



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Análise dos agentes, insumos e processos ligados a estação de tratamento de efluentes por tanque séptico seguido de *wetland* construído para comunidades rurais

Aline de Souza Silva¹, Adna Caroline Vale Oliveira², Carolina de Andrade Spinola³, Ícaro Thiago Andrade Moreira⁴

¹ Mestra em Desenvolvimento Regional e Urbano, Universidade Salvador (UNIFACS), Av. Tancredo Neves, 2131 – Caminho das Árvores, CEP 41820-021, Salvador, Bahia. aln.souzasilva@gmail.com (autor correspondente). ² Mestra em Desenvolvimento Regional e Urbano, Universidade Salvador (UNIFACS), Av. Tancredo Neves, 2131 – Caminho das Árvores, CEP 41820-021, Salvador, Bahia. adnacarliine@gmail.com. ³ Doutora em Geografia, Universitat de Barcelona, Barcelona, Espanha, Professora Titular do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Urbano, Universidade Salvador (UNIFACS), Av. Tancredo Neves, 2131 – Caminho das Árvores, CEP 41820-021, Salvador, Bahia. carolina.spinola@unifacs.br. ⁴ Doutor em Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Professor do Departamento de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica da UFBA, CEP: 40210-630, Salvador, Bahia. icarotam@ufba.br.

Artigo recebido em 03/12/2023 e aceito em 01/03/2024

RESUMO

Os dados da literatura evidenciam a precariedade do acesso aos serviços de saneamento básico, sobretudo em relação ao esgotamento sanitário. Quase a metade da população rural brasileira lança seus efluentes através das fossas rudimentares, que contaminam o ambiente e geram problemas de saúde pública. Uma alternativa para minimizar os impactos negativos da disposição de águas residuárias sem tratamento prévio é a utilização da estação de tratamento de efluentes (ETE) por tanque séptico seguido de *wetland* construído (TS+WC). O principal objetivo deste trabalho é se debruçar sobre os custos e possíveis gargalos associados à implantação, operação e manutenção da ETE por TS+WC para comunidades rurais, bem como os aspectos legais e normativos associados ao provimento do serviço de esgotamento sanitário rural descentralizado no Brasil. Para tanto, foi realizada uma revisão de literatura baseada através da pesquisa exploratória sobre a ETE descentralizada por TS+WC em *cluster* sob as variáveis: funcionamento, características das comunidades, arranjos institucionais de implementação, aspectos legais e normativos, custos e financiamento. O presente estudo evidencia que, embora a ETE por TS+WC seja uma solução de baixo custo, é preciso considerar os gargalos associados ao provimento do serviço, além da necessidade de políticas públicas e discutir sobre aspectos regulatórios voltados para a expansão das ETES descentralizadas e eficientes.

Palavras-chave: Custos, Gargalos, Descentralização, Saneamento Rural, Brasil.

Analysis of agents, inputs and processes linked to the wastewater treatment plant by septic tank followed by constructed wetland for rural communities

ABSTRACT

Literature data show the precariousness of access to basic sanitation services, especially in relation to sanitary sewage. Almost half of the Brazilian rural population discharges its effluents through rudimentary septic tanks, which contaminate the environment and generate public health problems. An alternative to minimize the negative impacts of wastewater disposal without prior treatment is the use of the wastewater treatment plant (WWTP) by a septic tank followed by a constructed wetland (ST+CW). The main objective of this work is to look into the costs and possible bottlenecks associated with the implementation, operation and maintenance of WWTP by ST+CW for rural communities, as well as the legal and normative aspects associated with the decentralized rural sewage service in Brazil. Therefore, a literature review was carried out based on exploratory research on the WWTP decentralized by ST+CW in a cluster under the variables: functioning, community characteristics, institutional implementation arrangements, legal and normative aspects, costs and financing. The present study shows that, although the WWTP by ST+CW is a low-cost solution, it is necessary to consider the bottlenecks associated with the provision of the service, in addition to the need for public policies and to discuss regulatory aspects aimed at the expansion of decentralized and efficient.

Keywords: Costs, Bottlenecks, Decentralization, Rural Sanitation, Brazil.

Introdução

A Organização das Nações Unidas (ONU) consagrou o acesso ao saneamento básico como um direito humano fundamental, através da Resolução 64/A/RES/64/292, de 2010, reconhecendo que se trata de um elemento indispensável para que as pessoas possam “gozar plenamente a vida e todos os outros direitos humanos” (United Nations, 2010) além de contribuir para o desenvolvimento local de forma sustentável, envolvendo questões ambientais, sociais, econômicas e culturais. Conforme a Lei nº 11.445/07, o saneamento básico é caracterizado por um agrupamento de infraestruturas e instalações operacionais, com o intuito de ofertar serviços essenciais ligados ao fornecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manuseio de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (Brasil, 2007).

Em 2015, líderes mundiais em todo o mundo adotaram a Agenda 2030, delimitando 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável. Três destes objetivos podem ser diretamente associados ao acesso ao saneamento básico: o objetivo 6, relacionado à disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos; objetivo 11, para tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis e; objetivo 14, que enfatiza a importância da conservação e uso sustentável dos recursos hídricos para o Desenvolvimento Sustentável (ONU Brasil, 2021; Hube; Wu, 2021; Muzioreva et al., 2022).

Todavia, em um planeta com população superior a 8 bilhões de habitantes, quase metade das pessoas (46%) não tem acesso a serviços de saneamento básico, conforme o Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, elaborado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO, 2023).

O mesmo relatório revela que 44% dos esgotos domésticos coletados não recebem um tratamento adequado e que esses fatores, associados à ausência de fontes de abastecimento de água seguras, foram responsáveis pela morte de 1,4 milhões de pessoas em 2019. Ainda de acordo com a ONU, se fossem investidos 2% do PIB global, por ano, em setores essenciais e estratégicos como saneamento básico, gestão de resíduos,

reciclagem e tratamento de água, seria possível afirmar que o planeta estaria em transição para uma Economia Verde de baixo carbono e alta eficiência na gestão de recursos naturais (Gallo et al., 2012).

No Brasil, dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), corroboram o cenário global, uma vez que, conforme a Agência Nacional de Águas (2019) o saneamento básico “sempre foi carente de planejamento estratégico de médio e longo prazo”. Em 2022, de acordo com o SNIS, 84,9% dos brasileiros eram atendidos pelo serviço de abastecimento de água, somente 56% tinham seus efluentes domésticos coletados e, destes, 52,2% tratados, evidenciando que o acesso a soluções adequadas de esgotamento sanitário, que se constitui no foco deste artigo, se apresenta de forma ainda mais deficitária no país. Esse quantitativo desassistido, em números absolutos, representa mais de 100 milhões de pessoas, distribuídas de maneira desigual no território nacional, uma vez que os dados revelam a existência de uma grande desigualdade na disponibilidade desse serviço entre as regiões do país, atingindo coberturas de apenas 14,7% e 31,4% nas regiões norte e nordeste, respectivamente, contra proporções de 49,7%, 62,3% e 80,9% nas regiões sul, centro-oeste e sudeste (Ministério das Cidades, 2022).

O esgotamento sanitário é caracterizado pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais ligadas à coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados de efluentes, ou seja, toda infraestrutura desde ligações prediais/residenciais até a destinação final no ambiente ou reuso da água (Brasil, 2020b).

A desigualdade na distribuição desse serviço também se revela entre os espaços urbanos e rurais. No país, cerca de 79 milhões de brasileiros residiam em localidades rurais, em 2022, quantitativo que se aproximava da população total de países como a Alemanha e o Irã (IBGE, 2022). Desse contingente, cerca de 60% dos domicílios particulares rurais não tinham acesso a soluções de esgotamento sanitário adequado (rede geral ou fossas sépticas¹), utilizando-se de fossas rudimentares² ou lançando seus efluentes, sem tratamento prévio, no ambiente, diretamente em corpos hídricos como valas, rios e lagos. (FUNASA, 2019; Ministério do Desenvolvimento

¹ Também chamada de tanque séptico, é um reator anaeróbio sob forma de tanque impermeável utilizado para o tratamento de efluentes. É a tecnologia descentralizada mais utilizada no Brasil e no mundo (Tonetti et. al, 2018).

² Também conhecidas como fossas negras, as fossas rudimentares são definidas como “um poço ou buraco escavado no solo, sem impermeabilização ou com
Silva, A. S.; Oliveira, A. C. V.; Spinola, C. A.; Moreira, I. T. A.

impermeabilização parcial, onde é feita a disposição do efluente bruto conduzido por veiculação hídrica” (FUNASA, 2015).

Regional, 2019). Esse problema assume maiores proporções nos estados das regiões norte e nordeste que possuem maiores proporções de comunidades rurais: Maranhão (36%), Piauí (33%), Pará (32%) e Bahia (27%) (SNIS, 2020).

São consideradas comunidades rurais as populações cujas características diferem da urbana e vivem fora perímetro urbano ou da sede municipal. No Brasil, a população rural possui grande diversidade cultural, étnica, religiosa, econômica e ecossistêmica entre si, que as caracterizam e definem as relações específicas que mantêm com os mananciais hídricos. Por este motivo, para além de um direito das comunidades rurais, assegurado por leis e normativas nacionais e internacionais, o acesso ao esgotamento sanitário é um tema de grande relevância ambiental e de saúde pública, estando associado, quando ausente, a uma maior probabilidade de adoecimento humano (FUNASA, 2011). Como diversas comunidades rurais culturalmente possuem relação íntima com mananciais próximos, o acesso à água potável e esgotamento sanitário adequado se mostram de grande relevância pois reduzem o contato com patógenos que causam doenças de veiculação hídrica, um dos graves problemas de saúde pública na população rural (FUNASA, 2011).

As águas residuárias domésticas são geradas em edificações residenciais e/ou comerciais ou instituições, a partir de cozinha, banheiros, lavanderias, entre outros. São constituídas de água proveniente de banho, sabão, detergente, excretas humanas (fezes e urina), resíduos alimentares. Pode ser subdividido em água amarela, água marrom, água cinza e água negra. A água cinza é produzida a partir de pias, tanques, chuveiros, onde são encontrados componentes químicos de produtos de limpeza, além de gorduras e sólidos em suspensão a exemplo de cabelos, areia, entre outros. Já água negra advém de excretas como fezes e urina, com altas concentrações de matéria orgânicas e microrganismos patogênicos. As águas amarela e marrom são, respectivamente, apenas urina e fezes (UNESCO; GTZ, 2006; Paulo et al., 2013; FUNASA, 2015; Patel et al., 2019; Khalil; Liu, 2021).

A água residuária necessita de tratamento adequado para que possa ser reutilizada ou devolvida para o ambiente sem causar danos à saúde humana e aos ecossistemas terrestre e/ou aquático. O despejo inadequado do efluente, ou

seja, o efluente não tratado entra em contato com o solo, águas superficiais ou águas subterrâneas pode acarretar em consequências como a eutrofização³, a contaminação com organismos patogênicos, influenciando também na saúde humana, e o contato com compostos químicos tóxicos e nocivos. ao ser humano e aos ecossistemas terrestre/ou aquático (Calijuri; Cunha, 2013, p301). Cabe mencionar que a Resolução CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) Nº 430 de 13 de maio de 2011 trata das condições e padrões de lançamento de efluentes, além de complementar e alterar a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. O artigo terceiro da Resolução Nº 430 de 13 de maio de 2011 deixa claro que a água residuária somente deve ser lançada diretamente nos corpos receptores “após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis” (Ministério do Meio Ambiente, 2011). Ou seja, para que o efluente tratado seja lançado em corpos hídricos, é necessário que esteja dentro dos parâmetros estabelecidos pelo CONAMA para garantir a qualidade ambiental e a manutenção dos ecossistemas aquáticos.

O monitoramento das características do efluente doméstico é feito através de parâmetros químicos e físicos. Os parâmetros físicos mais avaliados são temperatura, cor e turbidez e, os parâmetros químicos avaliados são: sólidos totais (suspensos, dissolvidos e sedimentáveis), matéria orgânica (DBO e DQO), fósforo total, nitrogênio total, potencial hidrogeniônico (pH), alcalinidade, cloretos, matéria inorgânica e coliformes termotolerantes (EPA, 1997; FUNASA, 2015; Shrivastava et al., 2020).

O tratamento de efluentes domésticos é composto por um conjunto de estruturas de uma Estação de Tratamento de Efluentes – ETEs e seus sistemas. As ETEs são o somatório de todas as tecnologias, desde a entrada do afluente até a saída da água residuária tratada. Em geral, nas ETEs brasileiras, primeiramente o afluente passa pelo tratamento primário, a exemplo dos tanques sépticos, seguido do tratamento secundário, de natureza biológica, onde ocorre a conversão da matéria orgânica e a remoção de patógenos e, por fim, o efluente tratado é disposto no ambiente (Jordão e Pessoa, 2014; BRK Ambiental, 2021; Varma et al., 2022).

O tratamento pode ser feito por intermédio de sistemas centralizados ou convencionais ou por sistemas descentralizados. Nos primeiros, adotados

³ Processo causado pelo enriquecimento de nutrientes em corpos hídricos que favorecem o crescimento de algas, aumentando a turbidez e diminuindo o oxigênio dissolvido na

água. Causada ou acelerada por atividade antrópica, a eutrofização impacta negativamente no equilíbrio dos ecossistemas aquáticos (Suteja et al., 2021; Le Moal et al., 2019).

em centros urbanos e em áreas com grande densidade populacional, a coleta dos esgotos das diversas sub-bacias se dá através de uma rede extensa de tubulações que convergem para um número bastante reduzido de ETEs, normalmente em áreas de menor cota geométrica. Essas características tornam os custos de implantação de uma rede geral centralizada de coleta e tratamento de efluentes inviável para as áreas rurais, dada a baixa densidade populacional e grande dispersão geográfica de suas habitações (Oladoja, 2017; Lourenço; Nunes 2020; Mesquita et al., 2021; Risch et al., 2021; Muzioreva et al., 2022).

Isto posto, a descentralização do tratamento de efluentes domésticos apresenta-se como uma alternativa possível pois “coleta, trata e faz a disposição final ou reuso do esgoto em local próximo à sua geração”, minimizando os riscos de contaminação ambiental e exposição aos agentes patogênicos causadores de doenças que agravam a saúde humana como diarreia e outras doenças intestinais, dermatite, infecções fúngicas, entre outros (Boa e Weng, 2022). São considerados soluções efetivas, simples e de baixo custo, quando comparados aos sistemas centralizados (Silva et al., 2019).

São escassos os estudos que tratam da descentralização no contexto do esgotamento sanitário rural no Brasil. A ausência de estudos sobre o esgotamento doméstico descentralizado pode estar relacionada ao estigma associado ao tema, visto que estratégia costuma ser associada à precariedade e subdesenvolvimento (Mesquita et al. 2021). Além disto, existem poucos estudos que podem ser úteis na tomada de decisões sobre as soluções frente aos problemas do acesso ao saneamento em áreas rurais, desde as condições topográficas que viabilizem a implantação do sistema quanto a sua escala (pois é comum haver diferentes formas de disposição das residências, podendo estar aglomeradas ou isoladas), até características socioculturais e econômicas da população, o que pode influenciar diretamente na escolha da ETE descentralizada para determinada comunidade rural (Huang et al., 2022).

Entendendo a importância desse tema e buscando contribuir para a literatura existente e para a formulação de políticas que enderecem esse importante problema socioambiental de forma eficiente, o objetivo geral deste artigo é se debruçar sobre os custos e possíveis gargalos associados à implantação, operação e manutenção de uma solução específica, que seria uma ETE descentralizada contendo tanque séptico seguido de *wetland* construído para comunidades rurais, levantando também os aspectos legais e normativos

associados ao provimento desta alternativa de esgotamento sanitário rural descentralizado.

Embora o tanque séptico seja a tecnologia descentralizada de tratamento de efluentes mais utilizada no Brasil e no mundo, ainda sim possui alguns problemas como o potencial limitado de remoção de poluentes do corpo hídrico e, consequentemente, a necessidade de acesso às instalações complementares mais robustas (Murei et al., 2022). Os sistemas alagados como as *wetlands*, são compostos por valas impermeabilizadas, por estruturas responsáveis pelo fluxo, tempo e nível do efluente, além de material particulado, plantas macrófitas e microrganismos. Estes dois últimos são responsáveis pela degradação da matéria orgânica, atuando, portanto, na remoção de poluentes encontrados no esgoto (Lopes, 2014; Tonetti et al., 2018).

A hipótese do estudo, portanto, é que as estações de tratamento de efluentes por tanque séptico complementados com a tecnologia de *wetlands* construídos (TS+WC) representam uma solução viável do ponto de vista técnico e de baixo custo no que tange ao processo de descentralização do esgotamento sanitário rural. Os eventuais desafios associados à sua implantação, operação e manutenção em comunidades rurais brasileiras é o que será abordado neste artigo.

Para a construção do presente trabalho, foi realizada uma revisão de literatura mediante pesquisa exploratória, com o intuito de mapear os insumos, processos e agentes envolvidos na ETE mencionada. Foram consultados artigos científicos de pesquisa e de revisão, páginas da internet de empresas e entidades, contendo dados secundários e informações técnicas sobre o tema. Baseado nesses dados, foi construído um quadro esquemático (Figura 05) que reúne os agentes, os insumos e os processos que participam na implantação, operação e manutenção da ETE descentralizada por tanque séptico seguido de *wetland* construído no contexto das áreas rurais. Adicionalmente, foram construídas as Tabelas 01 e 02, contendo informações sobre os custos atualizados de implantação até a manutenção da ETE por TS+WC e um quadro com o resumo dos gargalos associados à implantação da ETE. O esquema, as tabelas e o quadro acompanham a discussão, estabelecendo conexões entre as informações explicitadas.

O artigo encontra-se dividido em cinco seções, incluindo a Introdução. A segunda seção aborda os materiais e métodos utilizados para construção do presente trabalho; a terceira seção traz os aspectos teóricos sobre a ETE estudada no contexto do tratamento descentralizado de

efluentes em áreas rurais; a quarta seção traz os resultados e discussões e; a última seção, as considerações finais.

Material e métodos

Foi realizada uma revisão de literatura baseada em pesquisas exploratória, cujo objetivo é desenvolver ideias sobre fenômeno estudado (Gil, 2002). Foram consultados artigos científicos de pesquisa e de revisão, páginas da internet de empresas e entidades, contendo dados secundários e informações técnicas sobre o tema.

Quanto aos artigos científicos, as buscas foram realizadas em bases internacionais (ScienceDirect e Springerlink) e nacionais (SciELO e Periódicos CAPES). Em cada base de dados citada, foram utilizados mecanismos de busca com palavras-chave a exemplo de “*septic tank*”, “*constructed wetland*”, “*wastewater treatment*”, “*basic sanitation*”, “*rural community*”, “*agent*”, “*input*”, “*cost*”, “*process*”, “*difficulty*”, “*bottleneck*”, utilizando os termos no plural, sinônimos ou em português quando necessário e aplicando os operadores booleanos AND e OR. Como critério de escolha de artigos encontrados em cada base de dados, tem-se a presença de informações sobre ETEs descentralizadas, tanques sépticos, *wetlands* construídos e aplicação destas tecnologias no contexto das áreas rurais.

Foi elaborado, portanto, um esquema (Figura 05) compilando informações encontradas sobre os agentes, os insumos e os processos que participam na implantação, operação e manutenção da ETE descentralizada por tanque séptico seguido de *wetland* construído no contexto das áreas rurais. Adicionalmente, foram construídas as Tabelas 01 e 02, contendo informações sobre os custos desde a implantação até a manutenção da ETE por TS+WC. Considerando que as informações de custos da ETE variam em diferentes trabalhos, neste artigo os valores foram baseados no trabalho de Perondi e colaboradores (2019). Em seguida o Quadro 01, que resume os gargalos ligados a ETE estudada. O esquema, as tabelas e o quadro acompanham a discussão, estabelecendo conexões entre as informações explicitadas.

Aspectos legais e normativos do provimento do serviço de esgotamento descentralizado e a ETE por tanque séptico seguido de *wetland* construído

As dinâmicas demográficas que se sucederam a partir da década de 70 do século XX no Brasil foram responsáveis pelo crescimento das grandes metrópoles, bem como a migração urbano-

rural. O movimento migratório para áreas rurais pode ser explicado pela fuga da população do ritmo de vida dos grandes centros urbanos e a busca por emprego e uma vida em cidades médias e no campo (Baeninger, 2016). Entretanto, as áreas rurais carecem de infraestruturas que atendam a esse fluxo de busca pelo campo, a exemplo de serviços básicos de saneamento, em especial o esgotamento sanitário.

Em todo Brasil, a questão da ruralidade está rodeada de incertezas. O quantitativo de residências rurais até então é desconhecido devido às limitações quanto a delimitação do que é urbano e o que é rural, além da invisibilidade da população rural diante das iniciativas governamentais. Estima-se que a população rural seja maior que os números divulgados pelo IBGE (em torno de 36%), porém ainda são apenas estimativas (Agência Brasil, 2015). Isto porque as concepções contemporâneas de ruralidade contrapõem-se à definição das áreas rurais brasileiras adotadas pelo IBGE como a oposição e exclusão às áreas consideradas urbanas, cujo modelo adotado é eminentemente físico-geográfico e considerado arbitrário, pois desconsidera as relações e os processos socioeconômicos que constituem os espaços rurais (Bezerra e Bacelar, 2013).

Conforme a Lei nº 11.445/2007, o saneamento básico é caracterizado por “um conjunto de infraestruturas e instalações operacionais que possibilitam a oferta de serviços ligados ao fornecimento de água potável, limpeza urbana e manuseio de resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais e esgotamento sanitário” (Brasil, 2007). Seu objetivo é fornecer um serviço de qualidade para todos e em quantidade suficiente para o suprimento das necessidades humanas, garantindo a saúde populacional e a qualidade ambiental (Silva et al., 2019). Já o esgotamento sanitário pode ser entendido como um conjunto de atividades, tecnologias e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos sanitários compreendendo toda a infraestrutura, desde as ligações residenciais até o lançamento final no meio ambiente (Brasil, 2007).

As águas residuárias domésticas são geradas em edificações residenciais e/ou comerciais ou instituições, a partir de cozinha, banheiros, lavanderias, entre outros. São constituídas de água proveniente de banho, sabão, detergente, excretas humanas (fezes e urina), resíduos alimentares (FUNASA, 2015). Pode ser subdividido em água amarela, contendo apenas urina; água marrom contendo apenas fezes; água negra, sendo a junção de excretas (urina e fezes), com altas concentrações de matéria orgânica e microrganismos patogênicos e; água cinza,

produzida a partir de pias, tanques e chuveiros, onde são encontrados componentes químicos de produtos de limpeza, além de gorduras e sólidos em suspensão a exemplo de cabelos, areia, entre outros. Existem também as águas residuárias mistas, contendo a junção dos subtipos mencionados anteriormente (UNESCO; GTZ, 2006; Paulo et al., 2013; FUNASA, 2015; Khalil e Liu, 2021).

Quanto à cobertura do serviço, o déficit do esgotamento sanitário em áreas rurais chama a atenção, uma vez que 48,6% desta população destina os seus efluentes para fossas rudimentares, que se constituem em buracos ou poços escavados no solo, e quase 12% deste mesmo grupo os lança em corpos hídricos como rios e lagos. Apenas 32% da população rural tem acesso a um sistema de tratamento de efluentes domésticos, em sua maioria o tanque séptico (Ministério Do Desenvolvimento Regional, 2019; FUNASA, 2019).

As fossas rudimentares e o lançamento em corpos hídricos são soluções precárias que favorecem a contaminação de corpos hídricos e/ou solo, por vezes, expondo a população a doenças de veiculação hídrica, auxiliando na elevação da taxa de mortalidade infantil, além de outros impactos na saúde pública. Os dados deixam claro que as ações em prol do acesso ao esgotamento básico em áreas rurais são necessárias e emergenciais (Araújo, 2011; Von Sperling, 2014).

O grau de centralização ou descentralização dos serviços de esgotamento sanitário depende do grau de urbanização do país cujo sistema está instalado. Em países industrializados, a centralização é caracterizada como uma infraestrutura extensa de tratamento de efluentes, bem como um alto custo energético (Estévez et al., 2022). Porém, em países subdesenvolvidos, as redes centralizadas não estão presentes em áreas mais distantes das redes gerais, muitas vezes por falta de apoio governamental, econômico e até mesmo técnico para garantir a manutenção do sistema (Bernal et al., 2021).

A atual forma de tratamento de águas residuárias dos centros urbanos ocorre através das redes gerais, altamente centralizadas, que por suas características técnicas e econômicas não se constituem em alternativas viáveis para as comunidades rurais remotas, dada a sua distância geográfica. O tratamento descentralizado de efluentes domésticos envolve a coleta, o tratamento, a disposição final e reuso da água ou produtos de valor agregado em locais próximo à sua geração (Chirisa et al., 2017; Singh et al., 2019).

A escolha de um sistema descentralizado que atenda a demanda de tratamento de efluentes não deve ser feita considerando apenas a efetividade tecnológica, mas também a viabilidade econômica e as condições socioculturais da comunidade. Em outras palavras, a tecnologia apropriada deve ser economicamente acessível, socialmente aceitável e ambientalmente sustentável (Massoud et al., 2009).

Dentre as vantagens da implantação de sistemas descentralizados pode-se citar a redução dos impactos negativos do contato dos efluentes em relação ao meio ambiente e saúde humana e o aumento da reutilização da água residual tratada, a depender de aspectos socioeconômicos da comunidade, da tecnologia empregada e de configurações locais, o que pode gerar economia circular e minimizar a emissão de gases do efeito estufa, onde os recursos podem ser recuperados e reutilizados, levando a diminuição dos danos ao ambiente (Kumar et al., 2022; Estévez et al., 2022; Castillo et al., 2022).

Enquanto os sistemas centralizados estão longe do alcance da população atendida pelo serviço, os sistemas descentralizados geralmente são de pequena escala, o que exige um maior envolvimento popular na tomada de decisões, com impacto positivo na educação e estímulo à consciência ambiental (Murei et al., 2022). Castillo et al. (2022) listam outras vantagens como a geração de subprodutos com valor socioeconômico como o biogás, alimentos, fertilizantes e plantas ornamentais; boa flexibilidade operacional; baixo consumo de materiais e energia e podem compor o paisagismo local com infraestrutura verde.

Para compreender sobre o provimento do esgotamento descentralizado no Brasil, é preciso abordar os aspectos legais associados ao acesso ao serviço mencionado. Dentre as diretrizes para o saneamento, oriundos da Lei nº 11.445/07, lista-se a Política Federal de Saneamento Básico – PFSB, os Planos Estaduais de Saneamento Básico – PESB e os Planos Municipais de Saneamento Básico – PMSB, onde são estabelecidos os princípios básicos para a provisão do serviço em suas respectivas esferas. Além disto, a elaboração do Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANAB, aprovado em 2013, e, posteriormente, do Programa de Saneamento Brasil Rural – PSBR, para desenvolver ações voltadas para o saneamento básico nas áreas rurais, além da constatação de que o déficit do acesso ao saneamento básico é ainda maior nestas áreas, especialmente em aglomerações isoladas menos adensadas e locais isolados, sem aglomerações (Brasil, 2007; Mesquita et al., 2021; Rodrigues et al., 2022).

Quanto à segmentação de mercado da oferta do serviço de esgotamento sanitário no Brasil, o SNIS (2017) afirma que os municípios são atendidos majoritariamente pelas Companhias Estaduais de Saneamento Básico – CESB (1370 municípios) mas também são atendidos por companhias microrregionais (16 municípios), por autarquias ou empresas municipais e prestadores de serviço privados (77 municípios), mantendo a proporção quantitativa de municípios para cada segmentação semelhante, desde 1971, com o plano anterior, o Plano Nacional de Saneamento – PLANASA. Vale destacar que existe uma defasagem de dados sobre esgotamento sanitário no Brasil onde, de acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do SNIS (2017), apenas 1463 dos 5568 municípios, ou seja, 26% do total de municípios brasileiros possui informações sobre segmentação de mercado da oferta do serviço mencionado. Não constam, portanto, informações sobre a segmentação de 74% dos municípios (SNIS, 2017; Rodrigues et al., 2022).

O marco legal do saneamento foi atualizado em 15 de julho de 2020 com a Lei nº 14.026/20, cujo objetivo é garantir o acesso à água potável e ao esgotamento sanitário a 99% e 90% da população brasileira, respectivamente, até 2033. Vale ressaltar que o esgotamento sanitário descentralizado é um tema recente na legislação brasileira. Somente na Lei nº 14.026/20 essa alternativa é mencionada, e uma única vez, enfatizando que

“É facultado à entidade reguladora prever hipóteses em que o prestador poderá utilizar métodos alternativos e descentralizados para os serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgoto em áreas rurais, remotas ou em núcleos urbanos informais consolidados, sem prejuízo da sua cobrança, com vistas a garantir a economicidade da prestação dos serviços públicos de saneamento básico.” (Brasil, 2020)

Dentre as mudanças em relação à legislação anterior, o novo marco legal do saneamento aponta também para uma maior flexibilização, possibilitando que os recursos federais possam ser direcionados para a descentralização, onde a prestação de serviços não será exclusivamente realizada pelas CESBs, ou seja, as empresas (sendo elas CESBs ou privadas) poderão concorrer à vaga mediante abertura de licitação, ao contrário da situação anterior, cujas parcerias eram feitas apenas com empresas estatais, sem licitação (Albuquerque, 2011; Brasil, 2020).

Destaca-se, portanto, outras mudanças do novo marco legal em relação à Lei 11.445/2007 como o atendimento a pequenos municípios, com

poucos recursos e sem serviços de saneamento, onde os estados podem determinar grupos de municípios que podem contratar os serviços de forma coletiva, ao contrário do modelo anterior cujas empresas estatais de grandes cidades auxiliavam na expansão da prestação do serviço de saneamento em municípios menores; o fomento ao reuso do efluente (ou água residual) tratado e; a regulação do setor passa a ser realizada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, estabelecendo normas para atuação dos serviços, sua estrutura administrativa, fontes de recursos e resolução de impasses (Brasil, 2020).

As diretrizes sobre o atendimento de serviço de esgotamento sanitário em áreas remotas dependem da dimensão do tratamento. Para sistemas *onsite*, também conhecidos como sistemas locais, cujo tratamento ocorre em uma única propriedade, seja ela residência ou edifício (Massoud et al., 2009), a Lei nº 11.445/2007 determina-se que

“Não constitui serviço público a ação de saneamento executada por meio de soluções individuais, desde que o usuário não dependa de terceiros para operar os serviços, bem como as ações e serviços de saneamento básico de responsabilidade privada, incluindo o manejo de resíduos de responsabilidade do gerador.” (Brasil, 2007).

Diferentemente dos sistemas *onsite*, os sistemas em *clusters*, que atendem mais de uma propriedade, requerem autorização de órgão ambiental, que define requisitos para o licenciamento ambiental (Singh et al., 2019). Assim como em sistemas centralizados, característicos de áreas urbanas, a descentralização em *cluster* também deve ocorrer mediante a Resolução CONAMA nº 430/2011 quanto ao lançamento final da água residuária tratada no ambiente (Ministério Do Meio Ambiente, 2011; Mesquita et al., 2021).

Com o advento do novo marco legal do saneamento, é oportuno trazer à tona a importância da expansão da descentralização e compreender o contexto de uma ETE descentralizada para áreas rurais. No que se refere ao tratamento biológico de efluentes mistos, cabe discutir sobre o tanque séptico, por ser a tecnologia descentralizada mais utilizada no Brasil e os *wetlands* construídos como um sistema complementar, ampliando a eficácia de remoção de poluentes encontrados na água residuária. A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT já estabelece normas de projeto, construção e operação de tanques sépticos, através da NBR 7229 (ABNT, 1993) e a sua atualização, a NBR 13969 (ABNT, 1997) apresenta possibilidades de tratamento complementar de

efluentes pós tanque séptico, a exemplo do filtro de areia, filtro anaeróbio e lagoa com plantas aquáticas, ou *wetland* construído.

Também chamados de fossas sépticas, os tanques sépticos são reatores anaeróbios com estrutura de um tanque impermeável, considerada a tecnologia mais utilizada em áreas isoladas no Brasil e no mundo (Almomani e Khraisheh, 2016). Com tempo de retenção hidráulico médio de 8 dias, o tratamento ocorre mediante processos físico (sedimentação) e biológico, por decomposição anaeróbia (na ausência de oxigênio), podendo remover em torno de 50% de Demanda Bioquímica

de Oxigênio – DBO, usada para medir a qualidade da água mediante a quantidade de oxigênio consumido por microrganismos durante a degradação da matéria orgânica (Calijuri e Cunha, 2013). Além disto, o tanque séptico também possui a capacidade de remover entre 60% e 80% de sólidos suspensos do efluente. No processo ocorre a formação de espuma, material flutuante constituído de compostos leves, óleos e graxas, e o lodo é sedimentado (Figura 01) (Almeida et al., 2010; Abdallah et al., 2020).

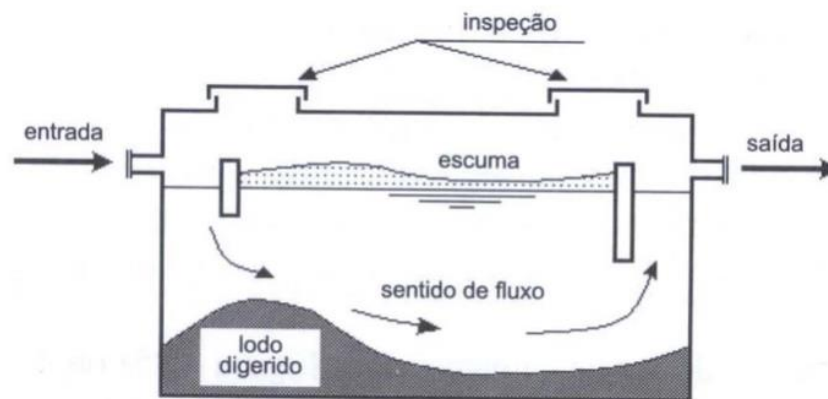


Figura 01: Esquema de funcionamento de um tanque séptico. Fonte: Tonetti et al. (2018).

Os *wetlands* construídos, também conhecidos como zona de raízes ou zonas úmidas, são sistemas considerados de fácil gestão e manutenção. São comumente utilizados em regiões tropicais, onde as condições climáticas favorecem a atividade microbiológica do sistema e, conseqüentemente, impacta positivamente na eficiência de remoção de poluentes na água. Com tempo de retenção hidráulica médio de 3 dias, o sistema é projetado de forma semelhante ao que ocorre naturalmente em zonas úmidas naturais, porém de forma controlada e supervisionada, com o objetivo de tratar águas residuais (Pérez et al., 2024).

São constituídos por valas impermeabilizadas, estruturas que controlam a direção do fluxo, tempo e nível de água residual, além de material particulado (areia e brita/cascalho) e plantas macrófitas, vegetais terrestres que, em seu processo evolutivo, se adaptaram em ambiente aquático, podendo habitar em brejos ou completamente debaixo d'água. Por serem plantas que precisam de altas concentrações de nutrientes para seu crescimento e desenvolvimento, as plantas macrófitas são utilizadas na recuperação de áreas contaminadas

mediante sua capacidade elevada de retenção de substância em suas raízes (UFSCAR, 2019). As mais utilizadas no Brasil são a taboa (*Thypha*), papiro (*Cyperus*) e gramíneas, a exemplo do capim Tifton (*Cynodon*) (Tonetti et al, 2018).

Além das macrófitas, microrganismos a exemplo de bactérias e fungos também fazem parte do tratamento, consumindo nutrientes e mantendo relação simbiótica com as plantas na rizosfera. As plantas macrófitas quanto os microrganismos são responsáveis pela degradação biológica de contaminantes encontrados no efluente, removendo poluentes orgânicos, inorgânicos e patógenos presentes em águas residuais (Almeida et al., 2010; Resende et al., 2019; Fan et al., 2021, Oliveira et al., 2021).

Neste tipo de tratamento, o potencial de remoção de matéria orgânica e patógenos é alto. O trabalho experimental conduzido por Hendy et al. (2023) revela que os *wetlands* construídos podem reduzir significativamente até 95% de DBO e DQO utilizando as plantas *Paulownia* e *Phragmites australis*. Além disto, a eficiência dos *wetlands* construídos está associada à presença da fase aeróbia, pois as plantas realizam fotossíntese, ou seja, convertem dióxido de carbono atmosférico

em oxigênio na presença da luz, sendo então fornecido aos microrganismos das camadas superficiais. Há também a fase anaeróbia, realizada por microrganismos localizados na porção inferior do sistema.

Zhang et al. (2023) enfatizam que os *wetlands* construídos melhoram o desempenho geral do sistema descentralizado, visto que potencializa a remoção de poluentes. Entretanto, é necessário que o sistema seja precedido por um outro tipo de tratamento, a exemplo dos tanques sépticos, para evitar entupimentos e garantir que o efluente tenha parte dos seus poluentes já tratados (Hernández, 2009; Parde et al., 2020).

Os *wetlands* construídos podem ser subdivididos em três tipos: fluxo superficial de água livre, o tipo mais próximo de um *wetland* natural (Figura 02a), com maior vida útil dentre os três tipos, porém com a desvantagem de ser o tipo mais afetado em climas mais frios pelo risco de congelamento; fluxo subsuperficial horizontal,

onde o efluente flui horizontalmente pelo sistema e as condições aeróbicas ocorrem apenas em torno das raízes das plantas, além de requerer áreas de até 10 metros quadrados (Figura 02b) (Castillo et al., 2022).

Já no *wetland* de fluxo subsuperficial vertical (Figura 02c), a água residual flui verticalmente, requerendo área menor que o de fluxo horizontal (até 3 metros quadrados). Possui uma maior transferência de oxigênio para o sistema e é o tipo mais eficiente para degradar matéria orgânica, embora exija maior periodicidade de manutenção (Wang et al., 2018; Parde et al., 2020; Castillo et al., 2022). Albalawneh e Perilli (2021) compararam diferentes tipos de sistemas naturais de tratamento de água cinza de uma única casa na Jordânia e concluíram que a eficiência foi maior ao utilizar o *wetland* vertical, com remoção de 90% de DBO, 90% de DQO e 92% de sólidos totais suspensos

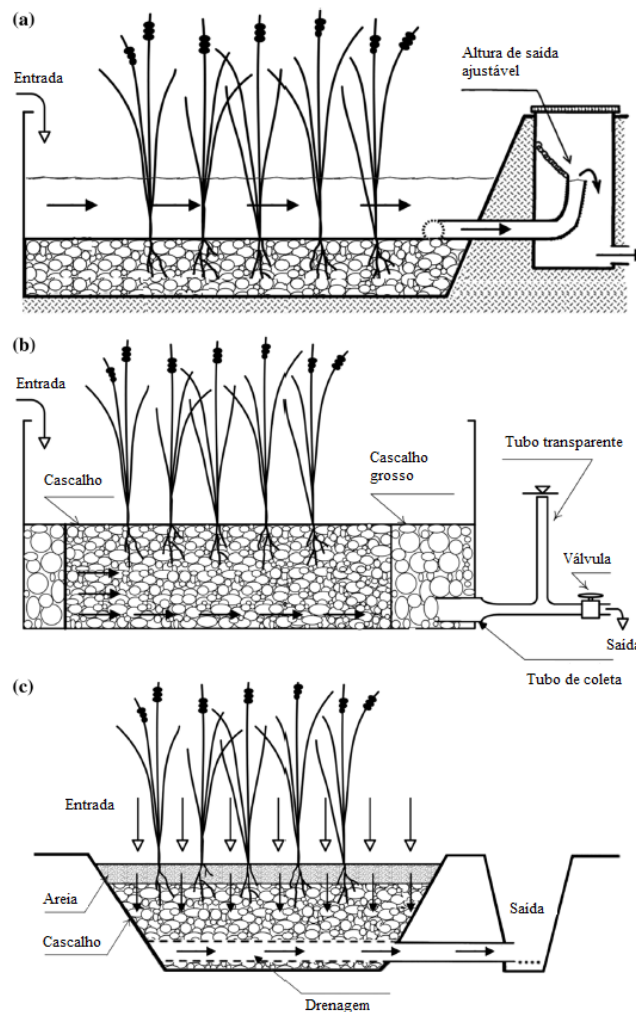


Figura 02: Diferentes tipos de *wetlands* construídos para tratamento de efluentes. Fonte: Adaptado de Wang et al. (2018).

A ETE por tanque séptico seguido de *wetland* construído é composta pelas estruturas de tratamento biológico anteriormente citadas, cujo esquema é apresentado conforme a Figura 03. Antes do afluente entrar no tanque séptico, ocorre um tratamento físico preliminar que envolve a

sedimentação, onde há a retenção de partículas maiores do afluente.

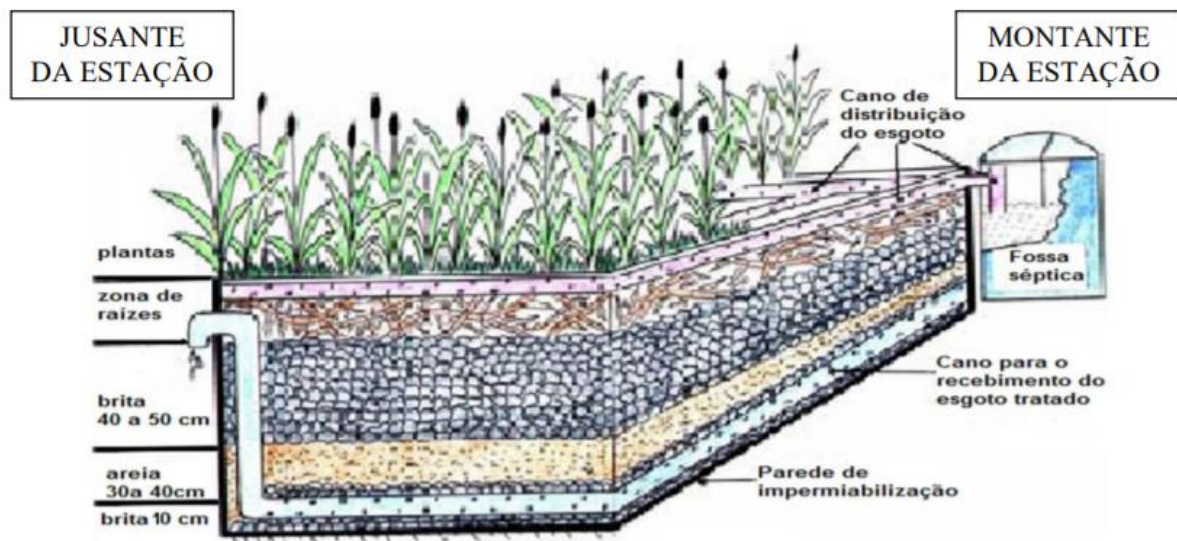


Figura 03: Esquema de uma ETE por TS+WC. Fonte: Kaick et al. (2008).

A água residual segue para um tanque séptico e o efluente tratado anaerobicamente segue em direção ao *wetland* construído, onde a degradação anaeróbia é combinada com a atividade fotossintética das plantas macrófitas, para remoção de patógenos e contaminantes presentes na água residual em processo de tratamento (Subtil et al., 2016; Singh et al., 2019). Conforme a NBR 13969/1997, a combinação TS+WC tem potencial de remoção entre 70 e 90% de DBO, 100% de sólidos sedimentáveis e até 90% de nitrogênio e fósforo (ABNT, 1997). A Figura 04 mostra um exemplo de uma ETE contendo um tanque séptico seguido de um *wetland* construído.



Figura 04: ETE por TS+WC. Fonte: IFG, 2015.

De acordo com Mesquita et al. (2021) e Subtil, Sanchez e Cavallero (2016), cerca de 30% das ETEs descentralizadas de pequeno porte no Brasil são compostas por tanques sépticos seguidos de filtros anaeróbios (TS+FAN), devido ao melhor detalhamento e concisão sobre os sistemas mencionados na NBR 13969/1997. Apesar disto, a ETE por TS+WC representa uma vantagem devido ao *wetland* construído ser um sistema em parte aeróbio, o que potencializa a remoção de DBO, sólidos sedimentáveis, nitrogênio, fósforo (poluentes contidos na matéria orgânica) além da ausência de odor, o que não ocorre em filtro anaeróbio (ABNT, 1997).

Para implantar, operar e manter uma ETE por tanque séptico e *wetland* construído, torna-se fundamental o estudo dos custos e gargalos envolvendo a referida estratégia em determinada área rural (Gratziou et al., 2006). A estimativa de custos ocorre mediante o cálculo de valores dos insumos e processos e os gargalos são encontrados mediante a localização de possíveis dificuldades de provimento do serviço desde a implantação até a manutenção da ETE.

Resultados e discussão

Nesta seção será analisada as fases de implantação, operação e manutenção do serviço de tratamento de efluentes mistos, realizado pela ETE por tanque séptico seguido de *wetland* construído em *cluster*, sob as variáveis: funcionamento, características das comunidades, arranjos institucionais de implementação, aspectos legais e normativos, custos e financiamento.

Os atores envolvidos, a estrutura, os insumos e processos para implantação, operação e

manutenção de uma ETE por TS+WC para áreas rurais encontram-se representadas na Figura 05. Entre os itens dispostos na horizontal estão evidenciadas as tecnologias, equipamentos, insumos e manutenção. Nos quadros dispostos verticalmente à esquerda constam os atores envolvidos desde a implantação até a manutenção da ETE. Além disto a legislação vigente, cobrindo todos os agentes, insumos e processos, fazendo parte de todas as etapas.

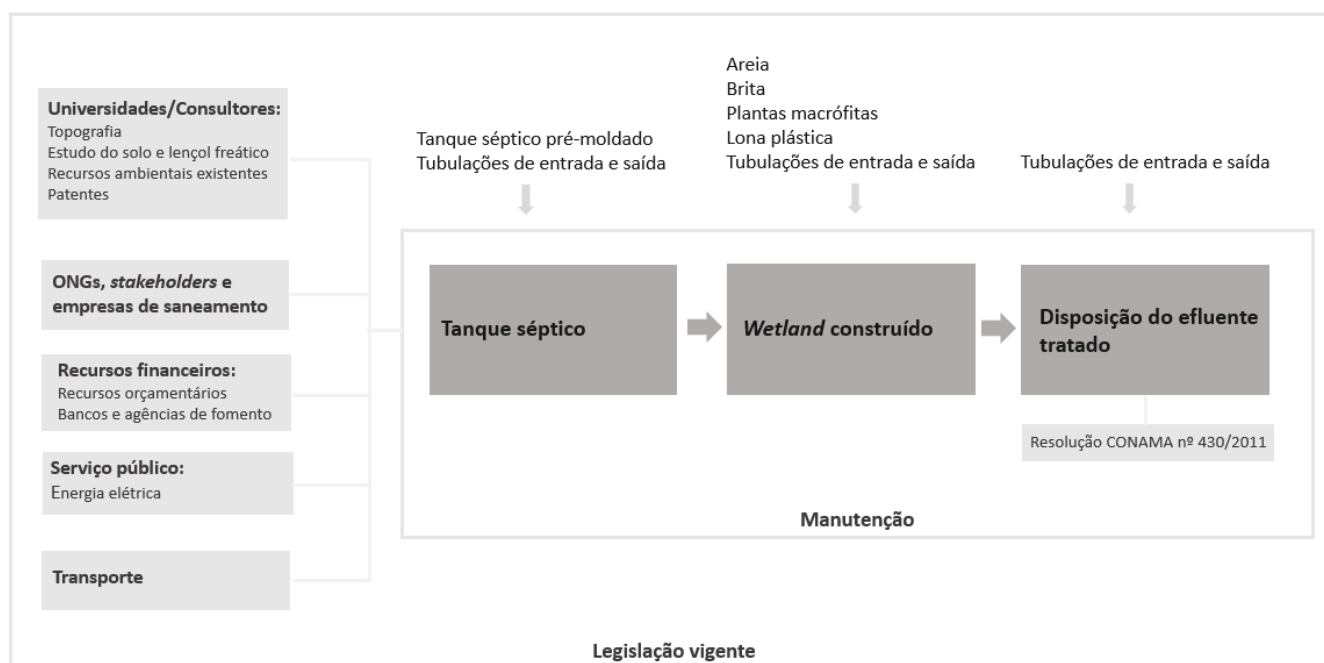


Figura 05: Esquema dos agentes, insumos e processos envolvendo a ETE por TS+WC. Fonte: Elaboração própria (2023).

As principais estruturas de tratamento biológico que compõem a ETE descentralizada em estudo são o tanque séptico e *wetland* construído. Através de tubulações de entrada, o afluentes entra no tanque séptico, onde é tratado de forma anaeróbica, reduzindo a carga orgânica, mas, ainda sim, necessitando de um tratamento complementar. A água residual, portanto, segue para um sistema de *wetland* construído contendo meio filtrante (areia e brita), lona para impermeabilização e plantas macrófitas, cujo tratamento aeróbico realizado pelas plantas amplia o potencial de remoção de DBO da ETE para até 95%. Em seguida, o efluente tratado é disposto no ambiente, mediante parâmetros regulamentados na Resolução CONAMA nº 430/2011 (Subtil et al., 2016; Singh et al., 2019).

Silva, A. S.; Oliveira, A. C. V.; Spinola, C. A.; Moreira, I. T. A.

O primeiro grande desafio é saber se a estratégia TS+WC é adequada ou não para determinada área rural, considerando suas características como a singularidade dos aspectos físicos (dimensão da área e disponibilidade dos recursos necessários), assim como os aspectos socioculturais da comunidade antes da implantação, ou seja, um estudo qualitativo complexo, multivariado e que demanda tempo e consciência ambiental por parte da população (Tonetti et al., 2018). Castillo et al. (2022) enfatizam que, apesar dos sistemas baseados na combinação entre reatores anaeróbios e *wetlands* construídos ser eficiente, o desenho da ETE deve ser baseado na caracterização do efluente e nas condições ambientais do local.

Além disto, o tratamento de efluentes domésticos em áreas rurais demanda investimento de implantação, operação e manutenção que, em geral, não é compatível com a questão financeira das comunidades rurais, o que deve dificultar o acesso às tecnologias descentralizadas e, consequentemente, comprometer a qualidade do tratamento do efluente (Boa e Weng, 2022).

Algumas características da população que reside em determinada área rural podem tornar a ETE por TS+WC uma importante opção, especialmente se houver o interesse em utilizar o sistema para alguma finalidade econômica, como por exemplo o estudo de caso conduzido por Datta et al. (2021), cuja comunidade rural em Kothapally, na Índia, teve sua água residuária tratada por *wetland* construída, sendo então posteriormente utilizada para irrigação de campos agrícolas nas proximidades da área, além de reduzir a vulnerabilidade em períodos de seca.

Um resultado semelhante foi obtido por Serrao et al. (2020), que avaliaram a potencial reutilização de água para atividades agrícolas na região de Coquimbo (Chile), concluindo que, de acordo com o estudo de balanço hídrico a opinião popular relacionada à simplicidade do sistema, a estratégia mais sustentável consiste em TS+WC. Entretanto, o desafio da caracterização prévia de cada comunidade rural também pode ser entendido como gargalo, uma vez que não é possível universalizar a combinação TS+WC para todos os tipos de áreas rurais, considerando que a descentralização já é considerada um processo de difícil padronização.

Quanto aos arranjos institucionais de implementação, podem atuar neste processo os *stakeholders* e empresas privadas de saneamento. *Stakeholder* refere-se a um indivíduo ou um grupo interessado nas ações de uma empresa, podendo impactar ou ser impactado pela realização de objetivos de determinada organização, ou seja, a parte interessada, o que inclui acionistas, funcionários, clientes, fornecedores, credores e sociedade. São atores governamentais que definem políticas públicas voltadas para o setor, agentes ligados ao financiamento, entidades civis e prestadores de serviços. Existe a possibilidade de surgimento de conflitos de interesses entre partes interessadas no contexto organizacional, além do enfrentamento das dificuldades associadas a regulação por órgãos governamentais (Freeman e Reed, 1983; Cabral et al., 2016).

Um modelo de negócios bastante comum no saneamento brasileiro envolve contratos de parcerias público-privadas, conhecidas como PPP. No Brasil, a gestão do serviço ocorre de forma

partilhada entre a CESB/município e a empresa de saneamento privada. Os *stakeholders* ocupam lugar importante na gestão da PPP, desde a discussão dos riscos associados à contratação até o monitoramento do desempenho. As empresas privadas de saneamento, por sua vez, fornecem equipamentos e materiais para a construção e manutenção da ETE (Albuquerque, 2011; Cabral et al., 2016).

As organizações não governamentais – ONGs também podem participar da implantação de uma ETE descentralizada em áreas rurais. As ONGs são entidades assistencialistas de caráter privado e de interesse público, sem fins lucrativos, que realizam ações solidárias para determinado público (SEBRAE, 2017). Embora sejam atuantes na esfera pública, não é uma entidade estatal. Conforme a FUNASA (2019), no setor do saneamento rural, as ONGs são capazes de atuar no incentivo a execução de projetos e ações do setor, apresentação de demandas de determinado público a partir do PMSB (o que pode representar um gargalo, visto que as áreas rurais não são abrangidas pelo Plano) e assumir compromissos e metas no que tange a implementação de ações de saneamento rural.

Atuam também neste processo de implementação os consultores e as universidades, estes últimos inseridos neste contexto através da realização de estudos e da proposição de inovações tecnológicas, respectivamente.

Os consultores de serviços de esgotamento descentralizado podem atuar através dos estudos *in loco* sobre a topografia, o lençol freático e os recursos ambientais existentes como plantas, areia, brita. Estas informações são fundamentais para o planejamento de inclusão da estratégia no contexto da comunidade rural.

A pesquisa universitária, por sua vez, pode contribuir através das suas pesquisas, descobertas e inovações. Entretanto, o uso de inovações tecnológicas pode representar um gargalo visto que a atual lentidão na concessão de patentes, em que podem ser descobertas variações ainda mais eficientes da tecnologia que será utilizada que garantam maior potencial de tratamento do efluente. Moreira (2017) afirma que medidas implementadas até hoje em relação aos períodos muito longos de pendência de patente “não foram suficientes para reduzir ou mesmo controlar o tempo médio de decisão final, a partir do depósito”.

As universidades têm sido uma das principais fontes de pesquisa para P&D no Brasil e as parcerias entre universidades e empresas/consultores são cada vez mais necessárias, podendo, então, estimular a

competitividade. Mesmo diante de gargalos relacionados à lentidão da concessão de patentes, as biotecnologias podem contribuir de forma significativa no aperfeiçoamento das tecnologias descentralizadas de tratamento de efluentes domésticos, seja ela em pesquisas universitárias ou até mesmo as pesquisas já praticadas em empresas de saneamento. A otimização de reatores anaeróbios como os tanques sépticos, que comumente possuem baixo potencial de remoção de DBO e patógenos, e o uso de consórcios de microrganismos, ou seja, a associação entre diferentes microrganismos para potencializar o tratamento de efluentes, são algumas das possibilidades biotecnológicas que ampliam, de forma significativa, a eficácia de remoção de carga orgânica do efluente com tempos de retenção hidráulica cada vez menores (Santos et al., 2021).

Os aspectos legais e normativos representam uma importante dificuldade de provimento do serviço de esgotamento descentralizado no Brasil. Tal situação torna ainda mais difícil o planejamento de implantação, operação e manutenção de ETEs descentralizadas (incluindo a ETE por TS+WC), sobretudo em áreas rurais, com déficits expressivos de acesso ao serviço mencionado.

As condições e padrões de lançamento de efluentes na descentralização em *cluster* devem atender aos requisitos dispostos na Resolução CONAMA nº 430/2011 devido ao potencial poluidor da dimensão do tratamento. Entretanto, a responsabilidade pela manutenção e até mesmo operação dos sistemas não é bem definida pela legislação federal, mas alguns estados responsabilizam-se pelos processos que antecedem a disposição final da água residuária tratada, a exemplo de Santa Catarina com a Lei nº 17.492/2018 (Mesquita et al., 2021).

A legislação vigente está inserida em todas as etapas associadas ao serviço de tratamento de efluentes pela ETE por TS+WC, o que pode também representar um gargalo pois influencia na dificuldade de provimento do serviço descentralizado de esgotamento em áreas rurais. Garrido et al. (2016) afirmam que, em geral, a implantação de sistemas descentralizados de saneamento é feita pela própria comunidade, sem apoio técnico do estado.

Em alguns casos, os programas estatais de desenvolvimento até investem nos sistemas, mas passam a ser mantidos pela comunidade que, sem o conhecimento técnico de tudo que envolve o tratamento, os sistemas podem perder sua eficiência no decorrer do tempo. Este “vácuo institucional” impulsionou alguns estados como Bahia, Ceará e Piauí a adotarem modelos de gestão multicomunitários para garantir serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário em áreas rurais, o que demonstrou restrições quanto ao esgotamento sanitário, cuja maioria das soluções já estabelecidas serem do tipo individuais, dando, portanto, maior ênfase ao abastecimento de água (Garrido et al., 2016; Mesquita et al., 2021).

Além da situação anteriormente citada, o estudo publicado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2017) titulado “Atlas Esgotos – Despoluição de Bacias Hidrográficas” contém as configurações de ETEs em operação no Brasil, porém apenas em áreas urbanas, não mencionando o *wetland* devido à exigência de uma área maior para instalação, cabendo para uma área rural (com maior disponibilidade de área), e não para zona urbana. Isto representa uma limitação, visto que pode haver combinações de tecnologias ainda não inventariadas no âmbito da ANA para áreas rurais, tornando ainda mais difícil o planejamento de implantação, operação e manutenção de ETEs descentralizadas para as comunidades rurais.

Ao planejar uma ETE descentralizada por tanque séptico + *wetland* construído para determinada área rural, faz-se necessário estimar custos de insumos, equipamentos e serviços desde implantação até a manutenção. Perondi et al. (2019) estimaram os valores médios dos custos totais para implantação de uma ETE por TS+WC tratamento de efluentes mistos em *cluster* de diferentes residências unifamiliares com o total de 10 habitantes, considerando o somatório entre os insumos, equipamentos e serviços. Na Tabela 01, estes custos foram corrigidos/atualizados para o ano de 2023, tendo como base o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo - IPCA e utilizando a calculadora eletrônica do *site* do Banco Central do Brasil. O *wetland* construído estimado é do tipo subsuperficial vertical.

Tabela 01: Custo total de implantação da ETE por TS+WC. Fonte: Adaptado de Perondi et al. (2019).

	Custos de Implantação (R\$, 2023)
Aluguel de retroescavadeira com operador	681,59
Impermeabilização com lona plástica	95,06
Tubulação e conexões hidráulicas em PVC e perfil metálico	2.930,82
Aquisição e instalação do tanque séptico pré-moldado	3.943,74
Equipamentos (2 bombas centrífugas)	7.999,73
Material de recheio (areia, britas 1 e 2); Mudas de macrófitas.	5.772,44
Instalações elétricas para bombas	1.024,77
Total	22.448,15

Não há um custo padrão para a configuração de ETE descentralizada TS+WC, pois depende de fatores como a variedade regional dos custos dos insumos e serviços prestados, bem como as diferentes formas de dimensão do sistema (dependente da disponibilidade da área rural), a disponibilidade de insumos como os requeridos para o *wetland* construído como o transplântio, ou seja, a mudança de plantas macrófitas adultas de um local para outro, com semeadura direta (EMBRAPA, 2021), bem como insumos como areia e brita, que minimizariam ou dispensariam a compra destes itens, bem como a possibilidade do envolvimento popular ao colocar a lona impermeabilizante, na poda das plantas e controle de pragas, o que também reduz o custo de manutenção (Kadlec e Wallace, 2009; Perondi et al., 2020).

Em caso de terreno público, não foram mensurados os custos para os Estudos de Impacto

Ambiental (EIA), exigidos conforme a Resolução CONAMA nº 430/2011, para diagnóstico dos aspectos e impactos da ETE que será implantada para o licenciamento, obtido através de órgãos ambientais licenciadores (Mais Ambiente, 2022). Estes estudos podem ser realizados pelos consultores (empresas especialistas neste tipo de serviço) ou sem custo, em parceria com universidades.

A Tabela 02 estima os custos anuais de operação e manutenção da ETE descentralizada por TS+WC sob as mesmas condições da tabela anterior: para tratamento em *cluster* de diferentes residências para até 10 habitantes, segundo Perondi et al. (2019). Vale ressaltar que, estes valores também foram corrigidos/atualizados para o ano de 2023. Considera-se também a soma entre os insumos, equipamentos utilizados e serviços prestados.

Tabela 02: Custo anual de operação e manutenção da ETE por TS+WC. Fonte: Adaptado de Perondi et al. (2019).

	Custos de Operação e Manutenção (R\$, 2023)
Consumo de energia elétrica	77,75
Serviço de poda de plantas macrófitas e controle de Pragas	136,93
Substituição das bombas	7.999,73
Coleta, transporte e disposição final do material filtrante que obstrui os poros de concreto (ex: lodo)	4.195,74
Total	12.410,15

Apesar do baixo custo no consumo de energia elétrica anual, o alto custo da utilização no transporte de equipamentos da ETE precisa ser avaliado do ponto de vista logístico. A operação e manutenção de sistemas descentralizados geralmente são de baixo custo para uma ETE por TS+WC (2 a 4 vezes ao ano), entretanto a frequência para os tanques sépticos é maior, cerca de 5 vezes ao ano ou mais, com necessidade de remoção de lodo pelas limpa-fossas e sua disposição final (Tonetti et al. 2018).

No Brasil, o financiamento para implementação, operação e manutenção de uma ETE descentralizada é oriundo de recursos orçamentários federais a exemplo do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, mas também são provenientes de bancos de fomentos e agências de fomento. A parcela do orçamento federal destinado para o saneamento básico correspondeu a 0,08% em 2018 (Morais et al., 2020).

Atualmente os bancos de fomento ou linhas de crédito já oferecem linhas de financiamento para o saneamento brasileiro, a exemplo do Banco do Nordeste através do FNE Água, da Caixa Econômica Federal através do Fundo Socioambiental ou Ministério das Cidades, que repassam os recursos via bancos comerciais ou Caixa Econômica Federal. Uma outra forma é a busca de linhas de financiamento pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES ou Fundo de Garantia por Tempo de Serviço - FGTS com repasses de taxas via bancos comerciais, incluindo a taxa para risco de crédito (Toneto Jr e Cicogna, 2021).

Existe também a possibilidade de fontes de financiamento internacionais, onde os municípios ou estados podem acessar através dos consórcios, como é o caso do Projeto Pernambuco Rural Sustentável - PRS, que é fruto da parceria firmada entre o Banco Mundial e o governo do Estado de Pernambuco, que tem como objetivo obter investimento para infraestrutura (incluindo de saneamento) em diferentes áreas rurais do Estado (Rodrigues et al, 2022). Além disto, as fontes de financiamento internacionais podem ser através de outras instituições, a exemplo da Cooperação Andina de Fomento – CAF, do Banco de Desenvolvimento da América Latina, e da Europe Aid, com linhas de crédito para água e saneamento.

Do total de recursos a nível federal que foram direcionados para o saneamento entre 2007 e 2017, 57,02% são provenientes dos recursos orçamentários, enquanto 25,16% do FGTS e 17,82% via BNDES (Morais et al., 2020). Entretanto, tem também as agências de fomento, que financiam capital em programas de desenvolvimento na unidade federativa onde estiver sediada. Podem financiar projetos de infraestrutura, micro e pequenas empresas, podendo abrir linhas de crédito voltados para projetos de interesse populacional em determinado estado (Banco Central Do Brasil, 2021).

Considerando os agentes, insumos e processos, o Quadro 01 resume os gargalos encontrados desde a implantação até a manutenção do sistema de tratamento de água residual utilizando ETE por tanque séptico seguido de *wetland* construído.

Quadro 01: Gargalos associados a ETE por TS+WC em comunidades rurais. Fonte: Elaboração própria (2023).

Gargalo	Motivo
Adequação da estratégia TS+WC para áreas rurais em geral	Descentralizar é uma estratégia personalizada, de difícil padronização
Stakeholders no contexto organizacional	Conflito de interesses
Custo de transporte	São altos e dependentes da distância até as comunidades
Manutenção dos tanques sépticos	Frequência maior quando comparado ao <i>wetland</i> construído: cerca de 5 vezes ou mais ao ano
Concessão de patentes de inovações tecnológicas	Lentidão na concessão de patentes desestimula a busca por outras alternativas

Aspectos legais	Áreas rurais por vezes não são contempladas no PMSB; Responsabilidade de operação e manutenção não é bem estabelecida na legislação federal; Falta de apoio técnico do estado; Maior ênfase em estratégias de abastecimento de água; Inventário das ETEs em operação no Brasil apenas para áreas urbanas.
-----------------	--

Embora a Lei nº 14.026/2020 represente uma ótima oportunidade de melhorias no acesso ao esgotamento sanitário adequado, com a previsão de 90% da população assistida pelo serviço e mesmo com a presença de partes interessadas e empresas de saneamento dispostas a tratar efluentes em áreas rurais, um gargalo paradoxal que merece destaque está exatamente relacionado aos aspectos legais. A tímida menção da descentralização no novo marco do saneamento torna a regulação o assunto ainda incipiente, ou seja, algumas tecnologias merecem ser mais exploradas. Além disto, é preciso uma abordagem mais esclarecedora e maior detalhamento quanto às estratégias de expansão do acesso ao tratamento descentralizado, especialmente em áreas rurais.

A análise apenas técnica do tratamento descentralizado é insuficiente, porque é preciso compreender os impactos da inserção de uma tecnologia na população local. O tratamento de águas residuárias através da combinação de tanque séptico e *wetland* construído pode impactar positivamente a comunidade rural nas esferas econômica, social e ambiental. Em relação ao contexto econômico, o sistema possui um baixo custo em relação aos sistemas convencionais, além de gerar subprodutos de valor agregado com baixo custo energético a exemplo das plantas utilizadas no sistema e a reutilização da água.

No contexto social, o tratamento descentralizado deve ser aceitável e adequado a comunidade rural que terá contato próximo com a ETE descentralizada, reduzindo de forma significativa os riscos de problemas de saúde pública e promovendo a educação ambiental. A relevância da estratégia na educação ambiental através da participação da população local representa uma importante vantagem, considerando que um novo diálogo a respeito da

natureza, dos recursos existentes e da importância de preservá-los, propicia a formação de uma nova visão e disponibilidade de cooperação (Machado et al., 2021). Porém é necessário compreender as dinâmicas socioculturais da comunidade, pois as diversas práticas associadas aos hábitos de vida de uma comunidade rural têm forte relação com o território e os recursos naturais disponíveis, muitas vezes de subsistência (Vasconcellos e Sobrinho, 2017).

Quanto a questão ambiental, a sustentabilidade deve ser priorizada, visto que reduz a poluição do solo e de corpos hídricos, minimizando as interferências negativas nestes ecossistemas, garantido qualidade nas condições ecológicas da localidade (Lisboa et al., 2013; Sugahara e Rodrigues, 2018; Maragon et al., 2020).

Considerações finais

Através da exploração do tema, notou-se a necessidade do esgotamento sanitário em áreas rurais, visto que os indicadores afirmam extrema precariedade do acesso ao serviço. Portanto, constata-se a relevância dos sistemas descentralizados de tratamento de efluentes devido a efetividade do serviço prestado.

O presente trabalho demonstrou o potencial da estação de tratamento de efluentes por tanque séptico seguido de *wetland* construído pelo ótimo desempenho no tratamento de efluentes, com baixa demanda energética e valor agregado, além de proporcionar qualidade ambiental e paisagística. Entretanto, como todo sistema de tratamento, antes da implantação da ETE supracitada, é preciso considerar aspectos singulares da localidade, recursos financeiros, humanos, logística e legislação vigente.

A combinação TS+FAN foi difundida no Brasil sobretudo pela simplicidade de operação e manutenção, mas ainda faltam ser regulamentadas outras opções e em *cluster*, a exemplo da adição dos *wetlands* construídos, um sistema análogo ao que ocorre naturalmente, de baixa complexidade de operação e manutenção. Trazer *wetland* construído como alternativa (em especial pelo alto potencial de remoção de poluentes em comparação ao tanque séptico sem tratamento complementar) depende do estudo da área, dos costumes da comunidade e da possibilidade de cooperação popular para redução de custo de manutenção.

O estudo dos custos dos processos de implantação, operação e manutenção evidencia que uma ETE descentralizada por TS+WC é uma solução de baixo custo e a montagem do esquema permitiu a compreensão dos agentes, os processos envolvidos e insumos necessários. Mesmo diante da presença de gargalos de diversas naturezas, a ETE descentralizada estudada representa uma boa solução para comunidades rurais, visto que estudos revelam a redução satisfatória de contaminantes no corpo d'água que é disposto no ambiente.

É preciso destacar que os *stakeholders* e as empresas privadas de saneamento sob forma de PPPs podem ser importantes estratégias para expansão da descentralização do esgotamento sanitário no Brasil. Cabe a apresentação de propostas de implantação de ETEs descentralizadas a exemplo da ETE TS+WC a nível municipal pela autonomia que os municípios (mesmo aqueles com poucos recursos) passam a assumir, podendo reunir-se sobre forma de consórcios e contratar serviços de saneamento coletivamente, independente da esfera estadual, conforme o novo marco do saneamento.

Embora o novo marco traga um novo horizonte para a descentralização, abrindo portas para atuação de novos agentes, na legislação brasileira, o assunto ainda é pouco elucidado e os órgãos governamentais precisam dar maior atenção na questão do esgotamento sanitário, sobretudo em áreas rurais. Não somente os órgãos governamentais, mas toda sociedade civil e as partes interessadas devem tratar sobre esgotamento sanitário rural como uma necessidade urgente, através das discussões sobre políticas e aspectos regulatórios voltados para a expansão das ETEs descentralizadas e eficientes, minimizando a exposição às doenças de veiculação hídrica.

Portanto, sugere-se que haja estudos de caso em diferentes comunidades rurais específicas, atendidas ou não por tanques sépticos, para obtenção de dados primários que enriqueçam as discussões acerca dos benefícios e gargalos na

Silva, A. S.; Oliveira, A. C. V.; Spinola, C. A.; Moreira, I. T. A.

relação entre a comunidade rural e a possibilidade de instalação, operação e manutenção da ETE por TS+WC. Sugere-se também que haja estudos aprofundados sobre os benefícios socioeconômicos das ETEs por TS+WC em comunidades rurais, incluindo todas as formas de aproveitamento dos possíveis produtos de valor agregado gerados pela ETE que podem ser usufruídos pelas comunidades. Cabe também uma maior imersão sobre a relação entre aspectos legais do saneamento e as variáveis associadas à descentralização.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Salvador (UNIFACS) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela bolsa concedida e pela oportunidade de realizar a pesquisa.

Referências

- Abdallah, M.; Shanableh, A.; Elshazly, D.; Feroz, S., 2020. Techno-economic and environmental assessment of wastewater management systems: Life cycle approach. *Environmental Impact Assessment Review* 82, 106378. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106378>
- Agência Brasil, 2022. População rural do Brasil é maior que a apurada pelo IBGE, diz pesquisa. Disponível: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-03/pesquisa-diz-que-populacao-rural-do-brasil-e-maior-que-apurada-pelo-ibge>. Acesso em 07 de janeiro de 2022.
- Albalawneh, A.; Perilli, N., 2021. The efficiency of natural decentralized greywater treatment systems in resolving the wastewater problems in the rural areas of developing countries. *Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions*, 2nd Ed., pp 147-151. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51210-1_25
- Almoman, F., Khraisheh, M., 2016. Treatment of septic tank effluent using moving-bed biological reactor: kinetic and biofilm morphology. *Int. J. Environ. Sci. Technol*, 13:1917–1932. Disponível: 10.1007/s13762-016-1039-7
- Albuquerque, G., 2011. Estruturas de financiamento aplicáveis ao setor de saneamento básico. *BNDES Setorial* 34, p. 45-94.
- Almeida, R.; Pitaluga, D.; Reis, R., 2010. Tratamento de esgoto doméstico por zona de

- raízes precedida de tanque séptico. Revista Biociências, UNITAU. Volume 16, número 1.
- ANA. Agência Nacional De Águas, 2019. Plano Nacional de Saneamento Básico: O que falta para avançar? Disponível: <<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/plano-nacional-de-saneamento-ba-sico-o-que-falta.2019-03-15.4665581007>>. Acesso em 15 de janeiro de 2020.
- ANA. Agência Nacional De Águas, 2017. Atlas Esgotos – Despoluição de Bacias Hidrográficas. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. – Brasília.
- Araújo, R., 2011. O Esgoto Sanitário. In: Nuvolari, A. (Coord). Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2ª ed. rev. atualizada e ampl. São Paulo: Blucher, 565 p.
- ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas, 1993. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira De Normas Técnicas, 1997. NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro.
- Baeninger, R, 2016. Desaceleração metropolitana e redistribuição da população. In: XX Encontro Nacional de Estudos Populacionais; Anais... p. 729-772.
- Banco Central Do Brasil, 2021. Que é agência de fomento? Disponível: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/agenciafomento>>. Acesso em 10 de novembro de 2021
- Bernal, D.; Restrepo, I.; Grueso-Casquete, S., 2021. Key criteria for considering decentralization in municipal wastewater management. Heliyon 7, e06375 Contents. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06375>.
- Bezerra, M.; Bacelar, T, 2013. As concepções contemporâneas de ruralidade e suas singularidades no Brasil. In: Concepções da ruralidade contemporânea: as singularidades brasileiras. Carlos Miranda, Heithel Silva (org). Série Desenvolvimento Sustentável v. 21. IICA, Brasília.
- Bo, Y. & Wen, W., 2022. Treatment and technology of domestic sewage for improvement of rural environment in China. Journal of King Saud University – Science 34, Issue 7, 102181. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102181>
- Brasil, 2020b. Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico; altera as Leis nº9.984, de 17 de julho de 2000, nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, nº 11.107, de 6 de abril de 2005, nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020b. Seção 1.
- Brasil, 2007. Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 11 jan. 2007. Seção 1.
- BRK Ambiental, 2021. Estação de Tratamento de Esgoto. Disponível: <<https://blog.brkambiental.com.br/estacao-de-tratamento-de-esgoto/>>. Acesso em 9 jun. 2021.
- Cabral, S.; Fernandes, A.; Ribeiro, D., 2016. Os Papéis dos *Stakeholders* na Implementação das Parcerias Público-Privadas no Estado da Bahia. Cad. EBAPE.BR, v. 14, nº 2, Artigo 6, Rio de Janeiro, Abr./Jun. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/1679-395147398>
- Castillo, A.; Garibay, M.; Senés-Guerrero, C.; Orozco-Nunnally, D.; Anda, J.; Gradilla-Hernández, M., 2022. A review of the sustainability of anaerobic reactors combined with constructed wetlands for decentralized wastewater treatment. Journal of Cleaner Production 371, 133428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133428>
- Chirisa, I.; Bandaiku, E.; Matamanda, A.; Mandisvika, G., 2017. Decentralized domestic wastewater systems in developing countries: the case study of Harare (Zimbabwe). Appl Water Sci, 7:1069–1078. Disponível: 10.1007/s13201-016-0377-4
- Datta, A.; Singh, H.; Raja, S.; Dixit, S., 2021. Constructed wetland for improved wastewater management and increased water use efficiency in resource scarce SAT villages: a case study from Kothapally village, in India. International Journal of Phytoremediation 23, Issue 10. <https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1876627>
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2021. Plantio. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/omate/arvore/CONT000fa2qor2r02wx5eo01xezlsmm9anp3.html>> Acesso em 10 de novembro de 2021.
- Estévez, S.; González-García, S.; Feijoo, G.; Moreira, M., 2022. How decentralized treatment can contribute to the symbiosis

- between environmental protection and resource recovery. *Science of The Total Environment* 812, 151485. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151485>
- Fan, Y.; Wu, X., Shao, L.; Han, M.; Chen, B.; Meng, J.; Wang, P., 2021. Can constructed wetlands be more land efficient than centralized wastewater treatment systems? A case study based on direct and indirect land use. *Science of the Total Environment* 770, 144841. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144841>
- Freeman, R.; Reed, D., 1983. Stockholders and Stakeholders: A new Perspective on Corporate Governance. *CALIFORNIA MANAGEMENT REVIEW* Vol. XXV, No.3.
- FUNASA. Fundação Nacional de Saúde, 2019. Programa Nacional de Saneamento Rural. Disponível: http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb. Acesso em 20 mar 2021.
- FUNASA. Fundação Nacional de Saúde, 2015. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 4. ed. Brasília, 642 p.
- Gallo, E.; Setti, A.; Magalhães, D.; Machado, J.; Buss, D.; Franco Netto, F.; Buss, P., 2012. Saúde e Economia Verde: desafios para o desenvolvimento sustentável e erradicação da pobreza. *Ciência & Saúde Coletiva*, v.17, n.6, p.1457-1468.
- Garrido, J.; Rocha, W.; Gambrill, M.; Collet, H., 2016. Estudo de modelos de gestão de serviços de abastecimento de água no meio rural no Brasil: Parte I. Relatório principal. Brasília: Banco Mundial.
- Gratziou, M.; Tsalkatidou, M.; Kotsovinos, N., 2006. Economic Evaluation Of Small Capacity Sewage Processing Units. *Global NEST Journal*, Vol 8, No 1, pp 52-60.
- Hendy, I.; Zelenakova, M.; Pietrucha-Urbanik, K.; Salama, Y.; Abu-hashim, M., 2023. Decentralized Constructed Wetlands for wastewater treatment in rural and remote areas of semi-arid regions. *Water* 15 (12), 2281. <https://doi.org/10.3390/w15122281>
- Huang, Y.; Wu, L.; Li, P.; Li, N.; He, Y., 2022. What's the cost-effective pattern for rural wastewater treatment? *Journal of Environmental Management* 303, 114226. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114226>
- Hube, S.; Wu, B., 2021. Mitigation of emerging pollutants and pathogens in decentralized wastewater treatment processes: A review. *Science of the Total Environment* 779, 146545. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146545>
- IBGE, 2022. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama do Censo 2022. Disponível: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama>. Acesso em 20 de abril de 2024.
- IFG. Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia De Goiás, 2015. Wetland construído no tratamento de esgoto. Disponível: <http://w2.ifg.edu.br/goiania/index.php/component/content/article/1-latest-news/3296-wetland-construido-no-tratamento-de-esgoto>. Acesso em 09 de novembro de 2021.
- Jordão, E.; Pessoa, C, 2014. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4. ed, ABES.
- Kadlec, R. H.; Wallace, S. D., 2009. Treatment wetlands. 2. ed. Boca Raton, FL.: CRC Press.
- Kaick, T. S.V; Macedo, C. X.; Presznhuk, R. A., 2008. Jardim Ecológico – Tratamento de Esgoto por Zona de Raízes: Análise e Comparação da Eficiência de uma Tecnologia de Saneamento Apropriada e Sustentável. VI Semana de estudos Ambientais, UNICENTRO, Irati, PR.
- Khalil, M.; Liu, Y., 2021. Greywater biodegradability and biological treatment technologies: A critical review. *International Biodeterioration & Biodegradation* 161, 105211. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2021.105211>.
- Kumar, S.; Bhanu, P.; Dubey, D.; Venkatesh, D. 2022. Integration of constructed wetland technology as decentralized wastewater treatment facility and water reuse in agriculture. In Sobti, R.; Malhotra, S.; Jainswal, K.; Puri, S. (Eds), *Environmental Studies and Climate Change*, 1st Ed., 18p. <https://doi.org/10.1201/9781003220824>
- Lisboa, S.; Heller, L.; Silveira, R., 2013. Desafios do planejamento municipal de saneamento básico em municípios de pequeno porte: a percepção dos gestores. *Eng Sanit Ambient* v.18, n.4, out/dez 2013.
- Machado, G.; Maciel, T.; Thiollent, M., 2021. Uma abordagem integral para Saneamento Ecológico em Comunidades Tradicionais e Rurais. *Ciência & Saúde Coletiva*, 26 (4):1333-1344. Disponível: [10.1590/1413-81232021264.08242019](https://doi.org/10.1590/1413-81232021264.08242019)

- Mais Ambiental. Estudo de Impacto Ambiental – Estação de Tratamento de Esgoto. Disponível: <<https://www.maisambiente.eco.br/estudo-impacto-ambiental-estacao-tratamento-esgoto>>. Acesso em 07 de janeiro de 2022.
- Marangon, B.; Silva, T.; Calijuri, M.; Alves, S.; Santos, V.; Oliveira, A., 2020. Reuse of treated municipal wastewater in productive activities in Brazil's semi-arid regions. *Journal of Water Process Engineering* 37, 101483. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101483>
- Massoud, M.; Tarhini, A.; Nasr, J., 2009. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management* 90, 652–659.
- Mesquita, T.; Rosa, A.; Gomes, A.; Borges, A., 2021. Gestão descentralizada de soluções de esgotamento sanitário no Brasil: aspectos conceituais, normativos e alternativas tecnológicas. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* vol. 56, p. 46-66. Disponível: 10.5380/dma.v56i0.72908.
- Ministério das Cidades, 2022. Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel>>. Acesso em 15 de abril de 2024.
- Ministério Do Desenvolvimento Regional, 2019. Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB. Brasília. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Versao_Consehos_Resolu%C3%A7%C3%A3o_Alta_-_Capa_Atualizada.pdf>. Acesso em 26 mar. 2021.
- Ministério Do Meio Ambiente, 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.
- Morais, A., Seabra, F., Bauer, M., 2020. Financiamento via bancos e instituições de crédito voltado ao setor de água e esgoto: o caso de Santa Catarina. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, v. 17, e1. Disponível: <https://doi.org/10.21168/reg.v17e1>.
- Moreira, J., 2007. Solução sustentável para o processamento de patentes no Brasil. *Revista Radar*, n 54.
- Murei, A.; Mogane, B.; Mothiba, D.; Mochware, O.; Sekgobela, J.; Mudau, M.; Musumvhi, N.; Khabo-Mmekoa, C.; Moropeng, R.; Momba, M., 2022. Barriers to water and sanitation safety plans in rural areas of South Africa – A case study in the Vhembe District, Limpopo Province. *Water* 14, 1244. <https://doi.org/10.3390/w14081244>
- Muzioreva, H.; Gumbo, T.; Kavishe, N.; Mayo, T.; Musonda, I., 2022. Decentralized wastewater system practices in developing countries: A systematic review. *Utilities Policy* 79, 101442. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101442>
- Oliveira, G.; Colares, G.; Lutterbeck, C.; Dell'osbel, N.; Machado, E.; Rodrigues, L., 2021. Floating treatment wetlands in domestic wastewater treatment as a decentralized sanitation alternative. *Science of the Total Environment* 773, 145609. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145609>
- ONU Brasil, 2021. Quais são os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável? Disponível em: <<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals.html>>. Acesso em 04 jun. 2021.
- Parde, D.; Patwa, A.; Shukla, A.; Vijay, R.; Killedar, D.; Kumar, R., 2020. A review of constructed wetland on type, treatment and technology of wastewater. *Environmental Technology & Innovation* 101261, Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101261>.
- Patel, P.; Muteen, A.; Mondal, P., 2019. Treatment of greywater using waste biomass derived activated carbons and integrated sand column. *Science of The Total Environment*, 134586. Disponível: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134586.
- Paulo, P.; Azevedo, C.; Begosso, L.; Galbiati, A.; Boncz, M., 2013. Natural systems treating greywater and blackwater on-site: Integrating treatment, reuse and landscaping. *Ecological Engineering* 50, 95–100. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.03.022>.
- Pérez, Y.; Vargas, E.; García-Cortés, D.; Hernández, W.; Checo, H.; Jáuregui-Haza, U., 2024. Efficiency and effectiveness of systems for the treatment of domestic wastewater based on subsurface flow constructed wetlands in Jarabacoa, Dominican Republic. *Water Science and Engineering* 17, Issue 2, pp118-128. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.08.004>
- Perondi, T.; Wolff, D. B.; Decezaro, S. T.; Araújo, R. K. de., 2020. *Wetlands* construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise

- comparativa do custo do ciclo de vida. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 20, n. 2, p. 175-189. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212020000200394>
- Resende, J.; Nolasco, M.; Pacca, S., 2019. Life cycle assessment and costing of wastewater treatment systems coupled to constructed wetlands. *Resources, Conservation & Recycling* 148, 170–177. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.04.034>
- Rodrigues, E.; Coutinho, A.; Souza, J.; Costa, I.; Santos Neto, S.; Antonino, A., 2022. Rural sanitation: Scenarios and public policies for the Brazilian semi-arid region. *Sustainability* 14 (12), 7157. <https://doi.org/10.3390/su14127157>
- Santos, G.; Barbosa, M.; Porto, M.; Chong, N.; Luz, M.; Santos, R.; Silva, A.; Moreira, I., 2021. Uso de microrganismos no tratamento anaeróbio de efluentes ricos em nitrogênio e fósforo tendo em vista a economia circular. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 11, e525101119952. Disponível: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19952>
- SEBRAE, 2017. O que é uma organização não governamental? Disponível em: <<https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-uma-organizacao-nao-governamental-ong,ba5f4e64c093d510VgnVCM1000004c00210aRCRD>>. Acesso em 10 de novembro de 2021.
- Serrao, L.; María, M., Marco, B., Marco, R., 2020. Assessment of wastewater reuse potential for irrigation in rural semi-arid areas: the case study of Punitaqui, Chile. *Clean Techn Environ Policy* 22, 1325–1338. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01874-3>
- Silva, A.; Lima, B.; Santos, R.; Luz, M.; Spinola, C.; Moreira, I., 2019. Saneamento básico e doenças de veiculação hídrica: um estudo das ocorrências de esquistossomose na comunidade quilombola de Remanso, Lençóis-BA. In: *Anais da XVI Semana de Análise Regional e Urbana*; 20-22 de novembro de 2019; Salvador - BA, Brasil. Salvador: Editora UNIFACS, p. 929-945.
- Singh, A.; Sawant, M.; Kamble, S.; Herlekar, M.; Starkl, M.; Aymerichs, E.; Kazmi, A., 2019. Performance evaluation of a decentralized wastewater treatment system in India. *Environmental Science and Pollution Research*, Volume 26, Issue 21, pp 21172–21188.
- SNIS. Sistema De Informações Sobre Saneamento, 2020. Painel de Informações sobre Saneamento. Disponível: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>>. Acesso em 08 de janeiro de 2022.
- SNIS. Sistema De Informações Sobre Saneamento, 2017. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2017. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>>. Acesso em 08 de janeiro de 2022.
- Subtil, E.; Sanchez, A.; Cavalhero, A., 2016. Sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e reuso de água. *Ciência e Tecnologia Ambiental: Conceitos e Perspectivas*, Chapter: 9, Publisher: Editora UFABC, pp.201 – 220.
- Sugahara, C.; Rodrigues, E., 2018. Desenvolvimento Sustentável Um Discurso em Disputa. *Revista Desenvolvimento em Questão*, Ano 16, n. 45, Editora Unijuí.
- Toneto Jr, R.; Cicogna, M., 2021. Linhas De Financiamento Para O Setor De Saneamento. *Boletim Saneamento – USP Municípios CEPER*, Ribeirão Preto-SP.
- Tonetti, A.; Brasil, A.; Madrid, F.; Figueiredo, I.; Schneider, J.; Cruz, L. Duarte, N.; Fernandes, P.; Coasaca, R.; Garcia, R.; Magalhães, T., 2018. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. Campinas, SP.: Biblioteca/Unicamp, 153p.
- UFSCAR. Universidade Federal De São Carlos, 2019. Importância das Macrófitas Aquáticas. Disponível: <http://www.ufscar.br/~probio/info_importancia.html>. Acesso em 19 de janeiro de 2020.
- UNESCO, 2023. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023: parcerias e cooperação para a água; fatos, dados e exemplos de ação. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000384659_por. Acesso em 18 de abril de 2024.
- UNESCO; GTZ., 2021. Capacity building for ecological sanitation: Concepts for ecologic sustainable sanitation in formal and continuing education. Disponível: <https://www.joinforwater.ngo/sites/default/files/library_assets/W_SAN_E79_capacity_buildin_g.pdf>. Acesso em 26 mar. 2021.
- United Nations, 2010. O Direito Humano à Água e Saneamento. Disponível: <https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_por.pdf>. Acesso em 03 jun. 2021.

- Varma, V.; Jha, S.; Raju, L.; Kishore, R.; Ranjith, V., 2022. A review on decentralized wastewater treatment systems in India. *Chemosphere* 300, 134462. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134462>
- Vasconcellos, A.; Sobrinho, M., 2017. The meanings of rural community according to nature of community livelihood in Brazilian Amazonia. *INTERAÇÕES*, Campo Grande, MS, v. 18, n. 2, p. 21-30. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v18i2.1545>
- Von Sperling, M., 2014. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 4ª Edição. v. 01. Belo Horizonte/MG: Editora UFMG.
- Zhang, R.; Liu, X.; Wang, L.; Xu, P.; Li, K.; Chen, X.; Meng, R.; Pu, Y.; Yang, X.; Rousseau, D.; Van Hulle, S., 2023. Combining a novel biofilm reactor with a constructed wetland for rural, decentralized wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal* 455, 140906. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140906>
- Wang, M.; Zhang, D.; Dong, J.; Tan, S., 2018. Application of constructed wetlands for treating agricultural runoff and agro-industrial wastewater: a review. *Hydrobiologia*. Disponível: 10.1007/s10750-017-3315-z