

BIOSSISTEMA INTEGRADO: UM ESTUDO DE CASO SOBRE TRATAMENTO DE ESGOTO SUSTENTÁVEL EM COMUNIDADES DE PEQUENO PORTE

INTEGRATED BIOSYSTEM: A CASE STUDY ON SUSTAINABLE SEWAGE TREATMENT FOR SMALL COMMUNITIES

Soares, Matheus Betbeber Pato¹
Maia, Bárbara Fernanda Martins²
Lopes, Diego Meireles³

Resumo: O trabalho apresenta um estudo sobre o emprego de biosistema integrado para o setor de saneamento básico, com o intuito de contribuir para a melhoria da qualidade de vida para pequenas comunidades. Os tipos de sistemas alternativos avaliados no documento incluem sistemas de tratamento local, sistemas separados de coleta e tratamento de águas negras e de águas cinzas com e sem reciclagem de água não potável, uma pequena estação de tratamento em escala municipal, comparada com os sistemas de fossas sépticas existentes inclui consulta com as partes interessadas, avaliação com vários critérios e desenho conceitual da opção mais favorável.

Palavras-Chave: Esgoto. biossistemas. Comunidades.

Abstract: This paper presents a study on the use of an integrated biosystem in the basic sanitation sector, aiming to contribute to improving the quality of life in small communities. The types of alternative systems evaluated in the document include local treatment systems, separate collection and treatment systems for black water and grey water with and without non-potable water recycling, a small municipal-scale treatment plant, compared with existing septic systems, including consultation with stakeholders, assessment with various criteria, and conceptual design of the most favorable option.

Keywords: Sewage; Biosystems; Communities.

¹Bacharelando em Engenharia de Produção – Universidade Santa Úrsula – matheus.soares@souusu.com.br

²Bacharelando em Engenharia Civil – Universidade Santa Úrsula – barbara.maia@souusu.com.br

³ Mestre em Engenharia Mecânica e Tecnologia dos Materiais – CEFET/RJ – diego.lopes@usu.edu.br

1 INTRODUÇÃO:

Início esse estudo com uma reflexão do porquê do saneamento? A falta de saneamento adequado é uma das principais causas de mortes e doenças nos países em desenvolvimento, se precário não apenas afeta adversamente a disponibilidade e a qualidade da água, mas também tem os mesmos efeitos prejudiciais sobre a educação, o bem-estar, o turismo e no uso de tempo e oportunidades de vida das pessoas geral. Nas duas últimas décadas, a importância do saneamento no desenvolvimento humano no Brasil tem sido cada vez mais reconhecida e maiores investimentos públicos foram realizados para promover o acesso e alcançar melhorias, no entanto ainda é precário. Observe os dados Trata Brasil referente acesso a água e esgoto no Brasil:

Atualmente no país, usando o SNIS ano base 2022, a cobertura do abastecimento de água tratada atingiu **84,2% da população total**, cobrindo cerca de 167,5 milhões de brasileiros, o que representa um pequeno avanço em relação aos anos anteriores. **55,8% da população** tem acesso à coleta de esgoto, com leve elevação para 56%. Em relação ao tratamento, apenas **52,2% do esgoto gerado** é efetivamente tratado — nível que avançou de 51,2% em 2021, ainda muito abaixo da meta de universalização.

Como o saneamento está ligado de várias maneiras aos meios de subsistência e desenvolvimento sustentável em geral, também contribui para erradicar a pobreza extrema e a fome, e promovendo a igualdade de gênero e empoderando as mulheres, e ainda, melhorando a saúde materna. O saneamento é um assunto amplo que abrange a gestão de excrementos humanos, práticas de higiene e gestão de resíduos domésticos, industriais e médicos, resíduos de animais, drenagem, entre outras coisas (NUNES & ANTONELO, 2014).

O saneamento inclui instalação que separa higienicamente os excrementos humanos do contato humano, isso inclui instalações de descarga ou descarga em sistema de esgoto canalizado, tanques ou latrinas, latrinas de poço e latrinas de poço com banheiros de laje ou compostagem. As instalações não melhoradas incluem defecação a céu aberto, balde latrinas suspensas, latrinas a céu aberto ou sem laje, e instalações de descarga ou descarga em drenos ou áreas abertas, isto é, não para sistemas de esgoto canalizado, fossas sépticas ou latrinas de poço, também banheiros compartilhados também são considerados instalações não melhoradas. Observe os dados Trata Brasil referente ao esgoto no Brasil:

Os problemas da falta de esgotamento sanitário ainda preocupam no Brasil, sobretudo a coleta e o tratamento dos esgotos. Em 2018, o Brasil despejou na natureza 5.715 piscinas olímpicas de esgoto sem tratamento por dia e 2 milhões por ano. O indicador médio de coleta de

esgotos nos 100 maiores municípios foi 73,30%, havendo um pequeno avanço ao compararmos aos 72,77% em 2017. No geral, os 100 maiores municípios possuem coleta de esgoto bastante superior à média do Brasil, que foi de 53,2%. Dentre os piores municípios nesse quesito estão Santarém e Ananindeua com 2,05 e 4,19, respectivamente. Piracicaba foi o melhor município no quesito, com 100%. O indicador médio do tratamento de esgotos nos 100 maiores municípios em 2018 foi de 56,07%; avanço mínimo em relação aos 55,61% de 2017. Segundo o SNIS, a média nacional foi de 46,3%, ou seja, as maiores cidades tratam, na média, mais esgotos que o país. No entanto, em ambos os casos, o indicador está baixo mostrando ser um dos maiores desafios a serem enfrentados. Os municípios que enfrentam os maiores problemas neste indicador são Governador Valadares (MG) e São João do Meriti (RJ), ambos com 0,0% de tratamento. Assim como na coleta, Piracicaba também foi a melhor em tratamento, com 100% de esgoto tratado (TRATA BRASIL, 2020).

Saneamento precário mata e causa doenças convencionalmente, a maioria das doenças relacionadas ao mau saneamento foram agrupados na categoria de doenças transmitidas pela água, enquanto a água pode ser um meio importante, a maioria de doenças relacionadas à água estão de fato na categoria oral-fecal, um corpo considerável de cientistas estabeleceram que as doenças causadas por saneamento e higiene são virais, bacterianos, parasitários, protozoários, helmintos e de natureza fúngica, essas doenças podem ser transmitidas diretamente, a partir da superfície infectada de uma latrina, através da água ou de outros fluidos, de pessoa para pessoa, por moscas, ou através do solo. Os alimentos também podem atuar como intermediários para todas essas vias de transmissão direta falta de saneamento e higiene matam milhares de pessoas todos os anos no Brasil, o contato com excrementos humanos é uma fonte de muitas doenças mortais com sintomas de diarreia (ALVIM, 2014).

Alguns dos patógenos, que são microrganismos nocivos à saúde humana e animal, que causam diarreia são os vírus e bactérias, os adultos e as crianças sofrem de diarreia e outras doenças por ingerir desagradáveis germes nos excrementos humanos. Isso resulta em desidratação, desnutrição, febre e até morte, principalmente de crianças e pessoas com sistema imunológico comprometido, como idosos e pacientes com HIV / AIDS. Por sua vez, a desnutrição resultante da diarreia pode levar a maior vulnerabilidade a doenças como sarampo, malária e infecções respiratórias, especialmente em crianças. Outras doenças ligadas à transmissão fecal estão poliomielite, hepatite A e E, vermes intestinais, doenças de pele como sarna e infecções oculares como tracoma que pode causar cegueira. A poliomielite pode causar deformidades físicas e incapacidade, a hepatite pode levar ao fígado (ALVIM, 2014).

Este artigo da ênfase em sua pesquisa em informações gerais sobre os sistemas domésticos nas áreas servidas por instalações municipais de águas residuais, o esgoto é transportado para longe de residências esgotos por gravidade de diâmetro para uma planta central onde é tratado e descarregado em uma via navegável.

No lado de fora nessas áreas, a maioria das residências individuais deve dependem de um tanque séptico e campo de absorção do solo, ou sistema no local, para descartar suas águas residuais. A Fossa séptica é um sistema de tratamento primário que opera em modo anaeróbico, ou seja, com bactérias anaeróbicas que operam em um ambiente livre de oxigênio. O tanque séptico fornece um componente de armazenamento durante o qual os sólidos mais densos do que a água deposita no fundo e os materiais leves flutuam para a superfície para formar uma espuma. Outros sistemas de tratamento, como sistemas de tratamento de águas residuais aeradas, podem ser necessários para atualizar o processo de tratamento.

2 SANEAMENTO BÁSICO

O saneamento básico é um fator essencial para o desenvolvimento social, econômico e ambiental das comunidades. Ele vai muito além da simples infraestrutura: está diretamente ligado à saúde, dignidade e qualidade de vida das pessoas.

2.1 Saneamento básico e o bem-estar das comunidades

Atualmente, o saneamento — por meio da implantação de banheiros, latrinas e sistemas de tratamento mecanizado de águas residuais — tem como principal objetivo conter ou tratar os excrementos humanos e, em alguns casos, as chamadas águas cinzas ou águas servidas. Essas águas são geradas no interior das residências, excluindo os resíduos oriundos do vaso sanitário, e incluem a água proveniente do chuveiro, das pias do banheiro e da cozinha, bem como da lavanderia. O tratamento adequado desses resíduos é fundamental para proteger a saúde humana e preservar o meio ambiente, evitando a contaminação de solos, mananciais e corpos d'água (CAMPOS, 1999).

Podem ser citados como exemplos de saneamento não melhorado as latrinas de poço sem laje, latrinas de balde e latrinas suspensas, que apresentam riscos à saúde humana e ao meio ambiente por não garantirem o isolamento adequado dos dejetos (CAMPOS, 1999). Em contrapartida, as instalações sanitárias básicas são definidas como aquelas utilizadas por apenas uma família, podendo esvaziar localmente (em fossas ou sistemas sépticos) ou estar conectadas a uma rede de esgoto — com ou sem posterior tratamento.

FIGURA 1: Dados do Esgotamento Sanitário no Brasil



Fonte: Pesquisa nacional de saneamento básico – IBGE – 2021

No entanto, em muitos contextos urbanos e rurais, essas instalações são compartilhadas entre múltiplas famílias, e o grau de compartilhamento pode variar de forma significativa. De acordo com Chernicharo (2016), o limite máximo recomendado para o uso compartilhado é de cinco famílias por unidade sanitária, pois ultrapassar esse número pode comprometer a funcionalidade e a higiene do sistema. Apesar disso, não há um consenso claro sobre se o compartilhamento de instalações sanitárias resulta em melhorias ou prejuízos diretos à saúde pública, pois os impactos variam conforme as condições de uso, manutenção e contexto social.

De todo modo, um dos principais objetivos do saneamento básico permanece o mesmo: reduzir com segurança a exposição humana a agentes patogênicos, minimizando os riscos de contaminação e promovendo saúde e bem-estar para a população.

Os patógenos são excretados pelos indivíduos infectados, e se não forem adequadamente contidos ou tratados, podem representar um risco para os seres humanos que entram em contato. Esses indivíduos também podem ser expostos a patógenos através da água ou na ingestão de alimentos contaminados encontrados nos excrementos humanos.

Um dos principais objetivos do saneamento é reduzir com segurança a exposição humana a patógenos (CHERNICHARO, 2016).

O crescimento populacional, a infraestrutura envelhecida e a escassez de água, todos exacerbados pelas mudanças climáticas em alguns locais, apresentam desafios para alcançar, tendo em vista por exemplo, atualmente apenas uma pequena porcentagem de águas residuais coletadas é enviada para uma estação de tratamento bem projetada e gerenciada (MOTA, 2010).

O restante pode ser tratado apenas parcialmente ou descarregado diretamente no ambiente sem nenhum tratamento. De fato, cerca de 85 a 95% das águas residuais coletadas são lançadas no meio ambiente sem tratamento nos países em desenvolvimento, contaminando muitas hidrovias que afetam a saúde humana e o meio ambiente (MENDONÇA, 2017).

Afinal o meio ambiente é um dos maiores bem da humanidade, sendo de grande importância a sua proteção afinal sem meio ambiente saudável, não existe vida.

A proteção ao meio ambiente possui sua fundamentação legal na Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que dispõe sobre a política nacional do meio ambiente, e em seu artigo 3º, inciso I, conceitua o que é meio ambiente como sendo “o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas” (BRASIL, 1981).

A Constituição Federal em seu artigo 225 dispõe que o meio ambiente é um bem de uso comum do povo e um direito de todos os cidadãos, das gerações presentes e futuras, estando o poder público e a coletividade obrigados a defendê-lo e a preservá-lo (BRASIL, 1981).

O conceito de meio ambiente é bem mais que um bem público, tendo em vista que o meio ambiente não pertence somente ao Estado, porém pertence a coletividade que possui o dever de defendê-lo e preservá-lo.

Reducir a descarga de águas residuais não tratadas no meio ambiente também é economicamente importante, devido ao grande número de pessoas no mundo que dependem da qualidade da água para sua subsistência e bem-estar como por exemplo os pescadores e os agricultores (MOTA, 2010).

É importante ressaltar que o fornecimento de saneamento básico até 2030 deve ser integrado a soluções de saneamento inovadoras que incorporam a recuperação segura e adequada para a finalidade de recursos valiosos tais como a água, a energia, os nutrientes e os produtos químicos, além de evitar a exposição patógenos em toda a cadeia de saneamento (MENDONÇA, 2017).

A obtenção de saneamento é universal e equitativa para todos e exige acesso a informações e dados sobre patógenos e tecnologias de saneamento.

Se faz necessário a existência de uma rede de membros da comunidade, profissionais e especialistas de todo o mundo, no que se refere a relação entre saneamento e doença.

A importância do saneamento para o bem-estar da comunidade é conhecida há milhares de anos, há evidências arqueológicas de latrinas, fossas e canais de drenagem descobertos no Império da Mesopotâmia, atualmente é o território do Iraque (ROCHA, 2016)

No entanto, a relação entre saneamento e doença não recebeu adoção e promoção mundial até o século XIX, embora muitas cidades usassem banheiros e sistemas de esgoto, eram muito parecidas com as de muitas partes do mundo hoje em que as águas residuais não são tratadas e isso pode espalhar doenças e levar à degradação ambiental (ROCHA, 2016).

Um ponto de virada notável para entender a conexão entre saneamento e doença foi a epidemia de cólera de 1854 em Londres.

Naquela época, o Dr. John Snow e Henry Whitehead descobriram através do mapeamento de como a cólera se espalhava na água contaminada, porque aqueles que adoeciam usavam uma bomba específica para a sua água potável (MENDONÇA, 2017).

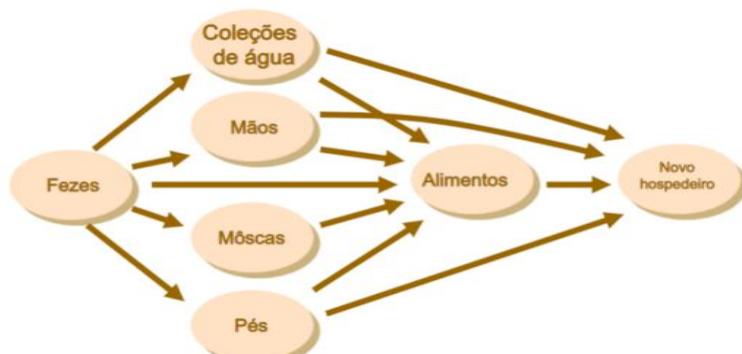
Grande parte do abastecimento de água em Londres na época estava contaminado por fezes humanas, no entanto, muitos dos sistemas de esgoto construídos durante o Grande Despertar Sanitário não forneciam tratamento das águas residuais ou tratavam de questões de saneamento rural. Isso resultou na propagação contínua de doenças e poluição ambiental (ROCHA, 2016).

Outro marco importante relacionado à conexão entre saneamento e doenças ocorreu em 1958, quando os engenheiros Edmund Wagner e Lanoix publicaram um artigo para a Organização Mundial da Saúde intitulado “descarte de excrementos para áreas rurais e pequenas comunidades” que incluía o diagrama-F (ROCHA, 2016).

O diagrama da figura 2 mostra claramente como um novo hospedeiro, a boca, pode ser infectado por matéria fecal, os patógenos, através de diferentes rotas de exposição que envolvem dedos, moscas, alimentos, campos e fluidos.

O diagrama F ilustrado na figura 2 abaixo mostra a relação entre saneamento e doenças, onde tecnologias de saneamento, como por exemplo as fossas sépticas, podem atuar como barreiras contra várias rotas diferentes de exposição a patógenos.

FIGURA 2: Diagrama F



Fonte: Candelária (2019, p. 28)

Mota (2010) explicita que revisões sistemáticas recentes descobriram que a maioria dos estudos determinou uma redução de 30 a 40% na doença de diarréica por causa do saneamento, bem como a existência de uma menor probabilidade de infecção por helmintos transmitidos pelo solo.

O fornecimento de saneamento também pode reduzir a desnutrição, e ainda o atraso no desenvolvimento cognitivo, mas a maioria dos estudos se concentrou nos impactos na doença diarreia de crianças menores de cinco anos para a mesma autora diferentemente das intervenções de lavagem das mãos, é mais difícil e dispendioso conduzir grandes ensaios randomizados de controle de intervenções de saneamento, isso ocorre devido ao maior custo da infraestrutura de saneamento em comparação à lavagem das mãos e a prazos mais longos do projeto.

No geral, a diminuição da incidência de doenças dependerá de uma combinação de melhorias no saneamento, higiene, água e gestão de resíduos, além da necessidade de uma mudança efetiva de comportamento humano.

Apesar da infraestrutura de saneamento possa parecer cara, o retorno do investimento e a criação de empregos são documentados como sendo mais benéfica para a comunidade, além disso, sabe-se que a falta de saneamento causa altos custos e perdas de empregos nos setores industrial, de saúde, agrícola e turístico. Investir em saneamento não apenas tem retornos econômicos positivos, cria empregos e contribui para uma economia vibrante, porém o não investimentos em saneamento pode ter um impacto altamente negativo na economia de uma nação (ALBUQUERQUE & MONTE, 2010).

As águas superficiais poluídas podem afastar turistas em potencial, além de contaminar os produtos agrícolas quando utilizados na irrigação dificultando sua exportação, porém caso exista investimento na infraestrutura proporciona novas oportunidades na indústria para inovar nas tecnologias de saneamento de baixo custo para aproveitar o enorme mercado, pois no Brasil milhões de pessoas necessitam de saneamento de acesso ao saneamento básico.

O saneamento não precisa necessariamente ser implementado em larga escala e usar sistemas caros e complexos de produtos químicos.

Existem muitas opções de custo mais baixo, como sistemas de saneamento no local, incluindo fossas com ventilação melhorada, sanitários tradicionais com dessecação a seco e compostagem, banheiros, sistemas sépticos e sistemas naturais (MORELLI, 2005).

Estão sendo desenvolvidos e implementados sistemas de saneamento de menor custo, com a utilização de tubos de menor diâmetro colocados em valas mais rasas, além disso, tecnologias de saneamento menos intensivas mecanicamente, como reatores anaeróbicos e filtros de

mídia e sistemas de tratamento natural, como lagoas de estabilização de resíduos e zonas úmidas construídas.

Além de ser mais fáceis de operar do que os sistemas de lodo, que são sólidos gerados no tratamento do esgoto, ricos em microrganismos e matéria orgânica ativado, enquanto possuem capacidade semelhante ou mais eficaz para remover patógenos, no entanto, todos esses sistemas de saneamento de baixo custo ainda exigem uma manutenção que nem sempre é levada em consideração na concepção e implementação do projeto.

2.2 Saneamento básico - uma visão geral do biossistema integrado com água de reuso

O fundamental da água é a importância para manutenção da vida no planeta tão importante para a sobrevivência da espécie humana, a conservação e o equilíbrio da biodiversidade. A presença ou ausência de água determina a ocupação de territórios, segundo Bacci e Pataca (2008) este é um fator que ocorre desde o início da civilização, tendo em vista que à medida que a população cresce vem a necessidade de água potável para o consumo, irrigação de plantações etc.

Na sociedade em que vivemos, a água passou a ser vista como recurso hídrico e não mais como um bem natural, disponível para a existência humana e das demais espécies. Passamos a usá-la indiscriminadamente, encontrando sempre novos usos, sem avaliar as consequências ambientais em relação à quantidade e qualidade da água. (BACCI & PATACA, 2008, p.211)

A porcentagem de água doce no mundo equivale a 2,5% do total de água existente no planeta e estão distribuídas em calotas polares, geleiras, rios, lagos, águas subterrâneas e outros reservatórios (REBOUÇAS, 2001).

Rebouças (2001) caracteriza que a demanda de água potável cresceu consideravelmente em proporção ao aumento da população, ainda que este foi um fator que gerou problemas no que diz respeito a distribuição de água a população sendo necessário o bom uso da água. O recurso hídrico é um tema altamente discutido e preocupante, tendo interesse por diversas partes sendo governamental e não governamentais que se preocupam com a sustentabilidade do ambiente para futuras gerações. De acordo com Ghisleni 2006:

É relevante lembrar que, nos últimos séculos, a humanidade se desenvolveu muito, a produção aumentou, o comércio se expandiu, provocando a revolução industrial, marco de muitas conquistas, descobertas e avanços. Nesse processo, a água teve papel fundamental, pois a partir

de seu potencial surgiram a roda d'água, a máquina a vapor, a usina hidrelétrica, entre outros. (GHISLENI, 2006, p.1.)

O termo reciclagem é mais visto para recuperar materiais úteis de lixo, tais como reutilizar a latas de alumínio, garrafas de vidro e jornais, porém a água pode ser reciclada. A reciclagem da água se dá com a reutilização das águas residuais tratadas para fins benéficos, como irrigação agrícola, processos industriais, lavagem do vaso sanitário e reabastecimento de uma bacia de água subterrânea (GHISLENI, 2006).

As comunidades em todo o mundo enfrentam desafios no abastecimento de água devido à crescente demanda, tais como a seca, o esgotamento, a contaminação das águas subterrâneas e a existência de dependência de fontes únicas de suprimento. A recuperação da água, a reciclagem e a reutilização chamam esses desafios na busca de uma solução no que se refere a recursos hídricos, existindo uma necessidade de criação de novas fontes de abastecimento de água de alta qualidade.

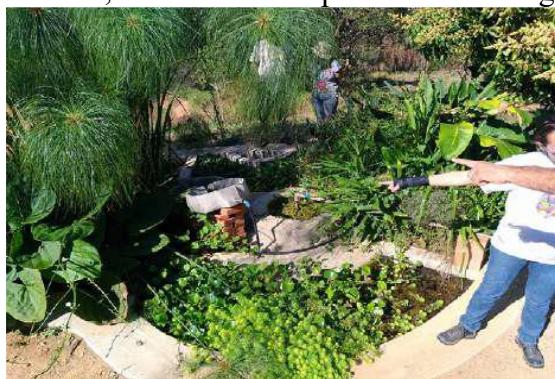
O potencial futuro para efluentes tratados recuperados é enorme, embora a recuperação e a reutilização de água sejam praticadas em muitos países ao redor do mundo, os níveis atuais de reúso constituem uma pequena fração do volume total de efluentes e industriais gerados (GHISLENI, 2006).

Além disso, para atender suas crescentes necessidades de abastecimento de água as comunidades estão considerando outras fontes não tradicionais, como fluxos de retorno agrícola, concentrado, outros córregos de águas residuais, águas pluviais, coprodução de água resultante das indústrias de energia e mineração, bem como a dessalinização de água do mar e águas subterrâneas.

A reutilização da água proporciona uma ampla gama de benefícios para as comunidades, o que se traduz em criar um imenso valor para o meio ambiente (ALBUQUERQUE & MONTE, 2010).

Os benefícios da reutilização da água, no entanto, podem ser difíceis de quantificar e muitas vezes não são reconhecidos. Um dos benefícios mais significativos da reutilização da água é o valor criado no planejamento integrado de recursos hídricos. E outro aspecto da política de água é a implementação de projetos que resultem na sustentabilidade a longo prazo (MORELLI, 2005).

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



Fonte: Tonetti (2018)

Estes conceitos integrados que envolvem a convergência de áreas diversas como governança, riscos à saúde, regulação e percepção pública, também representam um desafio significativo para a reutilização da água.

Essas conexões complexas podem afirmar influências iguais sobre os benefícios e desafios associados à reutilização da água, ao abordar estas complexas questões integradas surgem uma série de barreiras e impedimentos significativos para a implementação generalizada de projetos de reutilização (ALBUQUERQUE & MONTE, 2010).

Existem numerosos exemplos de barreiras enfrentadas pelos projetos atuais de reutilização de água em todo o mundo tais como: a necessidade de tecnologias inovadoras, transferência de tecnologia, novas aplicações, necessidade de educação pública, conscientização da população, a existência de divulgação para informar sobre os benefícios da reutilização da água, além da falta de financiamento disponível para projetos de reutilização de água. (GHISLENI, 2006).

Conceitos integrados também podem ser fatores em uma série de tendências que afetam a reutilização da água.

Globalmente as tendências atuais incluem a abordagem de poluentes emergentes preocupantes, o uso de tratamentos avançados de águas residuais incluindo membranas X-flow, bem como a reutilização indireta de água potável.

Sendo importante a percepção pública e uma maior compreensão da economia de reúso de água, na recarga de água subterrânea, no armazenamento e recuperação de aquedutos, na utilização de fontes alternativas para a restauração do sistema ambiental, as utilizações inovadoras para a reutilização não potável da água e dos sistemas descentralizados, bem como a utilização de informações via satélite (ALBUQUERQUE & MONTE, 2010).

Uma vez que essas tendências são desenvolvimentos emergentes no campo da recuperação e reutilização da água, há uma série de necessidades de pesquisas associadas a esses tópicos. Dessa forma a investigação é necessária para compreender melhor as questões para desenvolver tecnologias inovadoras.

A água reciclada para a irrigação da paisagem requer menos tratamento do que a água reciclada para a água beber.

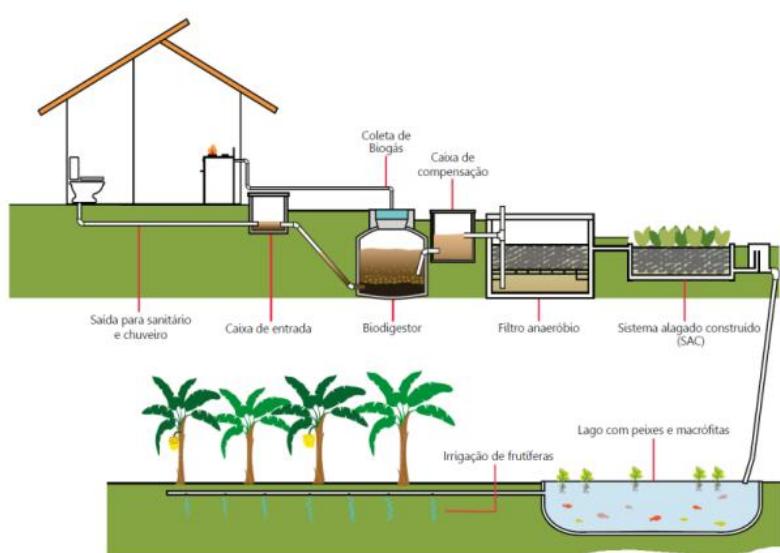
Um dos tipos mais comuns de água reciclada é a água que foi recuperada de águas residuais municipais ou esgoto.

O reúso de água tem no exemplo do sistema biossistema integrado - BSI que Tonetti explica que:

BSI se baseia no aproveitamento total do esgoto sanitário, Esgoto formado pela combinação dos esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária, através de um ciclo de tratamento integrado às atividades produtivas locais, reciclando o potencial energético (com uso do biogás), a água e os nutrientes (Tonetti , 2018, p. 96).

O sistema de biossistema integrado é comum no reúso de água não planejada, tendo em vista que as cidades extraem seus suprimentos de água de rios que recebem descargas de águas residuais a montante.

FIGURA 4: Esquema de biossistema integrado (BSI).



Fonte: Tonetti (2018)

A água foi reutilizada, tratada e canalizada para o abastecimento de água várias vezes antes de o último utilizador a jusante retirar a água. Projetos planejados são aqueles que são desenvolvidos com o objetivo de beneficiar e reutilizar um abastecimento de água reciclada.

A biosistema integrada é a opção para tratamento de esgoto por fossa séptica em comunidades de pequeno porte, com o esgoto tratado o resíduo líquido gerado após a passagem do esgoto pelo sistema de tratamento, pelo BSI pode ser integrado a sistemas produtivos como um tanque de algas, peixes, plantas aquáticas ou macrófitas.

A construção destes tanques é opcional, mas eles são responsáveis pela depuração final do esgoto e a produção de peixes, plantas aquáticas e algas (COELHO & DUARTE, 2018).

A água reciclada pode satisfazer a maioria das demandas, desde que seja adequadamente tratada para garantir a qualidade da água apropriada para o uso.

Onde existe uma maior exposição humana à água, mais o tratamento é necessário, pois qualquer fonte de água que não é devidamente tratada acarretará problemas de saúde ao beber ou estar exposto a água reciclada se contém organismos causadores de doenças ou outros contaminantes (MORELLI, 2005).

FIGURA 5: BSI que atende uma família e uma escola é feito por dois filtros biológicos e um tanque de macrófitas



Fonte: Tonetti (2018)

Os benefícios ambientais do reúso de água além de fornecer um abastecimento de água confiável e controlado localmente proporciona tremendos benefícios ambientais.

Ao fornecer uma fonte adicional de água, o reúso da água pode ajudar a encontrar maneiras de diminuir o desvio de água de ecossistemas sensíveis.

Outros benefícios incluem a diminuição das descargas de águas residuais e a redução e prevenção da poluição. A água reciclada também pode ser usada para criar ou melhorar o ambiente.

Rebouças (2001, p. 1) escreve que "a água é um recurso finito e fator competitivo do mercado seu uso eficiente torna-se mais importante que ostentar sua abundância".

Existe uma tendência crescente de exigir um uso mais eficiente dos recursos hídricos, tanto em ambientes urbanos como rurais.

As atitudes sociais para o uso de culturas que foram irrigadas com águas recicladas e o impacto resultante sobre o valor de mercado são uma consideração importantes aos benefícios do uso de diferentes tipos de água reciclada, e delineará os conhecimentos atuais e opiniões relacionadas a riscos, tais como questões de qualidade da água.

No novo paradigma da globalização, porém, a disponibilidade de água doce torna-se cada vez mais um negócio e fator econômico competitivo do mercado. A falta de consideração ou de conhecimento desta perspectiva vem colocando a América Latina, em geral, e o Brasil, em particular – cujos potenciais de água doce são os maiores do mundo – na vala comum dos países desenvolvidos e periféricos que, efetivamente, já enfrentam problemas de escassez de água. (REBOUÇAS, 2001, p. 329).

Em várias localidades no Brasil as atitudes sociais para o uso de culturas foram agravadas por prolongados períodos de seca ou temporadas de baixa precipitação. Além do que a reutilização de água é apenas uma fonte que tem potencial para uso em um ambiente agrícola.

A água reutilizada tem, no entanto, uma grande vantagem, uma vez que é normalmente uma fonte constante. Particularmente como fontes de esgotos tratados ou de descargas industriais, além de serem uma fonte constante de água, são adequadas para reutilização, geralmente são produzidas em grandes volumes que, se não forem utilizados, seriam simplesmente descarregados no ambiente, por exemplo, na descarga de efluentes. tratados ou não, correndo o risco de causar a degradação severa destes meios de água.

A degradação é muitas vezes relacionada com a presença de nutrientes orgânicos e inorgânicos que podem causar impactos. A reutilização destes efluentes descarregados pode ter um impacto significativo na redução ou remoção total desses efluentes dos ambientes receptores, além disso, a reutilização de águas residuais para fins como a irrigação agrícola reduz a quantidade de água que precisa ser extraída de fontes ambientais.

A irrigação é o setor que mais consome água mundialmente e o menos eficiente, ficando o valor médio mundial das perdas entre 50 e 70% (FAO, 1998). No Brasil, dos quase três milhões de hectares irrigados, sobre mais de 95% utilizam-se os métodos menos eficientes: espalhamento superficial, pivô central e aspersão convencional (Telles, 1999). Desta forma, a crise atual de abastecimento de água resulta

fundamentalmente da má distribuição dos potenciais de água doce disponíveis, a qual vem sendo sensivelmente agravada pelo crescimento desordenado das demandas locais se, sobretudo, pelo fato de a degradação da sua qualidade ter atingido níveis não previstos, tanto no meio urbano quanto no rural. (REBOUÇAS, 2001, p. 330).

Há fatores que precisam ser considerados, incluindo as doenças, contaminantes químicos, bem como a salinidade e os impactos na estrutura do solo. Estes podem ser controlados através de tratamentos e de práticas eficazes de gestão de reúso e melhorar o uso de água para outros fins entre eles a irrigação que tende de aumentar a confiança do público (ALENCAR, 2009).

Em muitas regiões isso colocou fortes tensões nos recursos existentes com os impactos ambientais resultantes, um exemplo no Brasil é a obra do Rio São Francisco, onde o rio de água potável está sendo esgotado por uma combinação de usos como fonte pública de água potável, irrigação hortícola e o posicionamento de plantações.

FIGURA 6: BSI semicoletivo em início de operação. Sistema de zonas de raízes flutuantes com papiros (ao fundo) e tanque com aguapés (primeiro plano) em pousada de Ubatuba-SP



Fonte: Tonetti (2018)

Cabe ainda ressaltar que o conceito de sustentabilidade na valorização e reutilização de águas residuais deve ser expresso de forma realista, a prática adequada para a reutilização sustentável de águas residuais, considerando não apenas aspectos técnicos e econômicos, mas também ambientais e sociais da reutilização de águas residuais.

Se faz necessário adotar estratégias alternativas baseadas em diferentes tecnologias de tratamento e armazenamento que são formuladas combinando elementos como diferentes tratamentos, diferentes locais de disposição tais como o padrão de cultura e o preço da água.

2.3 Águas residuais

O tratamento de águas residuais é o meio pelo qual a água que foi usada e contaminada por seres humanos ou pela natureza é restaurada para uma qualidade desejável. O tratamento pode consistir em processos químicos, biológicos, físicos ou uma combinação deles.

2.4 Visão geral das águas residuais domésticas

Os esgotos são resíduos transportados pela água, em solução ou suspensão que fluem para longe de uma comunidade. Também é conhecido como fluxo de águas residuais ou abastecimento de água usado pela comunidade. É mais de 99,9% de água pura, caracterizada por seu volume ou taxa de fluxo, sua condição física, seus constituintes químicos e os organismos bacteriológicos que ela contém.

Dependendo de sua origem, as águas residuais podem ser classificadas como escoamento sanitário, comercial, industrial ou superficial.

A água gasta de residências e instituições, levando resíduos corporais, água de lavagem, resíduos de preparação de alimentos, resíduos de lavanderia e outros resíduos da vida normal, é classificada como esgoto doméstico ou sanitário. Os resíduos líquidos transportados de lojas e estabelecimentos de serviço que atendem à comunidade imediata, denominados resíduos comerciais, são incluídos na categoria de esgoto sanitário ou doméstico, se suas características forem semelhantes aos fluxos domésticos.

Os resíduos resultantes de um processo industrial, produção ou manufatura de bens são classificados como resíduos industriais. Seus fluxos e pontos fortes são geralmente mais variados, intensos e concentrados do que os do esgoto sanitário. O escoamento superficial, também conhecido como fluxo de tempestade ou fluxo terrestre, é a parte da precipitação que corre rapidamente sobre a superfície do solo até um canal definido. A precipitação absorve gases e partículas da atmosfera, dissolve e lixivia materiais da vegetação e do solo, suspende a matéria da terra, lava derramamentos e detritos das ruas e rodovias urbanas, e transporta todos esses poluentes como resíduos em seu fluxo para um ponto de coleta.

As águas residuais de todas essas fontes podem transportar: organismos patogênicos que podem transmitir doenças aos seres humanos e outros animais; contêm matéria orgânica que pode causar problemas de odor e incômodo; reter nutrientes que possam causar eutrofização que é processo do resultado da poluição de lagos, lagoas ou rios pelo lançamento de esgotos ou lixiviados dos fertilizantes agrícolas, dos corpos d'água receptores; e pode levar à eco

toxicologia. A coleta adequada e o descarte seguro e sem incômodos dos resíduos líquidos de uma comunidade são legalmente reconhecidos como uma necessidade em uma sociedade urbanizada e industrializada.

A maneira mais fácil de entender a complexidade das águas residuais domésticas é examinar as descargas de resíduos dos banheiros e cozinhas, é importante considerar que quase todos os produtos que se compra acabarão em algum momento no sistema de águas residuais, como um resíduo de uso ou degradados pelo consumo, deve se imaginar os produtos por exemplo dos supermercados, em algum momento tudo vai acabar em um esgoto em algum lugar, exceto, é claro, os recipientes e embalagens.

No banheiro, os restos de suas refeições, juntamente com produtos químicos de decomposição metabólica, serão combinados com papel, produtos de limpeza de banheiro e água a ser descartada no sistema de tratamento.

Os antibióticos que se tomou recentemente que podem atrapalhar o funcionamento eficaz das bactérias anaeróbias na fossa séptica.

Na cozinha, os restos descartados da preparação e limpeza de alimentos, juntamente com óleos e graxas, detergentes para lavar louça e outros produtos químicos, fornecem uma carga sólida e líquida ao sistema de tratamento.

As bactérias das carnes em decomposição e dos vegetais em decomposição serão descarregadas à medida que você lava os utensílios.

E ainda na cozinha moderna, os óleos vegetais que permanecem líquidos à temperatura ambiente, mas também a pasta de dente, os géis para o cabelo, os desodorizantes pessoais, o talco, os cremes para o corpo, os corantes capilares e os montes de outros produtos pessoais são apenas alguns dos ingredientes.

Quando o sistema de tratamento consiste em uma fossa séptica no local ou em um sistema de tratamento de águas residuais aeradas, as consequências dessas adições sólidas e químicas podem interferir no assentamento no tanque primário, como será discutido abaixo.

Talvez o impacto mais grave do efluente esteja na estabilidade estrutural e na permeabilidade do solo na área de aplicação da terra, enquanto a cozinha contribui com apenas uma pequena proporção da água residual gerada por uma única família, geralmente é a carga de sólidos facilmente removíveis que causa o maior impedimento ao tratamento e descarte.

Infelizmente, muitas das diretrizes para o tratamento e descarte de águas residuais domésticas dependem do cálculo da carga de nutrientes nos solos com base em uma saída volumétrica da residência, água medida em litros por dia, no entanto, é a carga de contaminantes

que precisa ser avaliada em cada um dos quatro pontos de geração, ou seja, a carga é calculada pela massa de contaminante, miligramas por litro, multiplicada pelo volume de água litros.

Os contaminantes são os produtos e seus respectivos subprodutos que se adiciona à água podem ter algum valor ambiental positivo ou podem ser produtos com os quais preferimos não tratar.

Precisa-se considerar três componentes das águas residuais: a água; os orgânicos que são as bactérias, as parasitas e os vermes; e os inorgânicos.

As descargas diárias de águas residuais e as respectivas cargas hidráulicas e de nutrientes no ambiente estão sujeitas a vários métodos de cálculo, os resultados podem superestimar ou subestimar o impacto potencial sem avaliar o risco, impondo tratamento inadequado através de fossas sépticas de tamanho incorreto ou muito grandes ou pequenas, ou as áreas de aplicação de terra muito grandes ou pequenas hidraulicamente.

2.5 Os princípios de tratamento

As águas residuais domésticas, como discutimos acima, são composições líquidas de água de várias qualidades como por exemplo a água da cidade, água da chuva, água de poço, os sólidos, os produtos químicos, óleos e graxas, as bactérias, os minerais como areia, solo e osso.

A composição varia ao longo do dia devido à atividade doméstica normal essas médias podem ou não refletir verdadeiramente o agregado familiar individual, ou mesmo uma média populacional.

As águas residuais geradas a partir de cada um dos equipamentos da casa, como o vaso sanitário, o lavatório, o chuveiro, o banheiro, a cozinha e a lavanderia são direcionadas através de um tubo de águas residuais para o tanque de tratamento primário.

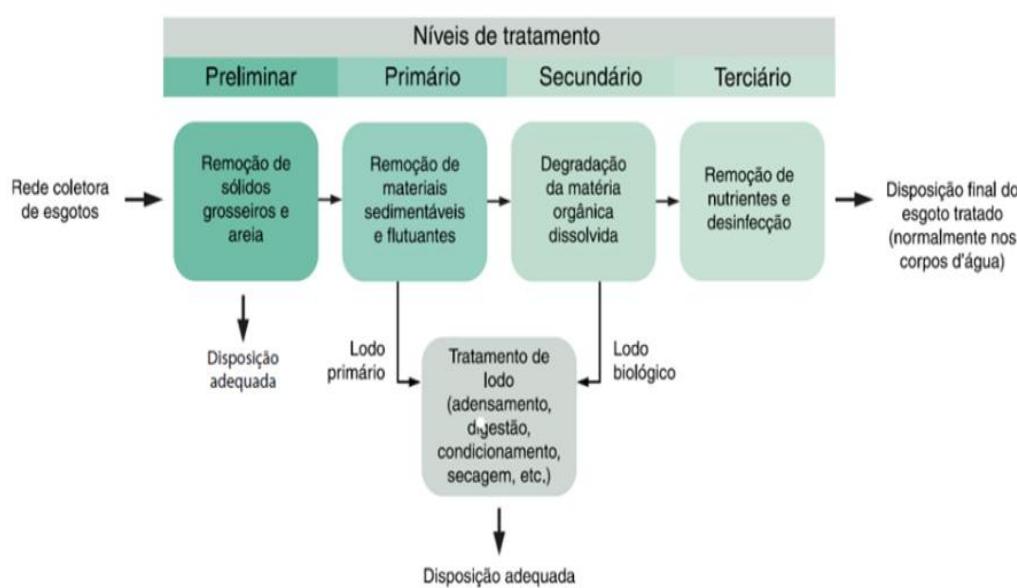
Todos os resíduos líquidos e sólidos são misturados em um recipiente estanque à água com capacidade de aproximadamente 2000 L ou maior. Landau e Moura (2018) citam dados do IBGE.

Dados do IBGE trazem a informação de que o tipo de esgotamento sanitário mais frequente em domicílios urbanos brasileiros é a rede geral de esgoto ou pluvial, presente em 64% das casas amostradas. No entanto, as fossas rudimentares e as fossas sépticas ainda estão presentes em 20 e 11%, respectivamente, dos domicílios urbanos e há ainda a disposição direta em ruas ou corpos d'água e residências sem banheiros

em pouco mais de 5% dos domicílios (LANDAU & MOURA, 2018, p. 30)

Segundo Tonetti (2018) um sistema convencional de tratamento de esgoto, normalmente centralizado e de grande porte, consiste no direcionamento de todo o esgoto doméstico coletado para uma estação que pode abranger até quatro níveis de tratamento: preliminar, primário, secundário e terciário.

FIGURA 7: Um sistema convencional de tratamento de esgoto: preliminar, primário, secundário e terciário



Fonte: Tonetti (2018)

O recurso de pré-tratamento em um sistema de cluster é frequentemente uma versão maior das encontradas em alguns sistemas individuais no local, como aeração, pantanais construídos ou filtros de mídia, seguidos por dispersão do efluente tratado no solo sistema de absorção.

Por causa da absorção do solo, os sistemas de cluster requerem mais área do que sistemas municipais de tratamento que descarregam.

Há uma variedade de pré-tratamento alternativo no local, as tecnologias estão sendo testadas e instaladas em todo o país, como por exemplo, os filtros de mídia, onde as águas residuais circulam através do filtro para arejar as águas residuais com o efluente retornado para a câmara da bomba para misturar com a entrada de baixo oxigênio nas águas residuais da fossa séptica, são amplamente utilizado para melhorar a remoção de nitrogênio e redução de patógenos em menor área de absorção requisitos.

O tratamento primário são águas residuais misturadas que sofrem turbulência quando entram no tanque, quebrando sólidos, fezes e papel, desde que o tanque tenha sido dimensionado corretamente, o líquido passará por períodos de sedimentação antes da chegada da próxima onda de águas residuais.

Durante esse período silencioso, os sólidos menos densos que a água, como por exemplo as graxas, os óleos e as gorduras, são carregados por gases que flutuam para a superfície, onde fazem parte de uma espuma sobre toda a superfície do líquido. Essa escória flutuante é uma parte essencial do processo de tratamento, pois exclui a transferência livre de ar, o oxigênio, na superfície da água e a digestão líquida consome rapidamente todo o oxigênio e bactérias anaeróbias que vivem na ausência do oxigênio degradam os componentes orgânicos.

Os ossos, a areia, o solo, o material fecal pesado, depositam-se no fundo como lodo. As bactérias anaeróbicas produzem os gases, o metano, a amônia e outros gases complexos que dão ao tanque séptico um odor de mofo, esteja ciente de que as emissões de gases de fossas sépticas são explosivas e venenosas. Assim, os processos primários de tratamento são as separações de partículas, da sedimentação, da suspensão e de flutuação e de decomposição anaeróbica.

No processo de tratamento primário, as águas residuais entram no tanque séptico da esquerda e fluem abaixo da camada de espuma, que se desenvolve na superfície. A peça em 'T' garante que o fluxo de resíduos entre abaixo da superfície. As águas residuais, o líquido juntos com sólidos arrastados se misturam com o conteúdo líquido do tanque, e as partículas mais densas depositam-se no fundo e as mais leves flutuam na superfície para se tornarem parte da vedação da escória da superfície (FAUSTINO, 2007).

Essa escória na superfície é a parte mais importante da operação, pois exclui o ar do líquido, permitindo que as bactérias anaeróbicas prosperem.

Em algumas áreas, os proprietários de casas são "enganados" pela descarga os emprieteiros e acreditam que o tanque está cheio quando há uma escória na superfície. Um tanque séptico eficaz geralmente requer apenas a retirada a cada três a sete anos, dependendo da vigilância do que entra no sistema.

Enquanto mantidos no tanque, os sólidos podem se separar em pequenas partes, e grandes pedaços se tornam pequenos, e algumas partículas muito pequenas, as colóides, podem se aglomerar e assentar no fundo, enquanto outras permanecem em suspensão por longos períodos. Por esse motivo, o volume de água no tanque deve ser pelo menos o volume de 24 horas de geração de águas residuais, após permitir a máxima formação de lodo e espuma.

A porção líquida é composta de água, componentes dissolvidos e materiais em suspensão, que não têm massa suficiente para diminuir o volume ou são leves o suficiente para flutuar. As bactérias podem começar a decompor qualquer um desses três componentes, a espuma, o líquido, o lodo.

As bactérias anaeróbicas vivem neste ambiente em que o oxigênio é um veneno, o oxigênio que entra nas águas residuais é rapidamente consumido e, em geral, o nível de oxigênio dissolvido será próximo de zero.

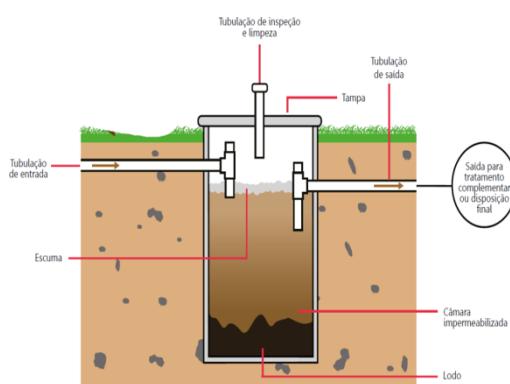
A descarga será anaeróbica, na qual a amônia, o sulfeto de hidrogênio, metano e outros odores podres são gases dissolvidos, deve se estar ciente que esses gases são venenosos e alguns até explosivos (FAUSTINO, 2007).

Se um tanque séptico deve cheirar embora existam muitos gases desagradáveis e prejudiciais em uma fossa séptica anaeróbica, a camada de escória geralmente minimiza sua liberação para a atmosfera, portanto, quando uma camada de escória sólida seca se formar, os odores serão menores, e quando a camada de espuma está aquosa, quebrada ou não se forma, os cheiros serão sempre mais visíveis.

Um defletor pode ser usado para formar dois compartimentos em um tanque, sendo a primeira câmara cerca de 2/3 do volume total e a segunda câmara o restante 1/3. O defletor possui orifícios abaixo da camada de espuma para permitir que os resíduos passem lentamente da primeira para a segunda câmara.

A saída está na segunda câmara onde as águas residuais foram parcialmente filtradas, porém continua sendo uma água muito suja, fedorenta e com grandes populações de centenas de espécies de bactérias, além de vírus e parasitas. O tratamento primário é pouco eficiente para reduzir a natureza contaminada da água (CARVALHO & ANDREOLI, 2009).

FIGURA 8: Esquema de tanque séptico



Fonte: Tonetti (2018, p. 30)

Ao longo dos anos, a escória se acumulará a um ponto em que, se for permitido continuar, seria profunda o suficiente para transbordar pela saída. Da mesma forma, se o lodo acumular muito, pode ser sugado com a descarga.

O tanque primário foi projetado para limitar a descarga dentro de limites razoáveis, portanto, em algum momento, a fossa séptica terá que ser retirada do lodo, dependendo da taxa de acúmulo de espuma e lodo (ANDREOLI, 2009).

As descargas típicas do tanque séptico, agora chamadas de efluentes porque passaram por um processo de tratamento, em vez de águas residuais não tratadas, têm sólidos suspensos totais em pH, o potencial hidrogeniônico, esse parâmetro usado para determinar o estado de acidez ($\text{pH} < 7$), basicidade ($\text{pH} > 7$) ou neutralidade ($\text{pH}=7$) da água, a condutividade elétrica demanda de bioquímica de oxigênio – DBO que é uma quantidade indireta da concentração de matéria orgânica biodegradável de uma amostra de água ou esgoto.

Os valores de DBO representam a quantidade de oxigênio necessária para a decomposição biológica da matéria orgânica (digestão por bactérias) (FAUSTINO, 2007).

A visualização das bactérias não é possível ao olho nu, sendo necessário a utilização de microscópios, algumas bactérias são cultivadas em condições especiais até formar colônias visíveis como pontos em um filtro. Essas colônias podem ser contadas e relatadas. Milhares de espécies de bactérias vivem em uma fossa séptica que se tornam parasitas no intestino de animais de sangue quente (CARVALHO. & ANDREOLI, 2009).

FIGURA 9: Vista geral de RAFA comercial, instalado ao lado da caixa para retirada e secagem do lodo, feita com tijolos.



Fonte: Tonetti (2018)

O tratamento secundário ocorre quando o efluente primário passa para um segundo tanque, onde o ar é adicionado ao efluente primário para favorecer as bactérias aeróbicas,

necessitam de oxigênio, que degradam ainda mais os orgânicos através de um processo de oxidação.

Em um sistema de fossas sépticas, esse tratamento secundário ocorre no ambiente do solo. Os sistemas de engenharia, como o de tratamento de águas residuais aeradas, fornecem o ar na forma de bolhas, para o efluente que flui da primeira câmara de tratamento primário para a câmara de aeração do tratamento secundário (FAUSTINO, 2007).

Nesse estágio, as bactérias aeróbicas são cerca de dez vezes mais eficazes na degradação dos orgânicos, que transforma sólidos em produtos solúveis, produzindo apenas dióxido de carbono e água como subprodutos dessa respiração.

As águas residuais aeradas, portanto, não têm cheiro quando estão funcionando corretamente e ainda a cloração pode ser adicionada após o efluente secundário passar para o tanque de clarificação.

FIGURA 10: Processo de tratamento secundário de esgoto, com tecnologia conhecida como lodos ativados.



Fonte: Tonetti (2018)

O tratamento terciário são sistemas de engenharia adicionais geralmente são caros e difíceis de gerenciar para o único sistema de águas residuais domésticos. Assim, o tratamento terciário ocorre no ambiente do solo, fornecido por aplicação de spray de superfície, gotejadores de superfície, no solo, processos químicos, físicos e biológicos que degradam ainda mais o efluente até que exista apenas sais, nutrientes de plantas, água e um ambiente biológico aprimorado. Os patógenos, bactérias e vírus nocivos são imobilizados perto da área de aplicação, onde são consumidos por outras bactérias ou morrem em um ambiente hostil. O objetivo do gerenciamento de águas residuais em ambientes domésticos é retornar à água ao ciclo hidrológico e tornar os componentes químicos inofensivos ou benéficos para plantas e organismos do solo (CARVALHO & ANDREOLI, 2009).

A separação das águas residuais tem dois componentes a água negra e a cinza. A água negra é o esgoto gerado pela descarga de urina e fezes no vaso sanitário, sinônimo de águas fecais, essa consiste na combinação de águas residuais do banheiro e da cozinha.

Embora seja óbvio porque a água do banheiro pode estar altamente contaminada, o entendimento das águas residuais da cozinha tem mais a ver com sólidos, graxas, óleos e produtos químicos agressivos, tanto em água quente quanto em fria.

É provável que esses contaminantes bloqueiem os filtros ou forneçam atrativos para os vermes, ratos, camundongos e moscas, portanto, o descarte deles no tanque séptico é o mais apropriado para a saúde pública e ambiental (BENJAMIN, GOMES& TAVARES, 2017).

As águas cinzas do banheiro e da lavanderia podem estar contaminadas por bactérias, presentes na matéria fecal, além de produtos químicos e sólidos, ao pré-filtrar pode remover os pedaços maiores e permitir a dispersão através de um sistema de irrigação.

Em mais de 750 mil residências no Brasil a falta de uma conexão de esgoto municipal, não significa que controles sanitários apropriados de resíduos humanos e domésticos não possam ser eficazes para minimizar a poluição e evitar impactos externos à saúde.

Os regulamentos são bastante claros quanto aos critérios de desempenho que serão aplicados pelos conselhos locais ao inspecionar os sistemas locais, mas infelizmente, a legislação usa o termo impedir, quando se refere a esses impactos e não prevenir.

O lixo humano é uma fonte potencial de riscos amplos à saúde e ao meio ambiente, para minimizar esses riscos a solução é a existência de sistemas de tratamento eficazes e econômicos no local. O reúso sustentável da água e dos nutrientes também pode ser considerado relevante, embora a tarefa principal seja negar as possíveis consequências ambientais e de saúde do tratamento e aplicação da terra.

O trabalho para desenvolver um design que incorpore um uso benéfico será mais bem gerenciado e mantido do que aquele que simplesmente descarta resíduos para a opção mais barata, deve se lembrar que a opção mais cara pode não ser a mais confiável e eficiente em termos de energia.

É possível observar na figura 11 de uma Estação de Tratamento de Esgotos - ETE, que trata grandes quantidades de esgotos sanitários, normalmente, é parte integrante de um sistema de tratamento centralizado, no qual recebe todo o esgoto gerado em uma região e reunido por uma rede coletora subterrânea (BENJAMIN, GOMES& TAVARES, 2017).

FIGURA 11: Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).



Fonte: Tonetti (2018)

Avanços também estão sendo feitos por componentes de absorção. A areia ou cascalho usado em filtros está sendo substituído por leve mídia artificial que pode ser fabricada em uma fábrica e rapidamente instalado no local. Essas tecnologias reduzirão o trabalho de instalação e a velocidade instalação. Opções de eliminação final de alguns sistemas alternativos de esgoto, esvaziam o esgoto convencional principal que leva a uma centralização de instalação de tratamento municipal (BUENO, 2017).

Este pode ser o plano mais econômico para as comunidades que tem essa opção, no entanto, em pequenas comunidades não possui uma estação de tratamento de águas residuais próxima ou pode ser muito pequena para lidar com o fluxo de águas residuais, porém existem outros tratamentos alternativas a serem consideradas por essas comunidades.

Se um local e uma área de solo adequados puderem ser localizados nas proximidades, pode ser prático, dispersar o efluente sistema de bombas de fossas sépticas e pequenos esgotos por gravidade de diâmetro em uma grande comunidade campo de absorção do solo subterrâneo, semelhante aos menores utilizados para residências com sistemas sépticos. Geralmente esse efluente é tratado primeiro em uma unidade de pré-tratamento, como discutido acima, para melhorar o desempenho do sistema do solo.

Existem várias alternativas ao convencional sistema de absorção de solos de valas e montes. As alternativas agregam para o campo de absorção de trincheiras, como câmaras e sem cascalho, embora um pouco mais caras, são atraentes para proprietários e instaladores devido à facilidade de transporte, a instalação é rápida e elimina a necessidade de grandes quantidades (BUENO, 2017).

Em vários estados, os sistemas de irrigação por gotejamento estão sendo usados devido à sua capacidade de colocar pequenas quantidades de polegadas abaixo da superfície do solo,

onde os nutrientes podem ser ocupados por plantas no gramado, em vez de lixiviação nas águas subterrâneas (ALENCAR, 2009).

FIGURA 12: Meio de irrigação por gotejamento



Fonte: Tonetti (2018)

Para desenvolver um projeto comunitário de águas residuais os líderes comunitários ou responsáveis deverão considerar uma infraestrutura que precisa estabelecer algumas bases preliminares a fim de educar e obter apoio público. Deve se guiar pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 7229/1993– Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos) e NBR 13969/1997 que dispõe sobre tanques sépticos e unidade de tratamento complementar, que é o destino do esgoto tratado, após passagem pelo(s) sistema(s) de tratamento de esgoto, dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação (ABNT, 1997).

Os seguintes passos são críticos e devem ser tomados antes da solicitação de profissionais de serviços de engenharia, consultores ou outros profissionais. Muitos desses passos podem ser seguidos simultaneamente para garantir que os projetos avancem em tempo hábil, como por exemplo, a documentação da saúde pública e ambiental, problemas associados ao tratamento inadequado e disposição de águas residuais domésticas no projeto área (BUENO, 2017).

Após a obtenção de documentação necessária, oferecimento de serviços públicos de educação é o próximo passo importante, pois a comunidade precisa saber sobre os problemas de saúde e doenças que podem ser causados pela água devido ao contato com patógenos, contaminação por nitratos etc. A educação pública pode incluir a distribuição de literatura para a comunidade sobre os contaminantes encontrados em águas residuais não tratadas. Cabe ressaltar que as reuniões públicas para obter aceitação do orçamento mensal é importante para o projeto, a população envolvida poderá debater os problemas da comunidade o que é de grande importância crítica em todo o projeto a ser desenvolvido.

As reuniões públicas devem ser bem divulgadas com aviso prévio razoável para otimizar as participações, é importante determinar um quórum mínimo além de da quantidade de reuniões públicas a serem realizadas. Líderes comunitário e o comitê de voluntários devem estar familiarizados e atualizados com a pauta da reunião pública, bem como os programas de financiamento público, para que assim consigam passar as informações necessárias para a população local.

Em algum momento da fase da educação comunitária, ou durante as primeiras reuniões públicas, o comitê consultivo voluntário deve ser estabelecido, para servir como um corpo coletivo para mover o projeto adiante. O comitê precisa ser composto por moradores que vivem na comunidade e que não são percebidos como ocultos nas agendas.

É aconselhável incluir voluntários que são respeitados na comunidade e um número ímpar para evitar o empate na votação. Para esclarecer sobre as considerações sobre design e instalação das tecnologias de sistema de cluster requer a participação de engenheiro e especialistas que tenham experiência com o sistema específico.

Somente após a comunidade iniciado a fase preliminar, que são as etapas da documentação e reuniões com a população, o projeto deve considerar a busca de serviços profissionais para completar o relatório preliminar de engenharia. Cabe ressaltar no que diz respeito as fossas sépticas e o meio ambiente, ao relatar sobre os benefícios do tratamento tais como a eliminação do desperdício, reciclam a água, o reabastecimento natural dos lençóis freáticos.

O lençol freático marca a zona em que todos os poros do solo estão cheios de água ou saturados. O nível do lençol freático é a profundidade em que este se encontra, e pode ser observado nos poços rasos, caipiras ou freáticos. É benéfico para a vegetação circundante e a vida selvagem também, além disso, as fossas sépticas são uma opção muito mais acessível, do que instalar um sistema de esgoto completo. O custo total do projeto, instalação e manutenção de um sistema séptico é menor do que de um sistema público de esgoto e com manutenção adequada poderá durar anos.

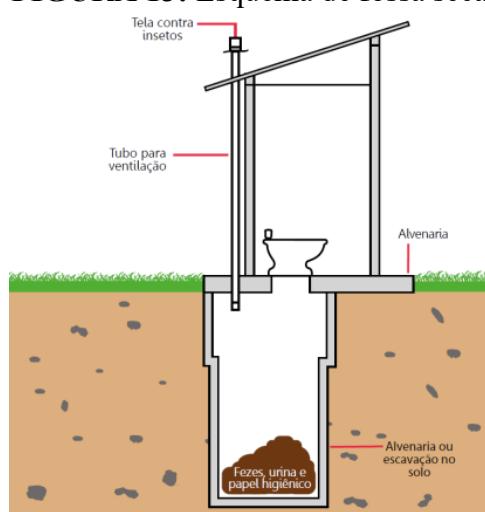
2.6 Sistemas de saneamento doméstico

As orientações sobre alguns dos sistemas de saneamento mais utilizados, cada um descreve a aplicabilidade do sistema em diferentes contextos: considerações de projeto, operação e manutenção, e mecanismos para proteger a saúde pública em cada etapa da cadeia de serviços de saneamento. Dependendo da configuração, várias opções de infraestrutura e tecnologia de

saneamento podem ser projetadas, combinadas, operadas e gerenciadas em diferentes escalas para formar uma cadeia de serviços funcional.

A utilização do sistema de fossa seca como uso de único poço para coletar e armazenar excrementos, pode ser usado com ou sem água de descarga, dependendo do banheiro as entradas para o sistema pode incluir urina e fezes, esse está diretamente conectado a um único poço ou a única fossa (ANDRADE& LIMA, 1999).

FIGURA 13: Esquema de fossa seca



Fonte: Tonetti (2018)

À medida que o poço enche, o lixiviado permeia para o solo circundante quando o poço está cheio, o lodo fecal precisa ser esvaziado e transportado para tratamento.

FIGURA 14: Fossa seca construída com folhas de coqueiro

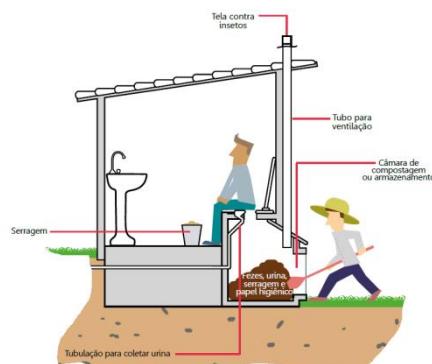


Fonte: Tonetti (2018)

Um outro sistema é para banheiro seco com água potável ou nivelado com disposição no local, este sistema é baseado no uso de uma tecnologia de poço único para coletar e

armazenar excrementos. O sistema pode ser usado com ou sem água de descarga, dependendo do banheiro essas entradas para o sistema podem incluir urina, fezes, limpeza água, água de descarga e materiais de limpeza a seco (ALENCAR, 2009).

FIGURA 15: Esquema de banheiro seco comportável



Fonte: Tonetti (2018)

O seu uso é para água de limpeza, ou seja, dependem da disponibilidade de água e do hábito local. O banheiro para este sistema pode ser um banheiro seco ou um de descarga. Um mictório também pode ser usado, o banheiro é diretamente conectado a um único poço para contenção, à medida que a cova enche, o lixiviado penetra na cova no solo circundante.

O lodo atua como condicionador de solo com o aumento de matéria resultando em maior capacidade de retenção de água e fornecendo nutrientes adicionais, que são lentamente reduzidos com o tempo (ANDRADE& LIMA, 1999).

FIGURA 26: Remoção do composto pronto de dentro da câmara, depois de seis meses



Fonte: Tonetti (2018)

Um novo poço deve ser cavado e isso geralmente só é possível quando a superestrutura existente é móvel.

Sua aplicabilidade deve ser escolhida apenas onde há espaço suficiente para cavar novos poços continuamente.

Nos densos assentamentos urbanos, não há espaço suficiente cavar continuamente novos poços, portanto, o sistema é mais adequado para áreas rurais nas periferias urbanas, onde o solo é apropriado para escavações, também não é adequado para as áreas propensas a fortes chuvas ou inundações, que pode fazer com que os poços transbordem para as casas dos usuários ou para a comunidade local (ANDRADE & LIMA, 1999).

Quando não é possível cavar um poço profundo ou o nível da água subterrânea estiver muito alto, um poço raso e elevado pode ser uma alternativa viável tendo em vista que o poço raso pode ser estendido para cima com o uso de anéis de concreto ou blocos.

Um poço elevado também pode ser construído em uma área onde as inundações são frequentes, a fim de manter a água fluindo para o poço durante fortes chuvas (BENJAMIN, GOMES & TAVARES, 2017).

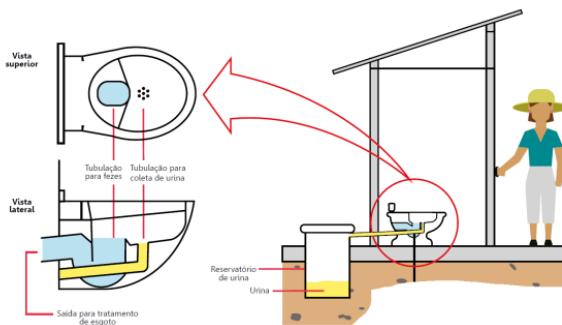
FIGURA 17: Banheiro seco construído em duplicidade em Itacaré, BA. A foto mostra a tubulação de ventilação e a câmara de compostagem



Fonte: Tonetti (2018)

O custo desse sistema é um dos menos dispendiosos de construir e manter, e pode ser reutilizado se sua estrutura for móvel. O poço deve ter uma área necessária para até 5 pessoas 3 de 5 m². Outro sistema é o banheiro seco com desvio de urina com tratamento no local em alternância fossas ou câmara de compostagem esse foi projetado para produzir um material sólido, as entradas para o sistema podem incluir urina, fezes, produtos orgânicos, água de limpeza e materiais de limpeza a seco (COELHO & DUARTE, 2018)

FIGURA 18: Esquema de separação e estocagem de urina



Fonte: Tonetti (2018)

Não há uso de água de descarga, um banheiro seco é recomendado para este sistema, embora tenha um desvio de urina ou um mictório através da tubulação de saída esse é conectado diretamente a um ventilador duplo fornecendo uma oportunidade transformar em húmus, um material úmido rico em nutrientes e higienicamente melhorado que é seguro (BOTTO, 2013).

FIGURA 19: Galões para armazenamento de urina na Ecovila Tamera, em Portugal



Fonte: Tonetti (2018)

Quando o primeiro poço está cheio, é coberto temporariamente e retirado de serviço, enquanto o outro poço estiver cheio de excrementos e material com grande potencial orgânico, cabe ressaltar que esse ciclo pode ser indefinidamente repetido.

O material removido do recipiente ou da câmara de compostagem deve estar em um local seguro e utilizável embora os trabalhadores devam usar roupas pessoais apropriadas proteções durante a remoção, transporte e o uso final (BENJAMIN, GOMES& TAVARES, 2017).

FIGURA 20: Espigas de milho cultivadas com diferentes aplicações de urina. Experiência desenvolvida na África



Fonte: Tonetti (2018)

Cabe ressaltar se não houver uso final para o produto de tratamento, esse pode ser eliminado permanentemente.

A urina apresenta pouco risco à saúde, pois é quase estéril e armazenada antes do uso em recipientes selados ou descarte no solo por meio de um poço de imersão protegerá, contudo, em áreas em que a esquistossomose é endêmica, essa não deve ser usada em agricultura, como arrozais.

2.7 Sistemas no local com gerenciamento de lodo fecal e tratamento externo

Geralmente a maioria dos processos de tratamento de águas residuais produz um lodo que deve ser descartado. As estações de tratamento de esgoto secundário convencionais normalmente geram um lodo primário no estágio de sedimentação do tratamento e um lodo secundário, biológico, na sedimentação final após o processo biológico. As características do lodo secundário variam de acordo com o tipo de processo biológico e, frequentemente, são misturadas com o lodo primário antes do tratamento e descarte. Aproximadamente metade dos custos da operação de estações secundárias de tratamento de esgoto no Brasil pode estar associada ao tratamento e disposição de lodos.

A aplicação em terra de lodo de esgoto bruto ou tratado pode reduzir significativamente o componente de custo de disposição do lodo no tratamento de esgoto, além de fornecer grande parte dos requisitos de nitrogênio e fósforo de muitas culturas.

Muito raramente, os sistemas de esgotos urbanos transportam apenas esgotos domésticos para estações de tratamento os efluentes industriais e o escoamento das águas pluviais das estradas e outras áreas pavimentadas são frequentemente descartados nos esgotos.

Assim, o lodo de esgoto conterá, além de resíduos orgânicos, vestígios de muitos poluentes usados na sociedade moderna. Algumas dessas substâncias podem ser fitotóxicas e outras tóxicas para seres humanos e animais, por isso é necessário controlar as concentrações no solo de elementos potencialmente tóxicos e sua taxa de aplicação no solo (BOTTO, 2013).

O lodo de esgoto também contém bactérias patogênicas, vírus e protozoários, juntamente com outros helmintos parasitas que podem dar origem a riscos potenciais à saúde de seres humanos, animais e plantas. Um relatório da OMS (1981) sobre o risco para a saúde de micróbios no lodo de esgoto aplicado à terra identificou salmonelas e tênia como causadoras de grande preocupação.

O número de organismos patogênicos e parasitários no lodo pode ser reduzido significativamente antes da aplicação na terra por tratamento apropriado do lodo e o risco potencial à saúde é reduzido ainda mais pelos efeitos do clima, micro-organismos do solo e tempo após a aplicação do lodo no solo, no entanto, no caso de certas culturas, são necessárias limitações no plantio, pastagem e colheita (BATALHA E GASI, 1988).

Além desses componentes preocupantes, o lodo de esgoto também contém concentrações úteis de nitrogênio, fósforo e matéria orgânica. A disponibilidade do teor de fósforo no ano de aplicação é de cerca de 50% e é independente de qualquer tratamento prévio com lodo. A disponibilidade de nitrogênio é mais dependente do tratamento de lodo, sendo que o lodo líquido não tratado e tratado desidratado, liberam nitrogênio lentamente, com os benefícios para as culturas sendo realizadas por um período relativamente longo.

O lodo líquido pode ser digerido de forma anaeróbica possui alto teor de nitrogênio amoniacal, que está prontamente disponível para as plantas e pode ser particularmente benéfico para as pastagens. A matéria orgânica do lodo pode melhorar a capacidade de retenção de água e a estrutura de alguns solos, principalmente quando aplicada na forma de bolo de lodo desidratado (BORGES, 2005).

As concentrações de elementos potencialmente tóxicos nos solos aráveis não devem exceder certos limites prudentes dentro da profundidade normal do cultivo como resultado da aplicação de lodo. Nenhum lodo deve ser aplicado em nenhum local onde a concentração do solo de qualquer um dos parâmetros mencionados nas recomendações técnicas por órgãos de fiscalização. As concentrações máximas permitidas dos elementos potencialmente tóxicos no solo após a aplicação do lodo de esgoto de acordo com o código de prática no Brasil. Para zinco, cobre e níquel, as concentrações máximas permitidas variam com o pH do solo, porque sabe-se que é mais provável que ocorra danos às culturas por elementos fitotóxicos em solos ácidos.

A concentração natural de metais no solo é normalmente menos disponível para a captação de culturas e, portanto, menos perigosa do que os metais introduzidos nas aplicações de lodo de esgoto. Pesquisas realizadas no Brasil mostraram que as quantidades de Cd, Ni, Cu, Zn e Pb aplicadas no lodo líquido em três locais experimentais poderiam ser explicadas pelas análises do perfil do solo cinco anos após a aplicação do lodo, com exceção de Cu e Zn, aplicados a um solo de barro calcário. Essas experiências de campo também determinaram a extensão da transferência de metais do solo tratado com lodo para as folhas e partes comestíveis de seis culturas de grande importância para a agricultura no Brasil e o efeito dos metais no rendimento dessas culturas (BATALHA & GASI, 1988).

De acordo com Batalha e Gasi (1988) embora todas as parcelas recebessem fertilizante inorgânico suficiente para atender aos requisitos de nutrientes para as culturas, as aplicações de lodo tiveram alguns efeitos no rendimento. Em 60% dos casos estudados, os rendimentos das culturas não foram significativamente afetados, mas em 26% dos casos a aplicação de lodo líquido resultou em um aumento significativo dos rendimentos das culturas, atribuído aos efeitos benéficos na estrutura do solo. Foram observadas reduções no rendimento de grãos de trigo, de 6% a 10%, nos solos argilosos e argilosos tratados com lodo líquido e nos solos arenosos e argilosos tratados com lodo seco no leito. No entanto, não se pensava que essa redução de rendimento fosse devida aos metais, mas a explicação mais provável era a acomodação da colheita como resultado do excesso de nitrogênio no solo.

Sempre deve-se tomar cuidado ao aplicar lodo de esgoto na terra para evitar qualquer forma de impacto ambiental adverso dessa forma o lodo não deve conter materiais não degradáveis, como plásticos, o que tornaria o descarte prejudicial na terra.

O movimento do lodo no tanque da estação de tratamento de esgoto para as terras agrícolas pode criar problemas de tráfego e gerar incômodo com ruídos e odores. Os veículos devem ser cuidadosamente selecionados de acordo com a adequação local e as rotas escolhidas para minimizar os inconvenientes para o público. O acesso aos campos deve ser selecionado após consulta à autoridade da rodovia e cuidados especiais devem ser tomados para evitar que veículos carreguem lama na rodovia, o controle de odor é a dimensão ambiental mais importante da aplicação de lodo na terra.

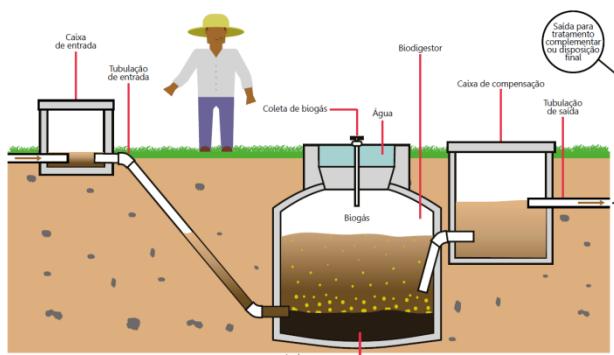
Os caminhões tanque fechados devem ser usados para o transporte do lodo tratado, que tende a ser menos odoroso que o lodo bruto. Os pontos de descarga do lodo devem estar o mais próximo possível do solo e a trajetória do lodo líquido deve ser mantida baixa, de modo a minimizar a deriva do impacto visual. O lodo não tratado deve ser injetado sob a superfície do solo usando veículos especiais ou caminhões-tanque equipados com equipamento de injeção.

É necessário muito cuidado para evitar que o lodo escorra pelas estradas ou terrenos adjacentes, dependendo da topografia, do solo e das condições climáticas. Em terrenos inclinados, existe o risco de esse escoamento atingir os cursos de água e causar séria poluição da água. As taxas de aplicação de lodo devem ser ajustadas de acordo e, em certas circunstâncias, a dispersão pode ter que ser interrompida. Além do problema do escoamento superficial, a poluição pode surgir da percolação do lodo líquido nos esgotos, especialmente quando são utilizadas técnicas de injeção ou quando o lodo líquido é aplicado em solos fissurados. Em áreas de poluição da água altamente sensíveis, o lodo deve ser usado apenas de acordo com os requisitos da autoridade de controle de poluição, bem como com as boas práticas agrícolas um exemplo de tratamento externo é o reator de biogás.

O reator de biogás é o sistema baseado no uso de um reator de biogás para coletar, armazenar e tratar os excrementos. Além disso, o reator de biogás produz biogás, que pode ser queimado por cozinha, iluminação ou geração de eletricidade, entradas para o sistema pode incluir urina, fezes, água de lavagem, limpeza da água, materiais de limpeza a seco, orgânicos, por exemplo, mercado ou resíduos de cozinha e, se disponível, resíduos de animais, o sistema requer um vaso sanitário com descarga ou, se houver uma demanda para a urina ser usada na agricultura, um sanitário com descarga de urina (BUENO, 2017).

O banheiro está diretamente conectado a um biogás reator, também conhecido como digestor anaeróbico quando um vaso sanitário com descarga de urina está instalado esse será conectado a um tanque de armazenamento ou bidão para armazenamento de urina (COELHO & DUARTE, 2018).

FIGURA 31: Esquema de biodigestor



Fonte: Tonetti (2018)

Embora o lodo tenha sofrido digestão anaeróbica, não é livre de patógenos e deve ser removido com cuidado e transportados para tratamento adicional, onde produzirá efluentes e lodo. Dependendo do uso final, essas frações podem exigir mais tratamento antes do uso final

ou descarte, cabe ressaltar que o biogás produzido deve ser constantemente utilizado, por exemplo como combustível limpo para cozinhar ou para iluminar. E se o gás não é queimado se acumular no tanque e, com pressão crescente, empurrará para fora o lodo digerido até que o biogás escape para a atmosfera através da saída do digerido (BOTTO, 2013)

Um reator de biogás pode trabalhar com ou sem urina, a vantagem de desviar a urina do reator é que pode ser usado separadamente como nutriente concentrado na fonte sem alta contaminação por patógenos. Sua aplicabilidade mais adequada para áreas rurais e da periferia urbanas onde existe espaço apropriado, fonte regular de substrato orgânico para o reator de biogás e uso para o lodo, o reator em si pode ser construído no subsolo, por exemplo, sob terras agrícolas (BENJAMIN, GOMES, & TAVARES, 2017).

FIGURA 4: Biodigestor experimental de contêiner IBC modelo



Fonte: Tonetti (2018)

Para reduzir o risco de exposição da comunidade local todas as estações de tratamento devem ser cercadas para impedir que pessoas entrem no local para proteger os trabalhadores saúde ao operar a planta e realizar manutenção em ferramentas e equipamentos, todas as estações de tratamento os trabalhadores devem usar equipamento de proteção adequado e siga os procedimentos padrão

3 ESTUDO DE CASO EM UMA COMUNIDADE DE PEQUENO PORTE

3.1 Características da comunidade

A comunidade do Vale Encantado está localizada no município do Rio de Janeiro, dentro dos limites do Parque Nacional da Tijuca, uma das maiores florestas urbanas do mundo. Situada na região do Alto da Boa Vista, a comunidade ocupa uma área de relevo acidentado e densa vegetação, pertencente ao bioma Mata Atlântica. Trata-se de uma ocupação tradicional,

com origem no início do século XX, quando operários envolvidos na construção da Estrada das Paineiras e do sistema ferroviário do Corcovado fixaram residência no local.

Essa história confere ao Vale Encantado um importante valor histórico e cultural, além de relevância ambiental, já que a comunidade está inserida em uma unidade de conservação federal.

Composta por cerca de 25 famílias, totalizando aproximadamente 120 a 150 moradores, a comunidade apresenta um perfil socioeconômico caracterizado por baixa renda e forte vínculo com atividades informais e de base comunitária, como a agricultura urbana, gastronomia local e turismo ecológico. Apesar do contexto de vulnerabilidade econômica, os moradores possuem forte organização social, destacando-se a atuação da Associação de Moradores do Vale Encantado, responsável por articular melhorias coletivas e defender os interesses da comunidade.

A infraestrutura local é limitada, especialmente no que diz respeito ao saneamento básico. Não há rede pública de esgoto, e as residências utilizam, em sua maioria, fossas rudimentares ou lançam os efluentes diretamente em valas ou no solo, o que compromete a qualidade dos recursos hídricos locais e representa um risco à saúde pública e ao meio ambiente. O acesso à comunidade também é restrito, feito por uma estrada estreita e acidentada ou por trilhas, o que dificulta a entrada de veículos de grande porte e o fornecimento de serviços urbanos básicos, como a coleta regular de lixo. O abastecimento de água é parcialmente atendido pela rede pública, complementado por captação e armazenamento locais.

Apesar dessas limitações, o Vale Encantado possui um grande potencial turístico e ambiental. Situada em meio à floresta, com nascentes, trilhas e mirantes, a comunidade vem desenvolvendo iniciativas de turismo de base comunitária e ecoturismo, com destaque para o restaurante Vale Encantado, que atrai visitantes interessados na culinária local e na experiência de contato com a natureza.

A ausência de rede pública de esgoto, combinada ao contexto ambiental sensível e à presença de córregos que deságuam em rios urbanos, torna o desafio do saneamento ainda mais urgente. Nesse cenário, a adoção de soluções ecológicas e descentralizadas, como os biossistemas integrados, mostrou-se estratégica para a promoção da saúde ambiental e da sustentabilidade na comunidade.

FIGURA 23: Biogestor na comunidade vale encantado



Fonte: rioonwatch (ONG) (2022)

3.2 Diagnóstico e Problemática do Saneamento

Antes da implantação do biosistema integrado, a situação do saneamento no Vale Encantado refletia a realidade de diversas comunidades periféricas e tradicionais localizadas em áreas ambientalmente sensíveis. A inexistência de uma rede pública de esgotamento sanitário obrigava os moradores a adotarem soluções individuais e improvisadas, como fossas negras, sumidouros mal dimensionados e, em muitos casos, o despejo direto de águas servidas e dejetos em valas, encostas ou mesmo em pequenos cursos d'água da região.

Essa condição gerava uma série de impactos negativos. Do ponto de vista ambiental, havia contaminação de nascentes e córregos, com a presença de matéria orgânica e coliformes fecais, comprometendo a qualidade da água e a biodiversidade local. Como a comunidade está inserida no Parque Nacional da Tijuca — área de proteção integral —, o despejo inadequado de esgoto também contrariava diretrizes legais de conservação ambiental, podendo gerar conflitos com órgãos gestores e restrições à permanência dos moradores no território.

Do ponto de vista da saúde pública, foram observados episódios recorrentes de doenças relacionadas à água contaminada, como diarreias, verminoses, dermatites e infecções intestinais, especialmente entre crianças. A falta de saneamento adequado também agravava a proliferação de vetores, como mosquitos e roedores, aumentando a vulnerabilidade da comunidade a arboviroses e outras endemias urbanas.

Além dos aspectos sanitários e ambientais, a questão do esgoto no Vale Encantado também se apresentava como um obstáculo ao desenvolvimento comunitário e ao

fortalecimento do turismo ecológico local. A presença de odores, o visual degradado de valas negras e a percepção de insalubridade comprometiam a imagem da comunidade como destino turístico sustentável, afetando negativamente iniciativas de geração de renda baseadas no ecoturismo e na gastronomia local.

A infraestrutura existente não era apenas precária, mas também incompatível com a topografia local. O relevo acidentado e a dificuldade de acesso inviabilizavam a implementação de soluções convencionais, como a extensão de redes públicas de esgoto por gravidade ou com uso de estações elevatórias. Assim, havia uma necessidade urgente por soluções descentralizadas, ecológicas e adaptadas à realidade física e social da comunidade.

Diante desse cenário, foi realizado um diagnóstico participativo com o envolvimento dos próprios moradores, técnicos da Fiocruz, universidades e organizações da sociedade civil. Esse processo permitiu levantar os principais pontos críticos do saneamento local, identificar os saberes e recursos comunitários disponíveis e selecionar, de forma conjunta, a melhor tecnologia a ser aplicada. A escolha recaiu sobre os biossistemas integrados, por se tratar de soluções de baixo custo, fácil operação e manutenção, com potencial de reaproveitamento dos resíduos como insumo agrícola — contribuindo, assim, não apenas para o saneamento, mas também para a segurança alimentar e a geração de renda.

3.3 Solução proposta – Biossistema Integrado

Diante do diagnóstico que evidenciou a urgente necessidade de uma solução ambientalmente adequada, tecnicamente viável e socialmente justa para o problema do saneamento básico no Vale Encantado, foi proposta e implementada a adoção de um biossistema integrado de saneamento ecológico. Essa tecnologia social combina diferentes etapas de tratamento dos efluentes domésticos, utilizando processos naturais de filtragem, biodegradação e absorção por plantas, permitindo o reaproveitamento dos resíduos orgânicos e a purificação da água residual.

A escolha pelo biossistema se deu em razão de suas características compatíveis com a realidade da comunidade: baixo custo de implantação, facilidade de operação e manutenção, mínima demanda por energia e insumos, e forte sinergia com os princípios da permacultura e da agroecologia, já presentes nas práticas locais.

O sistema implantado no Vale Encantado segue uma sequência de quatro módulos principais, articulados de forma a promover o tratamento integral dos efluentes domésticos

(banheiros, pias, tanques e chuveiros), com retorno seguro e útil dos subprodutos ao meio ambiente.

- **Fossa Séptica Biodigestora (modelo Embrapa)**

Trata-se da primeira etapa do sistema, responsável pelo tratamento primário dos dejetos humanos. A fossa é composta por três câmaras interligadas, nas quais ocorre a digestão anaeróbica da matéria orgânica. Esse processo reduz a carga orgânica e microbiológica dos resíduos, separando o lodo e gerando um efluente líquido parcialmente tratado. Como subproduto, há a produção de um biofertilizante líquido, rico em nutrientes, que pode ser utilizado em áreas agrícolas não comestíveis ou ornamentais.

- **Filtro de Zona de Raízes (Wetland Construído)**

Após passar pela fossa, o efluente segue para um tanque preenchido com cascalho e plantado com espécies macrófitas adaptadas ao solo úmido, como taboas, bananeiras e papiros. Essas plantas, por meio de suas raízes, atuam na absorção de nutrientes (como nitrogênio e fósforo), promovendo também a fixação de microrganismos benéficos que auxiliam na degradação de resíduos remanescentes. O filtro atua como uma “lagoa artificial”, simulando um sistema natural de purificação da água e funcionando como tratamento secundário do esgoto.

- **Filtro de Areia e Carvão Ativado**

Na terceira etapa, o efluente é submetido a um processo físico de filtração, passando por camadas de areia, brita e carvão vegetal ativado. Este módulo atua no polimento final da água, eliminando turbidez, odores e possíveis resíduos orgânicos que ainda possam estar presentes. A filtragem garante uma água com características físico-químicas compatíveis com o reuso controlado.

- **Reuso e Destinação Final**

O efluente tratado é reaproveitado em atividades de irrigação de hortas comunitárias, pomares e plantas ornamentais. O biofertilizante resultante da fossa biodigestora é aplicado como insumo agrícola, promovendo a ciclagem de nutrientes. Essa destinação contribui para a segurança alimentar da comunidade, reduz a demanda por fertilizantes comerciais e evita o desperdício de recursos naturais.

O biossistema integrado implantado no Vale Encantado não apenas resolve uma questão de saneamento, mas também promove educação ambiental, soberania tecnológica e melhoria das condições de vida. Por meio do aproveitamento dos resíduos como recurso, a solução

proposta estabelece uma lógica circular e ecológica, que fortalece a resiliência da comunidade frente aos desafios sociais e ambientais.

3.4 Indicadores e Resultados do Projeto

A implantação dos biossistemas integrados no Vale Encantado gerou impactos significativos e mensuráveis em diferentes dimensões: ambiental, sanitária, social, econômica e educativa. Os indicadores utilizados para avaliação do projeto foram definidos de forma participativa e incluíram tanto dados técnicos quanto percepções da comunidade.

3.4.1 Indicadores Ambientais

Após a implantação dos primeiros módulos de tratamento, observou-se uma melhoria sensível na qualidade dos recursos naturais locais, especialmente dos pequenos cursos d'água que cortam a comunidade.

- **Redução da carga orgânica despejada no ambiente:** com o tratamento de águas negras e cinzas, o lançamento de esgoto bruto em valas e encostas foi praticamente eliminado nas áreas atendidas.
- **Melhoria da qualidade da água em nascentes e córregos:** análises laboratoriais indicaram redução de coliformes fecais e de turbidez em pontos estratégicos de monitoramento.
- **Valorização da vegetação nativa:** a substituição de valas por wetlands plantados com espécies adaptadas à zona úmida favoreceu a biodiversidade local e a estética do território.
- **Prevenção de contaminação do solo e lençol freático,** especialmente em terrenos inclinados com risco de percolação rápida.

3.4.2 Indicadores de Saúde Pública

A comunidade passou a relatar melhora perceptível na saúde das famílias atendidas:

- **Redução de casos de doenças de veiculação hídrica,** como diarreias e verminoses, especialmente entre crianças e idosos.
- **Menor presença de insetos vetores e roedores,** graças ao fim do esgoto a céu aberto.
- **Melhoria nas condições sanitárias das moradias,** contribuindo para o bem-estar geral.

Embora muitos dos dados sejam qualitativos, os relatos dos moradores foram consistentes e positivos, e os agentes de saúde da região também confirmaram uma redução de atendimentos relacionados a doenças hídricas.

3.4.3 Indicadores Sociais

- **Engajamento da comunidade:** mais de 60% das famílias participaram de ao menos uma etapa do processo (formação, construção, monitoramento).
- **Apropriação da tecnologia:** moradores relatam sentir-se responsáveis e orgulhosos pelo sistema implantado.
- **Fortalecimento do capital social:** a realização de mutirões e oficinas reforçou os vínculos de solidariedade entre os vizinhos.
- **Geração de conhecimento local:** alguns moradores tornaram-se multiplicadores da tecnologia em visitas e intercâmbios com outras comunidades.

3.4.4 Indicadores Econômicos

- **Baixo custo de implantação:** em comparação com sistemas convencionais, o custo por unidade foi até 10 vezes menor.
- **Redução de gastos com insumos agrícolas:** uso do biofertilizante gerado pela fossa biodigestora nas hortas da comunidade diminuiu a necessidade de compra de adubos comerciais.
- **Estímulo ao turismo sustentável:** a visibilidade positiva da comunidade como referência em sustentabilidade aumentou o fluxo de visitantes, beneficiando pequenos empreendimentos locais (como o restaurante comunitário).

3.4.5 Indicadores Educativos e Culturais

- **Criação de materiais educativos:** cartilhas, vídeos e placas informativas passaram a compor o acervo pedagógico da comunidade.
- **Reconhecimento da experiência como modelo replicável:** o Vale Encantado passou a receber visitas técnicas, pesquisadores e estudantes interessados em replicar o modelo.
- **Consolidação da identidade ambiental da comunidade:** o saneamento ecológico se tornou um eixo estruturante das ações locais de sustentabilidade.

3.5 Sustentabilidade, Desafios e Possibilidades de Replicação

A implementação do biossistema integrado no Vale Encantado demonstrou que soluções descentralizadas de saneamento podem ser eficazes, sustentáveis e adaptadas às especificidades de comunidades tradicionais e áreas protegidas. A experiência local permitiu não apenas resolver um problema crônico de saneamento, mas também inaugurar uma nova relação da comunidade com seus resíduos, sua saúde e seu território.

3.5.1 Sustentabilidade da Solução

A sustentabilidade do biossistema implantado no Vale Encantado pode ser observada em três dimensões principais:

3.5.2 Sustentabilidade Ambiental

- **Ciclo fechado de nutrientes:** o reaproveitamento do esgoto como insumo agrícola elimina o conceito de resíduo e promove a regeneração do solo.
- **Preservação de recursos hídricos:** o tratamento descentralizado evita a contaminação de córregos e nascentes.
- **Baixa pegada ecológica:** o sistema não exige energia elétrica para operar e é construído com materiais locais ou de baixo impacto ambiental.

Sustentabilidade Social

- **Apropriação comunitária:** a participação ativa dos moradores na concepção, construção e manutenção do sistema fortalece a autogestão.
- **Educação ambiental:** o projeto se consolidou como uma ferramenta pedagógica, promovendo o aprendizado coletivo e a cultura do cuidado com a natureza.
- **Valorização da identidade local:** o saneamento ecológico passou a integrar o modo de vida sustentável promovido pela comunidade.

Sustentabilidade Econômica

- **Baixo custo de implantação e operação:** viabiliza sua adoção por outras comunidades com recursos limitados.
- **Geração de insumos gratuitos (biofertilizante):** potencial de economia e geração de renda.
- **Redução de gastos públicos futuros:** diminuição dos custos com saúde e com ampliação de redes convencionais em áreas de difícil acesso.

Item	Especificação Técnica
Tipo de sistema	Descentralizado, modular, de fluxo contínuo
Tipo de tratamento	Anaeróbico + radicular + filtragem física
Área necessária	Aproximadamente 25 a 35 m ² por sistema completo
Capacidade de atendimento	De 3 a 5 residências por unidade instalada
Materiais utilizados	Alvenaria, PVC, brita, areia, carvão, lona PEAD
Custo estimado por sistema	Entre R\$ 5.000 e R\$ 10.000 (instalação completa)
Vida útil estimada	15 a 20 anos (com manutenção periódica)

3.6 Desafios Enfrentados

Apesar dos avanços, o projeto enfrentou (e ainda enfrenta) diversos desafios:

- **Limitações físicas e logísticas:** o transporte de materiais e a construção em terreno inclinado exigem planejamento e esforço adicional.
- **Restrições legais e burocráticas:** a localização dentro de uma Unidade de Conservação exige diálogo permanente com órgãos ambientais e autorização formal para intervenções.
- **Manutenção contínua:** a sustentabilidade de longo prazo depende do engajamento contínuo da comunidade para limpeza dos filtros, poda das plantas e monitoramento do sistema.
- **Replicabilidade com escala:** o crescimento do número de unidades exige capacitação técnica constante e recursos para novas instalações.

O estudo de caso da implantação de biossistemas integrados na comunidade do Vale Encantado, situada no Parque Nacional da Tijuca (RJ), demonstra que soluções de saneamento ecológico são não apenas possíveis, mas desejáveis em contextos onde as abordagens convencionais se mostram inviáveis técnica, ambiental ou economicamente.

A experiência mostrou que é possível tratar esgoto doméstico de forma eficiente, segura e sustentável por meio de processos naturais, com participação ativa da população e integração com práticas de agricultura urbana, educação ambiental e preservação ecológica. O biossistema integrado se consolidou como uma tecnologia social replicável, de baixo custo, com baixa manutenção e alto potencial de transformação territorial.

Além de promover melhorias concretas nas condições sanitárias e ambientais da comunidade, o projeto fortaleceu o protagonismo local, incentivou práticas agroecológicas e elevou o valor simbólico do território como referência em sustentabilidade urbana. Os impactos

positivos foram percebidos não apenas na qualidade da água e do solo, mas também na saúde pública, na autoestima coletiva e na construção de um modelo de vida mais harmônico com os ciclos da natureza.

No entanto, a continuidade e expansão dessa solução exigem políticas públicas comprometidas com tecnologias descentralizadas, apoio técnico e institucional a comunidades autogestionadas e mecanismos de financiamento adaptados à realidade de populações vulnerabilizadas. É necessário também superar barreiras legais e burocráticas que ainda dificultam a implementação de sistemas ecológicos em áreas de proteção ambiental.

O Vale Encantado, com sua história de resistência e inovação, evidencia que o saneamento pode ser mais do que uma obrigação estatal — pode ser uma oportunidade de reorganizar nossa relação com a água, com os resíduos e com o território. O futuro do saneamento nas periferias urbanas, áreas rurais e territórios tradicionais passa por soluções como essa: ecológicas, participativas e enraizadas nos saberes e nas necessidades das comunidades.

4 CONCLUSÃO

Garantir o acesso universal a sistemas de saneamento seguro em todos os lugares, incluindo residências, unidades de saúde, escolas e locais de trabalho, é essencial para reduzir doenças, melhorar os resultados nutricionais, melhorar as perspectivas educacionais e de segurança.

O tratamento insuficiente das águas residuais e do lodo fecal espalha doenças e é um fator de resistência antimicrobiana. A demanda por águas residuais como fonte confiável de água e nutrientes para a agricultura está crescendo em resposta ao crescimento populacional, à urbanização, ao aumento da escassez de água e aos efeitos das mudanças climáticas.

Este trabalho produziu diretrizes e ferramentas para melhorar o tratamento e gerenciar os riscos à saúde em todas as etapas da cadeia em que as águas residuais devem ser usadas. Demonstrou uma seleção de opções inovadoras de esgoto para as cidades das regiões rurais e periféricas dos municípios e o tipos de sistemas alternativos avaliados no TCC que incluem sistemas de tratamento local, sistemas separados de coleta e tratamento de águas cinzas e de águas cinzas com e sem reciclagem de água não potável, uma pequena estação de tratamento comparada com os sistemas de fossas sépticas existentes inclui uma avaliação com vários critérios e desenho conceitual da opção mais favorável.

Foi ainda verificado que tratar esgoto se faz necessário para evitar possíveis doenças, e a falta de sistemas de tratamento pode comprometer a saúde da população, é de grande valia

a aplicação de sistemas simples de tratamento de esgoto para suprir essa necessidade e a fossa séptica é um dos sistemas mais utilizados.

Daí conclui que todo o sistema de tratamento de esgoto por fossa séptica em comunidades de pequeno porte deva ser uma opção asseguradas pelos governos como forma de propagar o conhecimento sobre o assunto e ainda apresentar alternativas de tratamento de esgoto doméstico para as comunidades isoladas pois essa é uma oportunidade para milhões de pessoas no Brasil sem acesso ao saneamento básico terem uma opção nas suas escolhas para o bem-estar geral.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969: Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: Projeto, construção e operação.** 1997 Disponível em: http://acquasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf. Acessado em: 17/08/2024.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993. CETESB, 1988. Guia de coleta e preservação de amostras de água.** Disponível em: http://acquasana.com.br/legislacao/nbr_7229.pdf. Acessado em: 17/08/2024.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário: Projeto e execução.** Rio de Janeiro, 1999. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=5234>. Acessado em: 17/08/2024.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas .**NBR 9649. Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário.** 1986. Disponível em: Procedimento.<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=4200>- Acessado em: 17/08/2024..

ALBUQUERQUE. Helena Marecos do Monte António. **Reutilização de Águas Residuais.** ed. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. Portugal. 2010. ISBN: 978-989-8360-01-4

ALENCAR, Marcelo Henrique Bandeira Costa de. **Tratamento alternativo de dejetos humanos na comunidade de coquilho, zona rural de São Luis- MA.** 2009. 106 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Saúde e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, São Luis, 2009. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/1070>. Acessado em: 17/08/2024.

ALVIM, Mariana. **Saneamento é básico, mas não existe.** 2014. Disponível em: http://www.mpsp.mp.br/portal/pls/portal/!PORTAL.wwpob_page.show?_doc-name=2639660.PDF. Acessado em: 17/08/2024.

ANDRADE NETO, C. O. & LIMA, M. T. F.. **Alternativa tecnológica para valas de infiltração**. 1999. Disponível em: <https://docplayer.com.br/35620401-Alternativa-tecnologica-para-valas-de-infiltracao.html>. Acessado em: 17/08/2024.

ANDREOLI, Cleverson Vitório (Org.). **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e o destino final**. 2009. Disponível em: https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_6.pdf. Acessado em: 17/08/2024.

BACCI. Denise de La Corte. & Ermelinda Moutinho Pataca. **Educação para a água**. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a14.pdf>>. Acessado em: 17/08/2024.

BATALHA, B. H., Gasi, T. M. T. **Opções para tratamento de esgotos de pequenas comunidades**. São Paulo. CETESB. 1988.

BENJAMIN, Amboko. George A. Silva Gomes, Gilmar Tavares. **Validação Científica e Viés Extensionista para a Ecofossa: Bacia de Evapotranspiração**. Editora Novas Edições Acadêmicas. São Paulo. 2017.

BORGES, Kleber. **O uso de tanques sépticos na cidade de Araguari-MG**. 2005. Disponível em: <https://docplayer.com.br/5334200-O-uso-de-tanques-septicos-na-cidade-de-araguari-mg.html>. Acessado em: 17/08/2024.

BOTTO, Márcio Pessoa. **Utilização da urina humana como biofertilizante para produção de alimentos e energia: caracterização, uso na agricultura e recuperação de nutrientes**. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/5158/1/2013_tese_mpbotto.pdf. Acessado em: 17/08/2024.

BRASIL - Portal Câmara dos deputados. **Plano Plurianual (PPA)**. Disponível em:<http://www2.camara.leg.br/orcamento-da-uniao/leis-orcamentarias/ppa>. Acessado em: 17/08/2024.

BRASIL- Planalto. **LEI N° 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981**. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm. Acessado em: 17/08/2024..

BRASIL, SENADO FEDERAL. **Brasil tem 48% da população sem coleta de esgoto, diz Instituto Trata Brasil**. 2018. Disponível em: [Senadohttps://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2019/09/25/brasil-tem-48-da-populacao-sem-coleta-de-esgoto-diz-instituto-trata-brasil](https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2019/09/25/brasil-tem-48-da-populacao-sem-coleta-de-esgoto-diz-instituto-trata-brasil). Acessado em: 17/08/2024.

BUENO, Daniel Augusto Camargo. **Filtros anaeróbios com pós-tratamento em filtros de areia intermitentes: Desempenho em operação crítica**. 2017. Disponível em: <https://bv.fapesp.br/pt/dissertacoes-teses/155368/filtros-anaerobios-com-pos-tratamento-em-filtros-de-areia-in>. Acessado em: 17/08/2024.

CAMPOS, José Roberto (Org.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. 1999. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosabcamposfinal.pdf>. Acessado em: 17/08/2024.

CANDELARIA, Octavio. **Saneamento e saúde Disciplina: Problemas de Saúde Pública.** 2019. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/2690184/>. Acessado em: 17/08/2024.

CARDOSO, Fernanda Lousada. **Direito urbanístico: leis nº 6.766/1979 e 10.257/2001 e MP nº 2.200/2001 Dicas para realização de provas de concursos artigo por artigo.** 2^aed. ampl., rev. e atual. Salvador: Juspodim,2010.

CARVALHO. Eraldo Henriques de. & Cleveron V. Andreoli. **Lodos de fossa e tanque séptica: orientações para definição de alternativas de gestão e destinação - Impresso.** Disponível em: <https://www.lojaofitexto.com.br/lodos-de-fossa-e-tanque-septico/p>. Acessado em: 17/08/2024.

EMBRAPA. (2020). **Manual técnico da Fossa Séptica Biodigestora: tecnologia social para tratamento de esgoto doméstico rural.** Brasília: Embrapa Instrumentação.

Fiocruz. (2019). Saneamento ecológico: experiências e práticas em territórios vulneráveis. Rio de Janeiro: ENSP/Fiocruz.

PUC-Rio. (2017). Projeto Vale Encantado: tecnologia social para o saneamento ecológico e o turismo sustentável. Relatório técnico, Departamento de Engenharia Ambiental.

Instituto Estadual do Ambiente (INEA). (2018). **Diretrizes para intervenções em Unidades de Conservação de Proteção Integral.** Rio de Janeiro.

Silva, A. C. & Souza, F. L. (2020). “Biossistemas integrados como alternativa ao saneamento descentralizado: estudo de caso em comunidades urbanas.” Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente, v.12, n.3.

Programa Cidades Sustentáveis. (2021). Tecnologias sociais para saneamento e justiça ambiental em favelas e comunidades tradicionais. São Paulo: Fundação Avina.

CASA FLUMINENSE. **Infográficos da Desigualdade.** 2017. Disponível em: https://casafluminense.org.br/wp-content/uploads/2017/05/Mapa-5-%E2%80%93-Pessoas-desempregadas_-procurando-trabalho.jpg. Acessado em: 17/08/2024.

CERNE, Ambiental. **Prefeitura Municipal de Palhoça Plano Municipal de Saneamento Básico PMSB de Palhoça-SC.** 2015. Disponível em: <https://docplayer.com.br/74502891-Prefeitura-municipal-de-palhoca-plano-municipal-de-saneamento-basico-pmsb-de-palhoca-sc.html>. Acessado em: 17/08/2024.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios.** Editora: Ufmg. 2^a ed. Belo Horizonte. 2016.

COELHO, Virginia Maria Tesone; DUARTE, Uriel. **Tratamento de esgotos domiciliares pelo processo misto lagoa primária/fossa séptica e infiltração.** Biblioteca/Unicamp, 2018. São Paulo. e-book, ISBN 978-85-85783-94-5.

FAUSTINO, Adriana. **Estudos Físico-Químicos de efluente produzido por fossa séptica biodigestora e o impacto do seu uso no solo.** 2007. Biblioteca/Unicamp, 2018. São Paulo. e-book, ISBN 978-85-85783-94-5.

GHISLENI. Maria Salete Dalla Vecchia. **ÁGUA, FONTE DE VIDA.** Disponível em: <https://www.univates.br/media/graduacao/direito/AGUA_FONTE_VIDA.pdf>. Acessado em: 17/08/2024.

LANDAU, Elena Charlotte; **MOURA,** Larissa (Ed.). **Variação geográfica do saneamento básico no Brasil em 2010: domicílios urbanos e rurais.** Brasília: Embrapa, 2016. 975 p. Biblioteca/Unicamp, 2018. São Paulo. e-book, ISBN 978-85-85783-94-5.

MENDONÇA, Luciana Coêlho. Sérgio Rolim Mendonça. **Sistemas Sustentáveis de Esgotos: Orientações Técnicas Para Projeto e Dimensionamento de Redes Coletoras, Emissários, Canais, Estações Elevatórias, Tratamento e Reúso na Agricultura.** Editora Blucher. 2^a ed. São Paulo. 2017.

MORELLI, E. B. **Reúso de água na lavagem de veículos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-29072005->>. Acessado em: 17/08/2024.

MOTA, Carolina. **Saneamento Básico no Brasil.** Editora Quartier Latin. 1^a edição. São Paulo. 2010.

NUNES, Marli Marlene Moraes da Costa. Josiane Borghetti Antonelo. **Políticas públicas de gênero voltadas à mulher do campo: uma caminhada em busca da cidadania.** 2014. Disponível em: nline.unisc.br/acadnet/anais/index.php/sidspp/article/view/11768/1606. Acessado em: 17/08/2024.

REBOUÇAS. Aldo da C. **Água e desenvolvimento rural.** Disponível em:<<http://www.scielo.br/pdf/ea/v15n43/v15n43a24.pdf>>. Acessado em: 17/08/2024.

ROCHA, Aristides Almeida. **Histórias do Saneamento.** Editora. Blucher. São Paulo. 2016.

SINAPI. Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Cadernos técnicos de composições para composições representativas para poços de visita.** 2018. Disponível em: http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-lote3-saneamento-infraestrutura-urbana/SINAPI_CT_LOTE3_COMPOSICOES_REPRESENTATIVAS_V001.pdf. Acessado em: 17/08/2024.

TONETTI, Adriano Luiz. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções.** Biblioteca/Unicamp, 2018. São Paulo. e-book, ISBN 978-85-85783-94-5.

TRATA BRASIL. **Instituto Trata Brasil lança mais um Ranking do Saneamento Básico.** 2020. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/blog/2020/03/12/instituto-trata-brasil-lanca-mais-um-ranking-do-saneamento-basico/>. Acessado em: 17/08/2024.

VILLAÇA, Flávio. **Dilemas do Plano Diretor.** In: **CEPAM. O município no século XXI: cenários e perspectivas.** São Paulo: Fundação Prefeito Faria Lima – Cepam, 1999.