadamente prejudiciais à saúde, os limites estabelecidos deverão ser reavaliados” (BRASIL, 1990).

O padrão aprovado pelas citadas Portarias do MS tratam das características da água, sendo físicas (associadas, principalmente, à presença de sólidos), químicas (matéria orgânica e inorgânica), biológicas (presença de seres vivos patogênicos ou não) e organolépticas (odor, sabor, turbidez).

Outro aspecto relevante que merece ser observado refere-se ao uso de águas coletadas em poços e minas (nascentes) para consumo humano, prática comum entre as populações rurais. Essas águas correm o risco de

[...] carregar contaminantes por frestas presentes nas laterais do poço ou mesmo na abertura superior, contaminação direta do lençol freático por um foco de contaminação (fossas irregulares, dejetos de animais) e contaminação por agrotóxicos e fertilizantes agrícolas (SILVA, 2014, p. 10).

Especialmente em referência ao abastecimento de água e garantia de acesso à água potável, a importância do saneamento básico pode ser traduzida em termos de melhoria da saúde e das condições de vida das populações, redução de índices de mortalidade em geral e, particularmente, da mortalidade infantil, aumento da esperança de vida das populações, redução da ocorrência de doenças de veiculação hídrica, principalmente relacionadas à ingestão de água imprópria para o consumo humano, redução de gastos (públicos e privados) com consultas médicas e internações hospitalares (SPERLING, 2005; OMS/WHO, 2007; FUNASA, 2012).

Quanto ao esgotamento sanitário, 59,1% dos domicílios brasileiros estão ligados diretamente à rede coletora, 6,25% possuem fossas sépticas ligadas à rede coletora e 15,29% fossas sépticas não ligadas à rede coletora. Dentre os domicílios não ligados à rede coletora, 19,4% dispõem de soluções inadequadas, sendo que desses, 14,7% possuem fossas rudimentares, 2,8% por outras soluções alternativas e 1,9% não adotam nenhuma alternativas para o esgotamento sanitário. No meio urbano, 68% dos domicílios estão ligados à rede coletora e, no meio rural, são apenas 5,45% dos domicílios (PNAD, 2015).

Alternativas de uso de fossas rudimentares (43,7%), outros sistemas (7,3%) ou, ainda, de nenhum sistema (10,2%) são mais comuns em domicílios rurais (Figura 2) que em domicílios urbanos. Em sua maioria, as soluções alternativas adotadas no meio rural se mostram inadequadas à destinação dos dejetos, como, por exemplo, uso de fossas rudimentares, despejo em valas ou despejo do esgoto bruto diretamente nos cursos d'água (PNAD, 2015).

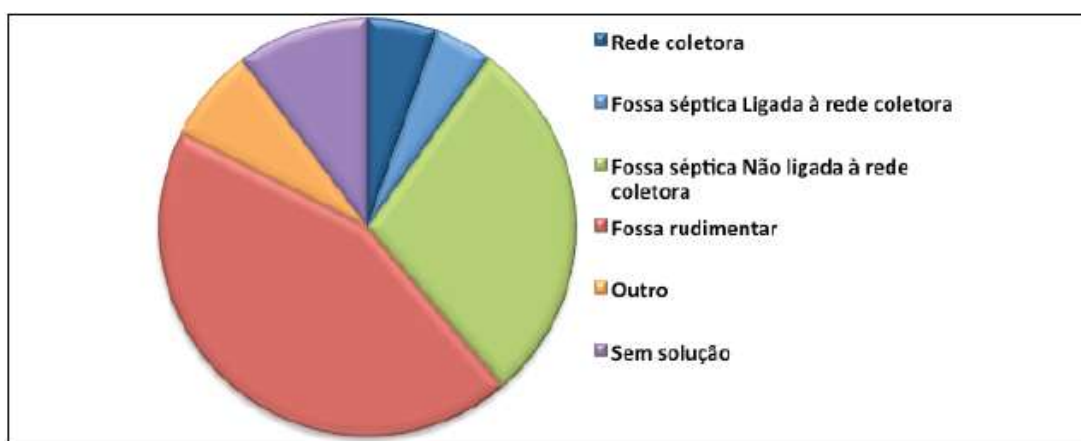


Figura 2 – Esgotamento sanitário nos domicílios rurais brasileiros
Fonte: PNAD (2015).

No saneamento básico, a desigualdade percentual entre os meios rural e urbano persiste também quanto ao acesso à coleta direta dos resíduos sólidos. Enquanto que no meio urbano 92,8% dos domicílios têm acesso à coleta direta, no meio rural apenas 27,2% dos domicílios recebem este tipo de serviço (PNAD, 2015).

Além de restrições de ordem econômico-financeira dos órgãos públicos, dentre as dificuldades enfrentadas no Brasil para implementação e manutenção de eficiente sistema público de saneamento básico há que se pensar que o descaso com o esgotamento sanitário (urbano e rural), manejo adequado de resíduos sólidos (urbano e rural), de fertilizantes e agrotóxicos tem contribuído para comprometer a

qualidade da água de manancial, especialmente pelos lançamentos, muitas vezes *in natura*, de esgotos (domésticos e industriais) e resíduos sólidos, assim como pela falta de regulação do uso e ocupação do solo (FUNASA, 2012).

Com base no que foi discutido nesse subtítulo parece não haver dúvida de que a implementação de sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário causa benefícios à saúde pública e ao meio ambiente.

No subtítulo seguinte, a atenção se volta para a caracterização do esgoto, com especial abordagem sobre o esgoto negro gerado no meio rural que como mencionado é predominantemente despejado em fossas rudimentares.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO ESGOTO DOMÉSTICO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira Regulamentadora (NBR 9648/1986), fixa condições exigíveis no estudo da concepção de sistemas de esgoto sanitário do tipo separador, que é definido como o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar apenas esgoto sanitário à disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro (BRASIL, 1986). Esse tipo permite que os esgotos domésticos e industriais fiquem separados do esgoto fluvial.

Conforme definido na NBR 9648/1986, entende-se por esgoto sanitário o despejo líquido constituído por esgotos domésticos e industriais, água de filtração e contribuição pluvial parasitária (BRASIL, 1986).

Pela concepção expressa na NBR 9648/1986, o esgoto doméstico consiste no despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas. O esgoto industrial refere-se ao despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos. Água de filtração corresponde a toda água proveniente do subsolo, indesejável para o sistema separador e que penetra nas canalizações. A contribuição singular diz respeito à vazão de esgoto concentrada em um ponto da rede coletora, significativamente maior que o produto da taxa de contribuição por superfície esgotada, pela área responsável por esse lançamento. Por fim, a NBR define contribuição pluvial parasitária como uma

parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede coletora de esgoto sanitário (BRASIL, 1986).

Os esgotos domésticos são basicamente provenientes do uso da água para fins de higiene e necessidades fisiológicas de pessoas que vivem em casas, prédios e instituições que tenham banheiros, cozinhas e lavanderias (BRASIL, 1986). As características quantitativas e qualitativas na composição do esgoto doméstico são variadas. Contém matéria orgânica composta por fezes (20%), urina (2,5%), água de banho, detergentes, restos de comida, entre outras substâncias e microrganismos vivos (JORDÃO; PESSÔA, 1995; FUNASA, 2004).

É comum diferenciar-se o esgoto doméstico, segundo a sua composição, em águas cinzas (esgoto cinza) e águas negras (esgoto negro). A principal diferenciação entre águas negras e cinzas refere-se à presença de fezes e urina contida no esgoto, material provendo principalmente do vaso sanitário. As demais águas efluentes que não contém material de vaso sanitário formam o conjunto das águas cinzas (SILVA, 2014). Portanto, as características dos esgotos diferenciam-se em função de seus usos, observados parâmetros de qualidade. Nesse sentido, resumem-se as características dos esgotos domésticos definidas pelos parâmetros físicos (Quadro 1), químicos (Quadro 2) e biológicos (Quadro 3).

As principais características físicas definidas para análise dos esgotos domésticos se referem à temperatura, cor, odor e turbidez (Quadro 1). Inclui-se a variação da vazão, que está sujeita aos costumes dos habitantes (FUNASA, 2004).

Parâmetro	Descrição
Temperatura	Influencia na atividade microbiana, na solubilidade dos gases e na viscosidade do líquido.
Cor	Esgoto fresco: ligeiramente cinza; esgoto séptico: cinza escuro ou preto.
Odor	Esgoto fresco: odor oleoso; esgoto séptico: odor fétido; despejos industriais: odor característico conforme a atividade da indústria.
Turbidez	Grande variedade de sólidos em suspensão; esgotos frescos ou concentrados: maior turbidez.

Quadro 1 – Características físicas dos esgotos domésticos

Fonte: Adaptado de Sperling (2011, v. 2).

Na avaliação das características químicas dos esgotos domésticos devem ser considerados os seguintes parâmetros químicos: sólidos totais e matéria orgânica (por determinação direta e indireta), composição e características (pH, alcalinidade, presença de cloretos, óleos e graxos).

Parâmetro	Descrição
------------------	------------------

Sólidos totais	Orgânicos e inorgânicos, suspensos, dissolvidos e sedimentáveis.
Matéria Orgânica	Principais componentes: proteínas, carboidratos e lipídios.
Determinação indireta	Demanda biológica/bioquímica de oxigênio (DBO). Demanda química de oxigênio (DQO).
Determinação direta	Carbono orgânico total (COT); medida direta da matéria orgânica
Nitrogênio total, orgânico, amônia, nitrato e nitrito	Nutriente indispensável para desenvolvimento de microrganismos no tratamento biológico.
Fósforo total (P): P orgânico e P inorgânico	Nutriente indispensável para o tratamento biológico; P orgânico combinado à matéria orgânica.
pH	Indicador das características ácidas ou básicas
Alcalinidade	Indicador da capacidade tampão no meio
Cloretos	Água abastecimento e dejetos humanos
Óleos, ceras e graxos	Fração da matéria orgânica solúvel em hexanos

Quadro 2 – Características químicas dos esgotos domésticos

Fonte: Adaptado de Sperling (2011, v. 1).

Os parâmetros biológicos que devem ser adotados na avaliação das características biológicas dos esgotos se referem a microrganismos que podem apresentar grau patogenicidade considerável e riscos à saúde humana, como bactérias, fungos, protozoários, vírus e helmintos.

Parâmetro	Descrição
Bactérias	Procariontes unicelulares, estabilização matéria orgânica, grau de patogenicidade
Fungos	Aeróbios, multicelulares, não fotossintéticos, heterotróficos, decomposição matéria orgânica, condição de pH da matéria orgânica à sobrevivência
Protozoários	Unicelulares sem parede celular, aeróbia ou facultativa, manutenção de equilíbrio no tratamento biológico, grau de patogenicidade.
Vírus	Parasitas, material genético+ carapaça de proteína; grau de patogenicidade e resistência à remoção no tratamento de água ou de esgoto.
Helmintos	Animais superiores, ovos de helmintos, patogenicidade.

Quadro 3 – Características biológicas dos esgotos domésticos

Adaptado de Sperling (2011, v. 2).

Importante frisar que a matéria orgânica presente nos esgotos domésticos, devido à ação dos microrganismos decompositores, é responsável pelo consumo do oxigênio dissolvido na água. A medida do teor de matéria orgânica nos esgotos e/ou no corpo d'água, por meio do DBO, é de grande importância para a caracterização do grau de poluição/contaminação da água e, portanto, fundamental na definição de parâmetros no tratamento de águas residuais e corpos d'água (SPERLING, 2005).

Em esgotos domésticos, a medida do pH (parâmetro usado para indicar a concentração de íons hidrogênio H^+) é de grande importância visto que determinada concentração em H^+ favorece a proliferação de maior diversidade biológica que vive na faixa de pH ideal (6 a 9). Maior concentração de microrganismos nos esgotos dificulta o desenvolvimento do tratamento biológico (NUVOLARI *et al.*, 2003).

Outro aspecto observado quanto ao emprego de tratamento adequado em esgotos, tanto aqueles destinados à obtenção de efluentes que atendam aos padrões de lançamento do corpo receptor, como aqueles para fins de uso produtivo, por exemplo, na irrigação, além de representar solução para os problemas de poluição da água e escassez de recursos hídricos, contribuiu para a proteção ambiental, produção de alimentos e geração outros produtos explorados economicamente pelo homem (MOTA; SPERLING, 2009). Nessa perspectiva que se encaminha o próximo subtítulo, cuja temática em análise contempla o tratamento ecológico de esgotos.

3.3 TRATAMENTOS ECOLÓGICOS DE ESGOTO SANITÁRIO

As técnicas de tratamento de efluentes sempre tiveram a preocupação de remover os poluentes mais grosseiros. Com o avanço das pesquisas e tecnologias a granulometria dos poluentes está reduzindo, o que possibilita que, aos poucos, ocorram novos avanços em tratamentos com metodologias menos complexas que requeiram pouca qualificação para operação e custo reduzido para implementação, mas que buscam reduzir o despejo *in natura* do esgoto no meio ambiente.

3.3.1 Sistemas de Tratamento de Esgoto Sanitário

Os principais sistemas de tratamento de esgoto sanitário empregados são reunidos em três grupos, assim definidos: (i) sistema unitário em que as águas residuárias são coletadas juntamente com as águas pluviais. Pode ocorrer emprego de sistemas unitários para coleta de águas residuais originadas das atividades industriais ou domiciliares. Galerias pluviais e fossas sépticas são exemplos desse tipo de sistema; (ii) sistema misto se caracteriza quando a rede coletora recebe esgoto sanitário e parte de águas pluviais; (iii) sistema separador já definido nesse estudo conforme a NBR 9648/1986.

Em áreas rurais, onde as casas se localizam distantes umas das outras, a instalação de um sistema convencional de esgoto reveste-se de alto custo, razão que

pode explicar porque é comum o uso de fossas sépticas. Tecnicamente, a fossa séptica é caracterizada como um grande tanque de concreto ou aço enterrado no quintal ou em algum outro ponto do terreno, com capacidade variada, cujos dejetos entram por uma extremidade e saem pela outra. O modelo e a construção dessas fossas são descritos na NBR 7229/1993 (BRASIL, 1993).

No Brasil rural é mais comumente usada a conhecida fossa negra, ou fossa séptica rudimentar (Figura 2), que se caracteriza por ser um poço (buraco) escavado no terreno, com variadas dimensões, sem revestimento na base e nas paredes, geralmente coberto, que se destina a receber todo o tipo de esgoto gerado nos domicílios, sem qualquer tipo de tratamento. Portanto, esse sistema não mostra qualquer forma de proteção contra a contaminação no solo e em lençóis freáticos.

As fossas sépticas ou tanques sépticos, como descrito na NBR 7229/1993, representam unidades de fluxo horizontal destinadas para o tratamento primário do esgoto doméstico, por processos de sedimentação, flotação e digestão, permitindo separação e transformação da matéria sólida contida no esgoto (BRASIL, 1993). A sedimentação de sólidos e a retenção de gorduras se transformam bioquimicamente, pela ação de bactérias presentes no próprio material do esgoto, em substâncias e compostos mais simples e estáveis (CNPq, 2013).

O sistema de fossas sépticas pode ser construído na forma de um ou de outro tipo, ou seja, tipo fossa séptica de câmara única ou tipo de câmaras em série. O primeiro tipo compreende uma unidade de apenas um compartimento. Na zona superior devem ocorrer os processos de sedimentação e de flotação e digestão da espuma, e na zona inferior ocorre o acúmulo e digestão do lodo sedimentado. Já o tipo fossa séptica de câmaras em série consiste em uma unidade com dois ou mais compartimentos contínuos, dispostos sequencialmente no sentido do fluxo do líquido e adequadamente interligados. Nesse compartimento devem ocorrer, conjunta e decrescentemente, processos de flotação, sedimentação e digestão (BRASIL, 1993).

A saída do efluente dos tanques sépticos requer tratamento antes de o líquido atingir o corpo d'água ou ser infiltrado no solo. Nesse caso, a NBR 7229/1993 recomenda a construção de valas de filtração e de infiltração e sumidouros, também compreendido como poço absorvente.

A vala de filtração (Figura 3) consiste em um sistema de tratamento biológico do efluente do tanque séptico, que consiste em um conjunto ordenado de caixa de distribuição, caixas de inspeção, tubulações perfuradas superiores, para distribuir o

efluente sobre leito biológico filtrante, e tubulações perfuradas inferiores, para coletar o filtrado e encaminhá-lo à disposição final.

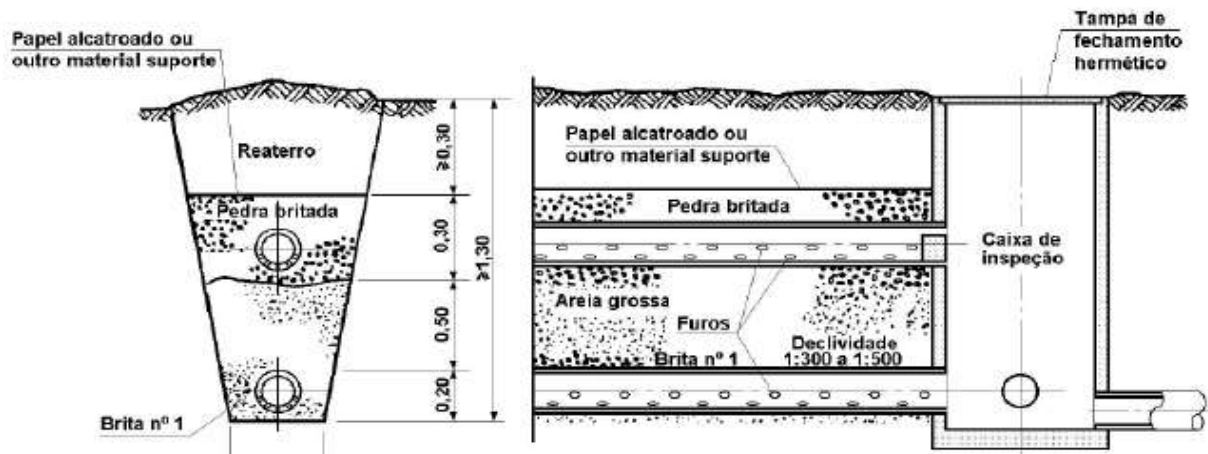


Figura 3 – Desenho esquemático de vala de filtração

Fonte: Silva (2014, p. 37).

A vala de infiltração (Figura 4) é conceituada na NBR 7229/1993 como um sistema de disposição do efluente do tanque séptico, que orienta sua infiltração no solo, sendo formado por um conjunto ordenado de caixa de distribuição, caixas de inspeção e tubulação perfurada assente sobre a camada-suporte de pedra britada.

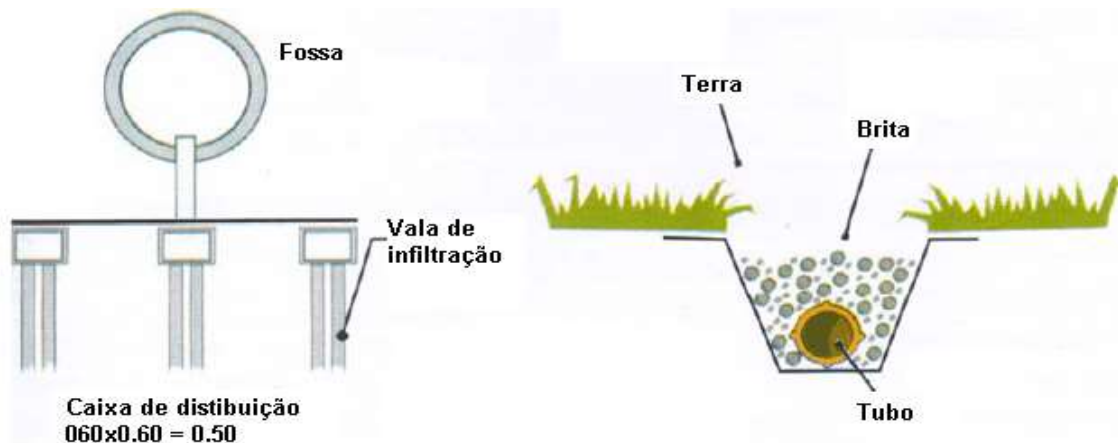


Figura 4 – Desenho esquemática de vala de infiltração

Fonte: Silva (2014, p. 37).

O sumidouro ou poço absorvente (Figura 5) consiste em um poço (buraco) seco escavado no terreno e não impermeabilizado que orienta a filtração de efluentes no solo (BRASIL, 1993).

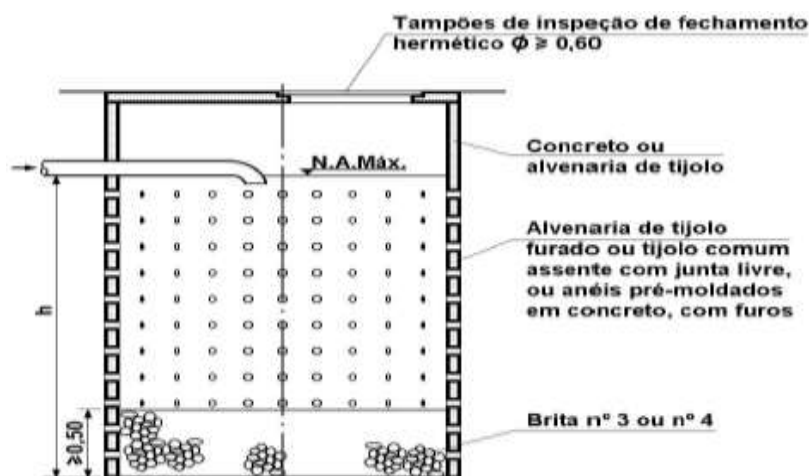


Figura 5 – Desenho esquemática de sumidouro

Fonte: Silva (2014, p. 37).

Versões adaptadas e mais simples de fossas sépticas podem ser projetadas para atender pequenas criações de animais (suínos e aves, principalmente) a fim de evitar despejo de dejetos diretamente em corpos d'água próximos aos criatórios como rios, minas (nascentes), córregos e outros.

Em sistemas que adotam metodologias alternativas, a seguir, contempla-se a fossa verde que tem função de evapotranspiração do efluente líquido gerado no tratamento de esgotos domésticos, e que pode associar a função de sumidouro com base na definição da NBR 7229/1993 (BRASIL, 1993).

3.3.2 Sistemas Alternativos de Tratamento de Esgoto Sanitário

Em diversas publicações, o único tratamento do esgoto sanitário, em casos de adoção de metodologias mais simples, está ligado à fossa séptica de câmara única, que tem seus rejeitos dispostos em sumidouros, valas de infiltração, valas de filtração (NUVOLARI, 2003) que se bem construídas impedem que a poluição atinja mananciais. Contudo, já se encontram descritas e a disposição outras opções metodológicas para tratamento do esgoto doméstico como, exemplos, as citadas por Silva (2014) em sua dissertação ou no caderno do professor do XXVII Prêmio Jovem Cientista (CNPq, 2013) e em outras fontes consultadas: fossa séptica biodigestora, fossa seca, fossa seca com câmara de fermentação, reatores de bactérias, jardim filtrante, fossas verdes, dentre outras.

Busca-se, então, contemplar tratamentos dos efluentes de esgotos sanitários que possam reduzir a contaminação dos corpos hídricos por matéria orgânica de maneira bastante significativa, tendo por base a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e alterações devidas às Resoluções nºs 410/2009 e 430/2011, todas emanadas do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA).

Inicia-se a análise com metodologias e processos experimentais citados no Jovem Cientista (2013). O primeiro projeto comentado faz uso de reatores de bactérias, também denominado de reator biológico (NBR 13969/1997), com a finalidade de eliminar os principais contaminantes. O projeto foi desenvolvido pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), no Estado de São Paulo, com bambus cortados em anéis (CNPq, 2013, p. 64). A porosidade dos bambus cria ambiente favorável à proliferação de bactérias digestoras, presentes no material do próprio esgoto, que ficam responsáveis pelo “serviço de limpeza” da matéria orgânica do esgoto, a qual é bombeada por uma entrada localizada na parte inferior do reator. Essa parte é inteiramente preenchida por anéis de bambu e conta com um filtro de pedrinhas e areia. Quando a água sai pela parte superior, já está adequada para reuso com água de lavagem ou fertirrigação no solo. Essa metodologia, teoricamente, sustenta-se na NBR 7229/1993, quando trata de filtro anaeróbico de fluxo ascendente.

As tecnologias criadas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2013) para sistemas de tratamento de esgoto sanitário no meio rural, chamadas de fossa séptica biodigestora e jardim filtrante, por serem de fácil instalação e baixo custo, tiveram alcance social e, por isso, trouxeram (e ainda trazem) grande retorno à sociedade brasileira, principalmente em termos de salubridade ambiental, proteção dos recursos hídricos e emprego na fertirrigação.

A fossa séptica biodigestora serve para tratar o esgoto proveniente de vaso sanitário (água, urina e fezes humanas), cujo sistema básico foi dimensionado para um domicílio com até cinco (5) moradores. Esse sistema é composto por três caixas interligadas (Figura 6), sendo a primeira ligada diretamente ao vaso sanitário. É nessa primeira caixa que, mensalmente, deve ser adicionado um meio inoculante de bactérias formado pela mistura de água e esterco fresco de bovino ou de outro animal ruminante (≈ 5 l de cada) para fornecer às bactérias digestoras estímulo à biodigestão dos dejetos, da qual resulta adubo orgânico, de comprovada eficácia e segurança. Tubos e conexões são vedados na junção com a caixa e todo o sistema permanece enterrado no solo a fim de manter determinado isolamento térmico. Depois de

fomentado por aproximadamente trinta (30) dias, o efluente está pronto para uso. O sistema não produz odores desagradáveis, nem contaminantes para o meio ambiente, sequer favorece a criação de insetos e roedores, mas gera produtividade saudável e economia em insumos à agricultura familiar.

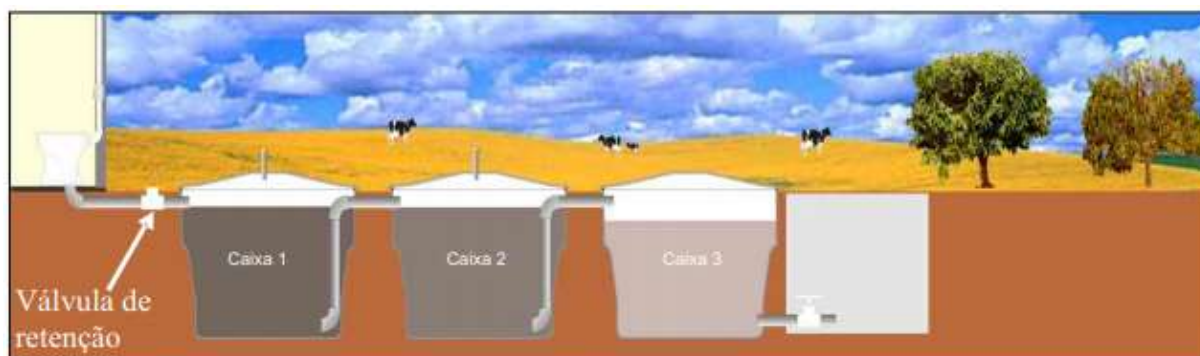


Figura 6 – Desenho esquemático do sistema de fossa séptica biodigestora

Fonte: Silva, Faustino e Novaes (2007, p. 9).

Na tecnologia conhecida como jardim filtrante, desenvolvida pela Embrapa (2013), busca suprir uma lacuna no saneamento básico do meio rural por meio do tratamento das águas cinzas, compostas, basicamente, por águas residuárias de lavagem, provenientes de pias, chuveiros e tanques, principalmente, que contêm variável quantidade de sabões, detergentes, restos de alimentos e gorduras. A tecnologia empregada no jardim filtrante, basicamente, compõe-se de uma caixa de areia e brita (enterrada no terreno) e plantas aquáticas macrófitas usadas na depuração do esgoto, cuja dimensão e capacidade estão em função da demanda gerada no domicílio (Figura 7). O emprego dessa tecnologia contribui para a preservação do meio ambiente e traz harmonia paisagística ao entorno do domicílio.



Figura 7 – Imagem do sistema de jardim filtrante

Fonte: Embrapa (2013).

A fossa verde constituída por circuito de bananeiras, por exemplo, adota o mesmo princípio do jardim filtrante e, igualmente, serve para tratamento das águas cinzas. A montagem da fossa verde é feita em alvenaria armada, com blocos de concreto vazados estruturados por vergalhões e posteriormente impermeabilizados, sendo que a base é de concreto magro. São abertas saídas na lateral para ligação com as tubulações internas e externas (com registro específico para limpeza do sistema). Para filtragem do líquido é construído um sistema de tijolos que são colocados inclinados (Figura 8) para evitar entupimentos e facilitar o escoamento do efluente. A cobertura é realizada em camadas compostas por argila expandida ou brita (nº 3 e 4), caule de bananeira e bagaço de cana, areia grossa lavada, terra local e cobertura morta.

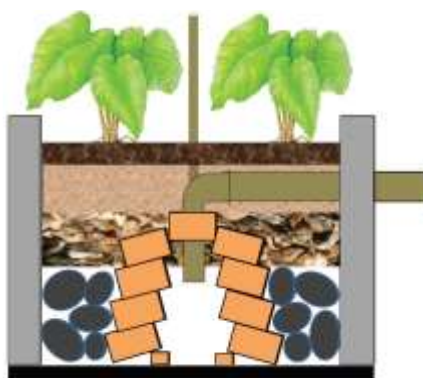


Figura 8 – Desenho esquemático do sistema de fossa verde
Fonte: Brasil (2013).

As plantas escolhidas que formam um consórcio de plantas devem ser adequado ao clima local, consumir muita água (bananeiras e mamoeiros nas extremidades da fossa, taioba e lírios da paz ou copos de leite), ter raízes que não rompam a caixa, ser resistentes ao sal e retirar nematóides do solo (target). A cobertura vegetal também evita a entrada excessiva de água de chuva. Em função dos custos, alternativamente pode ser realizada instalação com tubo de PVC perfurado e cobertura de lona bidim (BRASIL, 2013). Na fossa verde, as plantas recebem nutrientes e água, necessários para seu crescimento. Além disso, a água é liberada no ar pela evapotranspiração e o líquido restante do tratamento do efluente pode ser conduzido por meio de outro encanamento para ser empregado em outras funções, como o adubamento agrícola (EMBRAPA, 2013).

Em termos teóricos, com base na NBR 13969/1997 (BRASIL, 1997), pode-se entender que as metodologias jardim filtrante e fossa verde aplicam princípio da

tecnologia de tanque de evapotranspiração (TEvap), pouco conhecida no meio rural, mas usada com sucesso (PAULO *et al.*, 2012; COSTA *et al.*, 2016) em processos de saneamento ecológico, cujo principal enfoque é, sobretudo:

[...] aumento da disponibilidade hídrica pela economia de água, a proteção a proteção dos recursos hídricos pelo não lançamento de esgoto – tratado ou não – nos cursos de água, possibilitando a reutilização racional de todos os nutrientes presentes nas excretas (WINBLAD; SIMPSON-HÉRBERT, 2004 apud GABIALTI, 2009).

A evapotranspiração é definida como um processo natural que possibilita a ocorrência simultânea da perda de água do solo por processo de evaporação e perda da água da planta pela transpiração (PAULO *et al.*, 2012). O sistema TEvap possibilita que esse processo ocorra naturalmente (COSTA *et al.*, 2016).

O sistema TEvap consiste em um tanque impermeabilizado, preenchido com diferentes camadas de substrato e plantado com espécies vegetais de crescimento rápido e alta demanda por água. O sistema recebe o efluente dos vasos sanitários, que passa por processos naturais de degradação microbiana da matéria orgânica, mineralização de nutrientes, absorção e evapotranspiração pelas plantas. Cada módulo é dimensionado para uma unidade familiar (GABIALTI, 2009).

Classifica-se o sistema TEvap como um *wetland* horizontal de fluxo subsuperficial, pois o esgoto entra por um lado e flui horizontalmente pelo leito até a saída e não apresentar lâmina de água acima da superfície do leito (Figura 9).

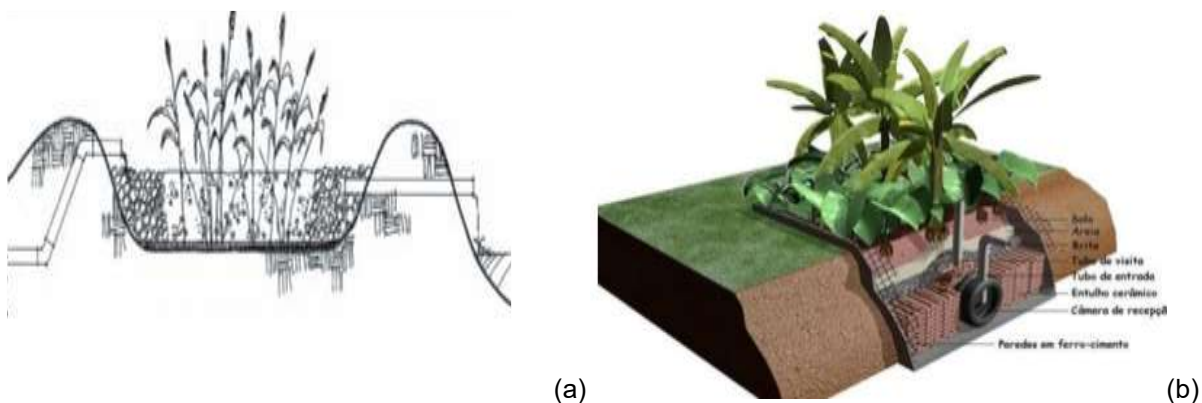


Figura 9 – Desenho esquemática do sistema *wetland* horizontal (a), TEvap e suas camadas (b)
Fonte: Gabialti (2009); Paulo *et al.* (2012).

No sistema TEvap, que funciona como um filtro anaeróbico, o efluente entra pela parte inferior do compartimento, composto por um túnel (anel de concreto ou tubo de PVC perfurado, ou ainda pneus), cercado por uma camada de entulho cerâmico

ou brita. Na câmara formada ocorre a sedimentação e digestão anaeróbia do efluente, que escorre pelos espaços entre os pneus/perfurações no anel. Saindo desse espaço, o efluente passa pela camada de material cerâmico permeável, que é naturalmente colonizado por bactérias, as quais complementam a digestão. À medida que o efluente preenche todo esse compartimento, passa pelas camadas de brita e areia, em direção à superfície. Durante esse trajeto, o efluente é mineralizado e filtrado, com possível eliminação de patógenos. As raízes das plantas localizadas nas camadas superiores se desenvolvem em busca de água e dos nutrientes disponibilizados pela decomposição da matéria orgânica (GABIALTI, 2009).

Portanto, o TEvap é um sistema impermeável que não possibilita infiltração do efluente doméstico no solo, uma vez que pela evapotranspiração a água é eliminada do sistema e os nutrientes presentes são removidos pela incorporação na biomassa das plantas. (PAULO *et al.*, 2012). Registra-se que os principais processos físicos, químicos e biológicos que estão envolvidos no funcionamento do TEvap são: precipitação e sedimentação de sólidos, degradação microbiana anaeróbia, decomposição aeróbia, movimentação da água por capilaridade e absorção de água e nutrientes pelas plantas (GABIALTI, 2009).

Sistemas de fossas secas (comum, com câmara de fermentação ou estaque) são largamente empregados no meio rural brasileiro. Particularmente, as fossas secas (comum ou com câmara de fermentação), popularmente, conhecidas como latrina ou privada, são alternativas de baixíssimo custo, mas que, por outro lado, geram elevados custos socioeconômicos e ambientais (BRASIL, 2013).

A fossa seca (comum) consiste em um poço escavado no terreno, em geral, no formato cilíndrico ou de seção quadrada, que serve para depósito de dejetos e material de asseio pessoal, não devendo receber águas de descarga. A boca da fossa é coberta por uma base suporte que sustenta o piso da privada, sobre o qual é montada uma proteção (casinha) com porta de acesso e bancada no formato circular vazada (tipo de tampa de vaso sanitário) para acomodar o usuário (SILVA, 2014).

A fossa com câmara de fermentação segue a mesma concepção da fossa seca comum, exceto por contar com duas escavações paralelas, câmaras de uso alternado. A primeira é usada até atingir sua capacidade máxima, daí então é vedada e inicia-se o uso da segunda câmara, que ao atingir sua capacidade máxima, também é vedada. Abre-se a primeira, retira-se o lodo, e reinicia-se o seu uso (SILVA, 2014).

A fossa seca estanque, uma variável da fossa seca comum, geralmente é adotada em áreas sujeitas a riscos de inundação ou em áreas onde a escavação se torna praticamente impossível. A sua construção conta com uma laje de concreto simples, feita para servir de base, sobre a qual as paredes são erguidas (de alvenaria de tijolos ou tipo pré-moldado). Tanto a base como as paredes são revestidas com argamassa de cimento e areia a fim de garantir que não haverá entrada da água (LEITE; RUFINO, 2009 *apud* SILVA, 2014).

Os principais inconvenientes da adoção de sistemas de fossa seca, incluindo também a fossa séptica rudimentar, diz respeito ao tempo de uso, vida útil. Após determinado período de utilização contínua, a capacidade armazenadora dos dejetos é completada, e, em alguns, pode ocorrer vazamento direto para o meio ambiente, o que é mais frequentemente observado em fossas sépticas rudimentares e/ou em fossas secas em áreas sujeitas às inundações. Ao ser completada a capacidade de armazenagem, faz-se necessário ocorrer remoção dos resíduos, ou aterramento da fossa e a construção de outra, observadas as determinações das NBR 7229/1993 e 13969/1997 (BRASIL, 1993; 1997).

Essas alternativas são preocupantes em termos de salubridade ambiental e custos operacionais. A manipulação e remoção dos resíduos, além do custo da operação, requer cautela em função do elevado potencial de contaminação para o solo e recursos hídricos. A construção de nova fossa, independentemente do tipo (seca ou rudimentar) também é dispendiosa e, em grande medida, adia-se a solução mais adequada para tratamento do esgoto sanitário (OLIVEIRA; MEDEIROS FILHO, 1998 *apud* SILVA, 2014).

3.4 PROJETOS ALTERNATIVOS NO TRATAMENTO DO ESGOTO SANITÁRIO RURAL

A implantação de um sistema de esgoto requer estudo de viabilidade para escolha do mais adequado, especialmente com base nas orientações da NBR 9648/1986 que faz um comparativo entre a melhor opção do ponto de vista técnico, econômico, financeiro e social (NUVOLARI, 2003) e outras normas editadas pela

ABNT que contemplam definições complementares no que tange ao saneamento sanitário no meio rural.

Observando-se a utilização de metodologias definidas por normas da ABNT, selecionaram-se alguns estudos empíricos que mostram resultados obtidos no saneamento rural pela adoção de projetos alternativos e de baixo custo. Nesse sentido, priorizaram-se experiências de saneamento rural no Estado do Paraná, contempladas, a seguir.

3.4.1 Propostas Alternativas de Saneamento Rural no Paraná

A primeira análise contempla o modelo proposto e experienciado na comunidade de Barreiro das Frutas, município paranaense de Campo Mourão, denominado de sistema de Estação de Tratamento Esgoto por Zona de Raízes (ETE ou ETEZR) que se destina para o tratamento de efluentes domiciliares (águas cinzas e águas negras) (CRISPIM *et al.*, 2012).

A ETE proposta e implementada (Figura 10) se destaca por ser revelar eficaz e viável alternativa economicamente (de baixíssimo custo), uma tecnologia autossustentável e apropriada para o meio rural, podendo ser aplicado em domicílios e em pequenos estabelecimentos agrícolas não atendidos pelo sistema de tratamento convencional (CRISPIM *et al.*, 2012).

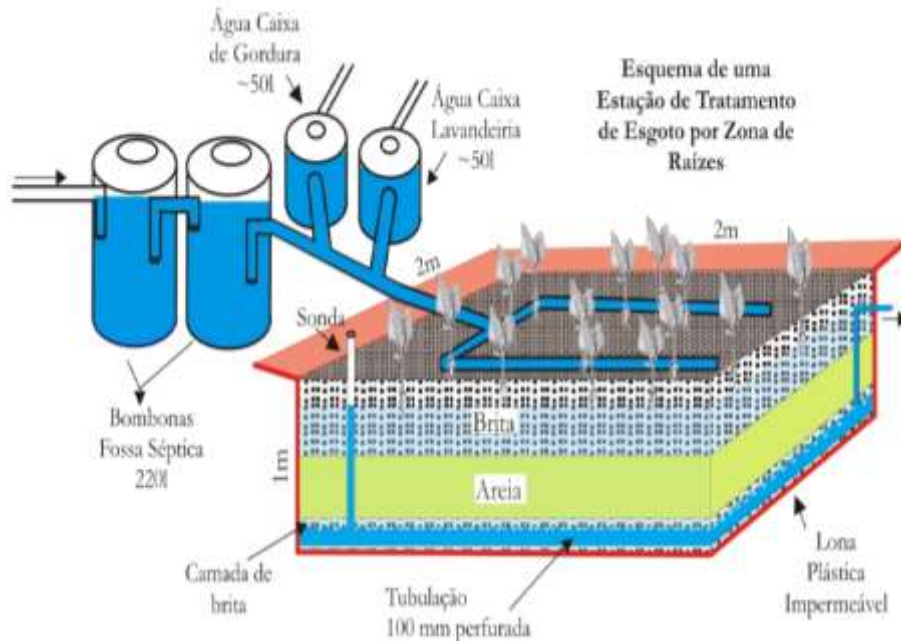


Figura 10 – Desenho esquemático do perfil estrutura do ETE

Fonte: Crispim *et al.* (2012).

A construção do ETE inicia pela escavação no terreno (dimensões: 1 m profundidade e 1m de comprimento por pessoa residente no domicílio), reveste-se a escavação com duas camadas de lona plástica (200 micras = 0,20mm de espessura), dispõe-se a tubulação (100 mm) sobre a lona, com perfurações coberta por tela de sombrite, preenche-se o vão escavado e revestido por camadas de areia e brita. Dispõem-se as bombas plásticas (tonel de 200L) para a função de fossa séptica (separando-se águas cinzas e águas negras), instala-se um distribuidor de efluente bruto (com perfurações 1,5 m a 2 m de diâmetro, distanciados a 5 cm), acrescentando-se uma camada de pedra brita (para evitar odores). Depois de aproximadamente 15 dias de uso contínuo da ETE, faz-se o plantio das espécies vegetais. No estudo experimental foi utilizado a *Canna indica Lily*, (conhecida por caetê) (CRISPIM *et al.*, 2012). Nesse estudo, o custo de implantação do sistema ETE não foi divulgado, mas os autores estimam ser bastante reduzido.

Outra experiência relatada na literatura com exploração da tecnologia de Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes (ETEZR como descrita por Crispim *et al.*, 2012) foi realizada com o objetivo de avaliar a eficiência de remoção de constituintes como demanda química de oxigênio (DQO), fósforo total (P), turbidez, coliformes termotolerantes e totais (CF e CT) e *Escherichia coli* (*E. coli*). A estação de tratamento de esgoto ETEZR foi implantada em uma comunidade rural, distrito de

Gonçalves Júnior, município de Irati, PR. Para compor a zona de raízes foi realizado o plantio de *Zantedeschia aethiopica* (copo-de-leite). As coletas do material para análise ocorreram durante dois (2) meses em campanhas semanais. Os percentuais médios de remoção encontrados na segunda avaliação mensal, para DQO (80%), fósforo total (54%), turbidez (67%), coliformes termotolerantes (CF = 99,6%) e coliformes totais (CT = 94%) foram semelhantes aos encontrados na literatura (SPERLING, 2005); Com base nesses resultados, conclui-se que a ETEZR revelou boa capacidade de remoção, o que a qualifica como tecnologia apropriada para o tratamento de esgotos domésticos em pequenas comunidades rurais (SCHIRMER *et al.*, 2009).

Na comunidade rural Colônia Mergulhão, município paranaense de São José dos Pinhais, foi construída uma Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes (ETEZR como descrita por Cispim *et al.*, 2012), com dimensões expandidas, sendo projetada para atender 160 pessoas, a custo total de R\$3.473,00 (três mil, quatrocentos e setenta e três reais), média de R\$21,00/pessoa (vinte e um reais). A construção contou com acompanhamento dos moradores, que foram capacitados para monitorar e realizar pequenas manutenções na ETEZR. Nessa construção priorizou-se o uso de materiais de baixo custo e plantas nativas da região ou facilmente adaptáveis [*Zantedeschia aethiopica* (copo- de- leite), *Cyperus papyrus* (papiro), *Canna indica* (cana da índia)]. Todo material empregado foi adquirido pelo dono do empreendimento (iniciativa particular). Por se tratar de um método simples que não necessita de mão de obra especializada, ser de baixo custo e por ser descentralizada, a construção da ETERZ serviu como instrumento de mobilização social, que promoveu a participação e a inserção da comunidade na busca de soluções aos problemas locais, e material de apoio à educação ambiental, sendo, nesse caso, utilizada para observação (*in loco*) e aprendizagem sobre a importância da preservação da qualidade das águas (SABEI, 2013).

Em Iretama, outro município paranaense implantou-se três (3) estações de tratamento de esgoto na agricultura familiar, na comunidade de Muquilhão, com aplicação de tecnologia alternativa (ETE) em estação de tratamento de esgoto doméstico modelo Bacia de Evapotranspiração (BET), recheada com pneus, cujo funcionamento acompanhado trimestralmente contou com visita *in loco*, monitoramento e análise de resultados bioquímicos e reuniões com os agricultores beneficiados objetivando o perfeito uso dos sistemas (ATHAYDES *et al.*, 2016).

A estação de tratamento de esgotos BET de Muquilão, Iretama, diferenciada do sistema ecológico ETE proposto por Crispim *et al.* (2012) devido ao modelo de construção. No referido sistema BET, delimitou-se para a caixa séptica na recepção dos desejos sanitários (águas negras) e lavanderia e cozinha (águas cinzas), e caixa de evapotranspiração, a dimensão de 2 m³ por habitante (família composta por 4 pessoas com escavação de 4x4x1m = 8 m³), base e paredes impermeabilizadas com duas camadas de lona plástica (200 micras), construídas conforme a NBR 13969/1997 (ATHAYDE *et al.*, 2016).

Na área central da caixa de evapotranspiração, na forma de tubulação, foram introduzidos pneus de automóveis no sentido vertical, e as laterais da caixa (paredes e proximidade dos pneus) foram preenchidas com entulhos de construção (50 cm), sobre os quais foram colocadas, em sobreposição, uma camada de pedra brita (20 cm), uma de areia grossa (20 cm) e outra de terra (10 cm) (Figura 11). Nas BET foram plantadas *Canna Indica Lily* (Bananeirinha de jardim) e *Heliconia rostrata* (Caeté) que por meio de suas raízes absorvem a umidade excedente do sistema. Quanto aos custos, em média, foram gastos R\$3.500,00 (três mil e quinhentos reais) em cada BET construída, sem inclusão de custos de pneus e mão de obra. A vida útil foi estimada entre 12 a 15 anos de uso contínuo (ATHAYDE *et al.*, 2016).

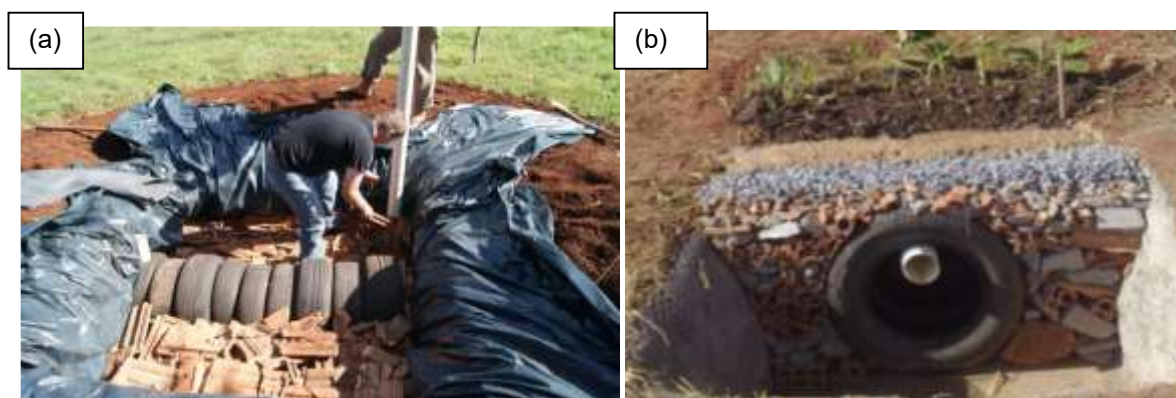


Figura 11 – Fossa séptica ecológica com pneus construção (a) e conclusão (b)
Fonte: ATHAYDE *et al.*, 2016, p. 5.

O sistema instalado na comunidade de Muquilão, Iretama, PR, serviu de base para outros grupos de pesquisadores. Um grupo avaliou o sistema construído e observou resultados bioquímicos satisfatórios, alcançando uma média equivalente a 69% para DQO e 78% para DBO (MARTINS *et al.*, 2016). Outro grupo desenvolveu um projeto de educação ambiental que explorou o sistema construído com o objetivo

de sensibilizar a população local para a melhoria no saneamento rural, redução da poluição e contaminação das águas na comunidade (VILLWOCK, 2015).

Esse projeto foi estruturado tendo em vista que na maioria dos domicílios predomina o uso de fossas negras escavadas em neossolo litólico, com profundidades de escavação inferiores a três metros (3m). O uso de fossas negras pode provocar escoamento do efluente sobre as rochas, contaminar a água de lagos rios e nascentes, além de o resíduo estocado provocar odores desagradáveis, estimular a presença de insetos, esse tipo de fossa está sujeita a ocorrência de desabamentos laterais com riscos de acidentes com humanos. O projeto mostrou bons resultados, especialmente avaliados pela adesão da comunidade nos circuitos de discussões e aprendizagens, assim como na construção das BETs (VILLWOCK, 2015).

Oportuno registrar que o projeto original de ETEs surgiu em 2005 com apoio técnico do Instituto Ambiental do Paraná (IAP) e Embrapa, sendo que as experiências foram custeadas, em parte (mínima), pelo CNPq e outra (majoritária) pelos próprios agricultores dos municípios de Campo Mourão e Iretama. O projeto ETE, conceitualmente, traduz a tecnologia de jardins filtrantes (Figura 7).

No município paranaense de Irati, comunidade rural do Distrito de Gonçalves Júnior, foi implantado um projeto piloto de Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes (ETERZ) para atendimento simultaneamente de dois (2) domicílios, utilizando-se os parâmetros estruturais descritos anteriormente por Crispim *et al.* (2012). Duas versões do projeto piloto foram instaladas: uma revestida com lona plástica e outra de concreto armado. Todo o material empregado na construção das versões de ETE (orçado em R\$ 850,00) foi doado pela Prefeitura Municipal de Irati e a construção acompanhada pela Eco da Mata, município de Piraquara, PR, empresa especializada na construção de ETE por zonas de raízes (LEMES *et al.*, 2008).

Além de economicamente viável, a implantação do sistema ETE de zona de raízes pôde ser empregada como ferramenta de apoio para propostas de educação ambiental, sendo utilizada para demonstrar a importância da preservação da qualidade da água que pode trazer benefícios sociais, econômicos e ambientais à localidade. Nesse estudo, o sistema ETERZ também serviu para a inserção do conceito de desenvolvimento sustentável na comunidade rural de Gonçalves Júnior, na qual a maioria dos habitantes revela baixo grau de informação e escolaridade (LEMES *et al.*, 2008).

Uma experiência na comunidade do Rio Ligação, município de paranaense de Francisco Beltrão, com implantação de um (1) sistema de tratamento de esgoto sanitário semelhante ao descrito por Athayde *et al.* (2016), diferenciando-se pela maneira de disposição dos pneus (sentido horizontal, sobrepilhamento) no interior da BET (Figura 12). O custo final da implantação do sistema ecológico com pneus foi de R\$ 540,00 (quinhentos e quarenta reais), considerando-se que pneus e transporte, anéis de vedação em concreto para as tampas das fossas e mão-de-obra não geraram custos devido à colaboração da comunidade local. Não houve medição dos resultados biofísicoquímicos do tratamento do esgoto no sistema BET implantado, mas a adesão da comunidade local revelou-se como indicativo de maior sensibilidade para com o uso da água e tratamento do esgoto (CAMPOS, 2017).



Figura 12 – Fossa séptica ecológica com uso de pneus

Fonte: COSTA, 2016, p. 43.

Como alternativa para o tratamento de esgoto sanitário foi sugerida criação e implantação de uma fossa biodigestora, modelo proposto pela Embrapa (subtítulo 3.3.2), no município paranaense de Matinhos, visando atender às necessidades da comunidade de Cabaraquara e o ecoturismo do balneário de água salgada. As estimativas de custo para a construção da fossa biodigestora, orçada em uma loja de materiais de construção em Matinhos, com as peças faltantes para a construção em caixas de polietileno (leves) – flanges de vedação (pois o projeto original orienta a construção das caixas em concreto ou fibra de vidro) orbitam em torno de R\$ 2.130,00 (para pagamento à vista). Alguns moradores expressaram adesão e disponibilidade para custear a implantação do projeto (ZUZA, 2016).

Com o objetivo de desenvolver um protótipo alternativo para tratamento de esgoto sanitário (vasos, pias, chuveiros e pia de cozinha) em domicílios rurais no

município paranaense de Toledo, desenvolveu-se um (1) protótipo de separador de fezes e urina e um (1) biorreator anaeróbio helicoidal de formato tubular para o tratamento das fezes (Figura 13). A operação do protótipo separador apresentou resultados favoráveis quanto à segregação de fezes e urina e a estabilização dos dejetos no bioreator foi completado em apenas 30 dias de tratamento, originando um composto sem a presença de *Escherichia coli* (<1 NMP g^{-1}), o que resulta em menor risco de contaminação para a população do estudo. Por ser um projeto experimental, não foi avaliada a viabilidade econômico-financeira para implantação e operação do sistema como um todo (SILVA, 2014).



Figura 13 – Protótipos separador de efluentes (a) e biorreator tubular (b)

Fonte: SILVA, 2014, p.103.

No município de Coronel Vivida, sete (7) domicílios situados na comunidade de Anita Garibaldi foram beneficiados pelo Programa Fundo Azul, criado pela Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar) com o objetivo de proteger o rio Jacutinga e melhorar a qualidade da água. Implantação do sistema *wetlands* ou zona de raízes (ETERZ). A empresa não divulgou os custos da implantação das ETERZ, mas registrou que esse tipo de tratamento é apropriado para o esgotamento rural, pois, além de ter vida útil prolongada, traz como vantagem o baixo custo de implantação, operação e manutenção, e a eficiência na eliminação da matéria orgânica e dos coliformes (PARANÁ, 2013).

Na análise das experiências relatadas, exceto apoio técnico e doação de material (órgão público – Prefeitura, Sanepar – e iniciativa particular de moradores em benefício do coletivo), não se encontrou referência sobre o custeio para execução de propostas alternativas de tratamento do esgoto sanitário/doméstico rural, mesmo para comunidades inclusas em programas do Governo Federal, como o programa

destinado ao financiamento da agricultura familiar, denominado de Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), por exemplo.

3.4.2 Custeio-financiamento e Política de Saneamento Básico

Uma das razões que pode explicar a lacuna de referência ao custeio para implantação de propostas alternativas de tratamento do esgoto rural pode estar na maneira como a Política Federal de Saneamento Básico, instruída pela Lei nº 11.445/2007, determina a responsabilidade sobre a elaboração e a execução do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), sendo a competência conferida para o Ministério da Saúde que realiza ações por meio da Funasa.

O PNSR tem por objetivo a promoção de ações de saneamento básica em áreas rurais, com vistas à universalização do acesso, por meio de implementação de estratégias que garantam: intersectorialidade, integralidade, equidade, sustentabilidade dos serviços implantados, participação e controle social (FUNASA, 2017). Nota-se que nesse objetivo não há referência a qualquer forma de custeio para implantação de serviços de esgotamento sanitário rural.

No entanto, a Lei nº 11.445/2007, em seu artigo 52, define que o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) conterà, especificamente, “proposição de programas, projetos e ações necessários para atingir os objetivos e as metas da Política Federal de Saneamento Básico, com *identificação das respectivas fontes de financiamento*” (inciso I, alínea “c”, grifo meu). A primeira questão que se coloca: quais são essas fontes? Analisa-se o Plansab e PNSR.

Observou-se que as experiências relatadas acerca da implantação de projetos alternativos no meio rural, particularmente referiam-se à necessidade de tratamento do esgoto sanitário e de educação ambiental, em grande medida, devidos ao grau de instrução/escolarização e à condição econômico-financeira das populações rurais. Nesse sentido, a Lei nº 13.308, de 6 de julho de 2016, ao alterar o artigo 52, §1º, inciso I, Lei nº 11.445/2007, define que o Plansab deve abranger:

[...] abastecimento de água, o *esgotamento sanitário*, o manejo de resíduos sólidos e o manejo de águas pluviais, com limpeza e fiscalização preventiva

das respectivas redes de drenagem, além de outras ações de saneamento básico de interesse para a melhoria da salubridade ambiental, incluindo o *provimento de banheiros e unidades hidrossanitárias para populações de baixa renda* (BRASIL, 2016).

Na leitura desse citado inciso, artigo 52, §1º, sente-se que deveria ter sido acrescentada maior especificidade para “*provimento de banheiros e unidades hidrossanitárias para populações de baixa renda*”. Fica em aberto a segunda questão: todas as populações de baixa renda, urbanas e rurais? Essa questão é procedente porque o inciso II do citado §1º, artigo 52, Lei nº 11.445/2007, que permanece inalterado, determina que o Plansab trate “especificamente das ações da União relativas ao saneamento básico nas áreas indígenas, nas reservas extrativistas da União e nas comunidades quilombolas” (BRASIL, 2007).

A terceira questão que se coloca pertinente diz respeito à implantação de projetos alternativos para tratamento do esgoto sanitário no meio rural. A Lei nº 11.445/2007 determina que a União, no estabelecimento de sua política de saneamento básico (artigo 48), observará como diretrizes “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” (inciso VII). Essa política terá como um de seus objetivos (artigo 49), “proporcionar condições adequadas de *salubridade ambiental às populações rurais* e de pequenos núcleos urbanos isolados” (inciso IV) (BRASIL, 2007).

Na leitura dessa legislação, o que se nota é que a Lei nº 11.445/2007, apesar de ter sofrido alterações no texto original desde sua aprovação, ainda não incorporou a possibilidade de saneamento para populações definidas por distinção de localização (rural e urbana). As determinações legais são generalistas, isto é, desconsideram características e necessidades das populações rurais.

Nesse sentido, observa-se avanço no texto do Plansab elaborado pelo Grupo de Trabalho Interinstitucional e referendado pelo Ministério das Cidades (2013b), que prevê a implementação de três programas de saneamento (integrado, rural-PNSR e estruturante). O documento define que o PNSR destina-se a ações de saneamento básico para a população rural e comunidades tradicionais (indígenas, quilombolas) e reservas extrativistas, cujas suas justificativas são atribuídas ao

[...] significativo passivo que o País acumula no saneamento para as áreas objeto do Programa e as especificidades desses territórios, que requerem abordagem própria e distinta da convencionalmente adotada nas áreas

urbanas, tanto na dimensão *tecnológica*, quanto na da gestão e da relação com as comunidades (BRASIL, 2013b).

O texto do PNSR propõe avanço conceitual em relação à concepção das intervenções em saneamento com a incorporação de reflexões desenvolvidas por autores que têm se debruçado sobre o tema quanto à natureza, adensamento e dependência do meio rural com o urbano para, a partir desse avanço, valorizar o significado da ruralidade nas sociedades contemporâneas, a “concepção de matriz tecnológica apropriada à realidade local sob os aspectos sociais, econômicos, culturais, ambientais e institucionais”, e, igualmente, “incentivar a participação comunitária, ações educacionais e modelos de gestão” (BRASIL, 2013b, p. 155)

Conforme definido o PNSR dará ênfase às iniciativas de integralidade, com um olhar específico para o rural e o conjunto de necessidades nos componentes do saneamento básico. Além disso, procurará integração com o Programa Territórios da Cidadania, com o Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável e com a política pública estabelecida para as populações tradicionais, visando maior racionalidade nas intervenções (BRASIL, 2013b).

O principal objetivo do PNSR ficou assim definido:

Financiar, em áreas rurais e de comunidades tradicionais (conforme Decreto 6.040/2007 e a Política Nacional de Desenvolvimento Sustentável de Povos e Comunidades Tradicionais), medidas de abastecimento de água potável, de *esgotamento sanitário*, de *provimento de banheiros e unidades hidrossanitárias domiciliares* e de educação ambiental para o saneamento, além de, em função de necessidades ditadas pelo enfoque de saneamento integrado, ações de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e de manejo de águas pluviais (BRASIL, 2013b).

A operacionalização do PNSR ocorrerá, principalmente, com recursos não-onerosos, em valores estimados de R\$ 24 bilhões, com referência ao ano base de 2012, para investimentos nos próximos 20 anos. Com base nessa mesma referência (ano-base), o Plansab contará com um volume de investimentos estimado em 508 bilhões entre 2013 e 2033 (BRASIL, 2013b), volume esse para implementação dos três programas de saneamento básico definidos. Contudo, a Portaria Interministerial nº 571, de 5 de dezembro de 2013, que aprova o plano nacional de saneamento básico, ressalta que a implementação do Plansab “considerará a disponibilidade orçamentária, bem como o alinhamento ao Plano Plurianual (PPA) e às diretrizes e prioridades de Governo” (artigo 2º, BRASIL, 2013c), o que significa dizer que, talvez, esse montante estimado não seja disponibilizado para o fim a que se propõe.

Como uma forma de avaliar a aplicabilidade prática do PNSR a partir de 2014, período de vigência da citada Portaria Interministerial, buscaram-se dados quantitativos (valores em reais e/ou percentuais). Porém, não foram encontradas informações específicas sobre o PNSR. Em ações de implantação, ampliação ou melhorias e serviços sustentáveis de saneamento básico em pequenas localidades, comunidades rurais, tradicionais e especiais para a prevenção de controle de doenças e agravos à saúde, o Governo Federal aplicou R\$ 30.465.032,35 em 2013, R\$ 41.156.783,06 em 2014 e R\$ 13.744.524,21 em 2015 (BRASIL, 2018). Não há dados disponíveis sobre os gastos do Governo Federal relativos aos anos 2016 e 2017, em saneamento básico, observando-se que 2014 teve maior montante.

O Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto elaborado anualmente pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2016a) possibilitou análise comparativa sobre a evolução do serviço de esgotamento urbano. Em 2013, no Estado do Paraná, juntamente com outros cinco Estados, esse serviço situava-se na faixa entre mínima de 40,1% e máxima de 70%. Entre 2014 e 2016, houve avanço nos serviços de esgotamento urbano prestados, e Paraná reuniu-se aos Estados Minas Gerais e São Paulo e Distrito Federal (que revelaram melhor desempenho em 2013) e atingiram valores acima de 70% (BRASIL, 2016a). A partir de 2011, os investimentos da Sanepar somam R\$ 8 bilhões; destes, cerca de R\$ 4,5 bilhões já foram aplicados e o restante em obras em andamento ou obras já projetadas (PARANÁ, 2015).

Dentre as questões levantadas nesse subtítulo, não parece muito clara a distribuição espacial (urbana ou rural) das populações de baixa renda aptas para o *provimento de banheiros e unidades hidrossanitárias domiciliares* (BRASIL, 2013b; 2016). Por outro lado, há clareza no Plansab e PNSR quanto a primeira e terceira questões levantadas. As fontes de financiamentos (primeira questão) para implantação de saneamento rural, inclusive para esgoto sanitário, emergem no objetivo definido no texto do Plansab (BRASIL, 2013b). A implantação de projetos alternativos para tratamento do esgoto sanitário no meio rural, especialmente de baixo custo (terceira questão), parece ser incentivada no texto do PNSR quando se reporta à “concepção de matriz tecnológica apropriada à realidade local”. No Paraná, as experiências desenvolvidas pela Sanepar no âmbito do Programa Fundo Azul se revelam como uma forma de acesso às fontes de financiamento do PNSR.

Portanto, é possível se deduzir que, devido à inserção do saneamento rural na política nacional de saneamento, em especial com base nas definições expressas

no Plansab e PNSR e na referência às fontes de financiamento, abrem-se novas possibilidades para que ocorra a implementação de projetos alternativos de esgoto sanitário, e, igualmente, aumentam-se as probabilidades de financiamento. Cabe aos Estados e municípios analisarem adequadamente as demandas relativas ao meio rural e inserirem tais demandas em planejamento de ações setoriais (meio ambiente, educação, saúde e outras), pelas quais se torna viável a obtenção de financiamento e alcançar melhoria dos serviços de saneamento básico para as comunidades rurais. Para a inserção dessas demandas nos planejamentos setoriais é fundamental, sobretudo, incentivo à participação comunitária como de forma de garantir que os serviços públicos de saneamento básico tenham a “sustentabilidade econômico-financeira assegurada” (artigo 29, BRASIL, 2007).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na realização da pesquisa bibliográfica, constatou-se que entre diversos tipos de tratamento do esgoto negro (fossa séptica, fossa séptica rudimentar, fossa seca e outros), são os tratamentos alternativos descritos teoricamente (fossa séptica biodigestor, jardim filtrante, reatores de bactérias, outros) que apresentam vantagens pelos efeitos produzidos na qualidade da água dos efluentes resultantes, na questão de custos, construção, operacionalização e manejo.

Essa constatação associa-se, especialmente ao sistema alternativo de tratamento mais discutido na literatura que foi o tipo jardim filtrante, teoricamente definido pela Embrapa, e empiricamente avaliado sob a denominação de Estação de Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes (ETERZ).

Em geral, observou-se que a implantação da ETERZ ocorreu por iniciativa de intuições educativas de educação superior ou proposta de saneamento descentralizado (Sanepar e Prefeitura) para alcançar determinado fim e atingir resultados esperados no que tange à qualidade do efluente e, igualmente, como mecanismo de mobilização social em prol do benefício coletivo, em especial, voltados à melhoria da qualidade da água de rios, lagos e mananciais, preservação do solo e reuso de efluentes na fertirrigação.

Na leitura dos relatos de vários autores, verificou-se que experiências bem-sucedidas de ETERZ implantadas despertaram a participação e o acompanhamento da comunidade ao longo do desenvolvimento de todo o projeto piloto. Como resultado, outros moradores da mesma comunidade revelaram interesse em construir suas próprias ETERZ (reporta-se ao caso da comunidade Mergulhão). Em uma mesma comunidade rural, a implantação de ETERZ fundamentou outros estudos acadêmicos com diferenciada abordagem, como educação ambiental, visitaçã *in loco* para verificar na prática a instalação do esgotamento alternativo e os benefícios gerados pelo sistema de tratamento do esgoto negro no meio rural (caso da comunidade Gonçalves Júnior). Além disso, os custos operacionais econômico-financeiros se mostram pouco representativos, daí porque se revelam como fator de grande atratividade na replicabilidade da tecnologia ETERZ.

Mediante as experiências relatadas no tratamento alternativo do esgoto rural (águas cinzas e águas negras), a replicabilidade do modelo ETERZ em diferentes

comunidades do meio rural paranaense podem ser concebida como transferência de tecnologia, que discutida teoricamente é empiricamente avaliada e referendada pela prática em comunidades rurais. Na replicabilidade desse modelo, em diferentes condições ambientais e socioeconômicas, a tecnologia ETERZ se revelou aplicável em espaços territoriais onde a infraestrutura de saneamento básica é inexistente, particularmente, em comunidades rurais afastadas dos centros urbanos.

Na consulta *online*, ficou evidente a incipiência da abordagem sobre projetos alternativos de esgotamento rural no Estado do Paraná, particularmente sobre as experiências conduzidas pela Sanepar em comunidades ribeirinhas. Por outro lado, a implantação do Programa Fundo Azul e o breve relato institucional da Sanepar sobre as experiências de esgotamento sanitário rural, mostram uma via de acesso às fontes de financiamento-custeio do PNSR para as comunidades rurais. O alcance dessa via, em regra, passa pelo planejamento dos municípios paranaenses (Plano Diretor, Plano de Saneamento Básico e Plano de Habitação de Interesse Social) que, estruturado busca maneiras para custeamento das demandas municipais elencadas. Nesse sentido, pode-se afirmar que o alcance do custeio para projetos alternativos de esgotamento sanitário rural depende da participação e da mobilização das comunidades rurais, fundamentalmente.

Com base no que foi discutido, em especial sobre parte da realidade geral da utilização da água doce, do saneamento rural e da especificidade de projetos alternativos para tratamento do esgoto negro em domicílios rurais do Paraná, com o intuito de contribuir brevemente com discussões, sugerem-se estudos investigativos que contemplem o assunto-tema abordado e que possam orientar, de maneira mais pontual, o acesso das comunidades rurais às formas de financiamento-custeio de projetos alternativos de tratamento do esgoto negro. Acredita-se que a tecnologia ETERZ, em futuro bem próximo, venha substituir definitivamente as fossas sépticas rudimentares, contribuindo para a melhoria da qualidade das águas superficiais e subterrâneas e, em consequência, da qualidade de vida das populações rurais.

REFERÊNCIAS

ALEM SOBRINHO, P.; TSUTIYA. M. T. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo, SP: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária da escola poliédrica da universidade de São Paulo, 2000.

ATHAYDES, T. V. S. et al. Implementação de estações de tratamento de esgoto na agricultura familiar. **Anais**. V Congresso Internacional de Tecnologia para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves, RS, 2016.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Brasileira Regulamentadora. **NBR 9648/1986**: estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1986.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 36**, de 19 de janeiro de 1990. Aprova normas e o padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano, a serem observadas em todo o território nacional. Brasília, DF, 1990.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Brasileira Regulamentadora. **NBR 7229/1993**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1993.

BRASIL. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Brasileira Regulamentadora. **NBR 13969/1997**: tanques sépticos, unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). **Resolução 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. Brasília, DF: Conama, 2005.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes para o saneamento básico. Brasília, DF; CC, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914**, de 12 de outubro de 2011. Dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF: Conama, 2011.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Tratamento de esgoto doméstico com uso de fossa verde**: tecnologia social em saúde ambiental. Rio de Janeiro, RJ: Fiocruz, 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano nacional de saneamento básico**, Plansab. Brasília, DF: MC, 2013b.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Portaria Interministerial nº 571**, de 5 de dezembro de 2013. Aprova o plano nacional de saneamento básico. Brasília, DF: MC, 2013c.

BRASIL. Ministério da Transparência e Controladoria Geral da União. **Gastos diretos por programa**: saneamento básico rural. 2013-2015. Disponível em: <<http://www.portaltransparencia.gov.br/PortalTransparenciaGDProgramaPesquisaAcao.asp?ano>>. Acesso em: 21 de abril de 2018.

BRASIL. Presidência da República. **Lei nº 13.308**, de 6 de julho de 2016, altera a Lei nº 11.445 para determinar a manutenção preventiva das redes de drenagem pluvial. Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Conama**: legislação ambiental: 2005-2009-2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**: 2013-2016. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 23 de abril de 2018.

CAMPOS, K. C. Saneamento rural: estudo de caso na comunidade do Rio Ligação no município de Francisco Beltrão – PR. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco: UTFPR, 2017.

CNPq. Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Caderno do professor. Água: desafios da sociedade (kit pedagógico). **Anais**. XXVII Prêmio Jovem Cientista. Rio de Janeiro, RJ: Fundação Roberto Marinho, 2013.

COSTA, R. O. et al. Tratamento domiciliar de água cinzas através de tanques evaporímetros no semiárido. **Anais**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Foz do Iguaçu, PR: Contecc, 2016.

CRISPIM, J. Q. et al. **Estações de tratamento de esgoto por zona de raízes (ETE)**. Campo Mourão, PR: Fecilcam, 2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soluções tecnológicas**. 2013. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1307/jardim-filtrante>>. Acesso em: 21 de abril de 2018.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. Brasília, DF: Funasa, 2004.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Saneamento rural**. 2012. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/site/engenharia-de-saude-publica-2/saneamento-rural/>>. Acesso em: 8 de abril de 2018.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Panorama do saneamento rural no Brasil**. 2017. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

GALBIATI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. Dissertação (mestrado em Tecnologias Ambientais). Universidade Federal do Mato Grosso. Campo Grande: UFMS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GONÇALVES, R. F. et al (Coord.). **Uso racional da água em edificações**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2006.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2010.

IPARDES. Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Caderno estatístico**: Paraná. Curitiba, PR: IparDES, 2018.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgoto doméstico**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 1995.

LEMES, J. L. V. B. et al. Tratamento de esgoto por meio de zona de raízes em comunidade rural. **Revista Acadêmica, Ciência Agrária e Ambiental**. Curitiba, v. 6, n. 2, p. 169-79, 2008.

MARTINS, F. A. Implementação de estações de tratamento de esgoto na agricultura familiar. **Anais** [eletrônico]. VII Congresso Científico da Região Centro-Occidental do Paraná. Campo Mourão, PR: CONCCEPAR, 2016.

MOTA, F. S. B.; SPERLING, M. (Org.). **Nutrientes de esgoto sanitário**: utilização e remoção. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2009.

NUVOLARI, A. (Coord.). **Esgoto sanitário**: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 2003.

PARANÁ (Estado). Companhia Paranaense de Saneamento (Sanepar). **Notícia**. Sanepar implanta projeto piloto para tratamento do esgoto rural. 2013. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/noticias/>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

PARANÁ (Estado). Companhia Paranaense de Saneamento (Sanepar). **Notícia**. No Paraná, serviços de esgoto chegam a mais de 70% da população. 2018. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/noticias/>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

PAULO, P. L. et al. Natural systems treating greywater and black water on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping. **Ecological Engineering**, v. 50, p. 95-100, 2012.

PNAD. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. **Pnad 2015**. Disponível em: <<http://www.funasa.gov.br/panorama-do-saneamento-rural-no-brasil>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

SABEI, T. R. **Implementação de uma estação de tratamento de esgoto por zona de raízes na comunidade rural Colônia Mergulhão, São José Dos Pinhais – PR**. Monografia (Especialista em Economia e Meio Ambiente). Universidade Federal do Paraná. Curitiba: UFPR, 2013.

SCHIRMER, W. V. et al. Tratamento de esgoto por zona de raízes em comunidade rural: parte 2: avaliação. **Revista Acadêmica de Ciência Agrária e Ambiental**. Curitiba, PR, v. 7, n. 2, p. 165-73, 2009.

SILVA, W. T. L.; FAUSTINO, A. S.; NOVAES, A. P. **Eficiência do processo de biodigestão em fossa séptica biodigestora inoculada com esterco de ovino**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2007.

SILVA, D. F. **Tecnologia alternativa para tratamento de efluentes domésticos da área rural**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual do Oeste Do Paraná. Toledo, PR: Unioeste, 2014.

SPERLING, M. von. **Princípios básicos do tratamento de esgoto**. v. 1 e 2. Série princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996 [2011].

SPERLING, M. von. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3. ed. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

UNESCO. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **The United Nations world water development report 2017**. Paris, France; UNESCO, 2017.

VALVASSORI, M. L; ALEXANDRE, N. Z. Aplicação do indicador de salubridade ambiental (ISA) para áreas urbanas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 25, n. 25, p. 1-19, 2012.

VILLWOCK, F. H. Saneamento rural por meio de estação de tratamento de esgoto na Comunidade Muquidão no Município de Iretama – Paraná. **Anais [Eletrônico]**. IX Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar. Maringá, PR: EPCC, n. 9, p. 4-8, 2015.

WHO/OMS. World Health Organization. **Water, sanitation and hygiene links to health**. WHO, 2004. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

WHO/OMS. World Health Organization. **New country-by-country data show in detail the impact of environmental factors on health**. WHO, 2007. Disponível em: <<http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2007/pr30/en/>>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

ZUZA, F. D. S. **Turismo e esgoto: uma proposta para o Cabaraquara/PR**. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Gestão de Turismo). Universidade Federal do Paraná: Curitiba, PR: UFPR, 2016.