

Saneamento rural: Estratégias para o esgotamento sanitário em comunidades do Município de Itaúna - MG

Rural sanitation: Strategies for sanitation in communities in the Municipality of Itaúna - MG

Saneamiento rural: Estrategias para el saneamiento en comunidades del Municipio de Itaúna - MG

Recebido: 28/12/2023 | Revisado: 08/01/2024 | Aceitado: 09/01/2024 | Publicado: 12/01/2024

Kelly Kathlyn Vilela de Assis

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2885-332X>
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
E-mail: kellyvilela26@gmail.com

Jefferson de Souza Costa

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2631-7945>
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
E-mail: jeffersonsouzac@gmail.com

Hebert Medeiros Gontijo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8504-0452>
Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil
E-mail: hebert.gontijo@uemg.br

Resumo

O déficit de sistemas de esgotamento sanitário tem causado inúmeras consequências negativas ao meio ambiente e à integridade da saúde humana nas áreas urbanas; e principalmente nas áreas rurais onde este déficit é ainda maior. Neste sentido, esta pesquisa buscou o estudo de soluções estratégicas e tecnológicas para o atendimento em esgotamento sanitário para população rural do município de Itaúna. Este estudo tem como norte as estratégias orientadas pelo Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), que consideram os condicionantes locais para escolhas das soluções, por meio de uma matriz tecnológica; e o referencial para escolha de soluções da UNICAMP. Tendo por base teórica estes documentos foram desenvolvidos o estudo de concepção e a análise de viabilidade para o tratamento de esgotos nas comunidades rurais de Carneiros e São José de Pedras no Município de Itaúna. No estudo de concepção foi elaborado um quadro comparativo entre todas as soluções tecnológicas possíveis, constando eficiência, custos de implantação e manutenção, vantagens e desvantagens. A análise de viabilidade, que considera a importância da continuidade dos serviços após implantados, apontou como destaque para uma solução individual, o tanque de evapotranspiração para as águas fecais e o ciclo de bananeiras para águas cinzas. Para uma solução coletiva, envolvendo as águas fecais e cinzas, o tanque séptico seguido de filtro anaeróbico destacou-se pela eficiência e baixo custo de manutenção. A metodologia empregada neste estudo, partindo dos condicionantes locais para escolhas de soluções mostra-se apropriada para ser replicada em outras localidades rurais com déficit em esgotamento sanitário.

Palavras-chave: Soluções tecnológicas; Condicionantes locais; Estudo de Concepção; Análise de viabilidade.

Abstract

The lack of sanitary sewage systems has caused numerous negative consequences to the environment and the integrity of human health in urban areas; and especially in rural areas where this deficit is even greater. In this sense, this research sought to study strategic and technological solutions for sewage services for the rural population of the municipality of Itaúna. This study is guided by the strategies guided by the National Rural Sanitation Program (PNSR), which consider local conditions for choosing solutions, through a technological matrix; and the reference for choosing UNICAMP solutions. With these documents as a theoretical basis, the design study and feasibility analysis for sewage treatment in the rural communities of Carneiros and São José de Pedras in the Municipality of Itaúna were developed. In the design study, a comparative table was drawn up between all possible technological solutions, including efficiency, implementation and maintenance costs, advantages and disadvantages. The feasibility analysis, which considers the importance of continuity of services after implementation, highlighted an individual solution, the evapotranspiration tank for fecal water and the banana tree cycle for gray water. For a collective solution, involving fecal water and ash, the septic tank followed by an anaerobic filter stood out for its efficiency and low maintenance cost. The methodology used in this study, based on local conditions for choosing solutions, appears appropriate to be replicated in other rural locations with a deficit in sanitation.

Keywords: Technological solutions; Local conditions; Conception Study; Feasibility analysis.

Resumen

La falta de sistemas de alcantarillado sanitario ha provocado numerosas consecuencias negativas al medio ambiente y a la integridad de la salud humana en las zonas urbanas; y especialmente en las zonas rurales donde este déficit es aún

mayor. En este sentido, esta investigación buscó estudiar soluciones estratégicas y tecnológicas para los servicios de alcantarillado para la población rural del municipio de Itaúna. Este estudio se guía por las estrategias orientadas por el Programa Nacional de Saneamiento Rural (PNSR), que consideran las condiciones locales para la elección de soluciones, a través de una matriz tecnológica; y la referencia para elegir las soluciones UNICAMP. Con estos documentos como base teórica, se desarrolló el estudio de diseño y análisis de factibilidad para el tratamiento de aguas residuales en las comunidades rurales de Carneiros y São José de Pedras en el Municipio de Itaúna. En el estudio de diseño se elaboró un cuadro comparativo entre todas las soluciones tecnológicas posibles, incluyendo eficiencia, costos de implementación y mantenimiento, ventajas y desventajas. El análisis de factibilidad, que considera la importancia de la continuidad de los servicios después de la implementación, destacó una solución individual, el tanque de evapotranspiración para aguas fecales y el ciclo del banano para aguas grises. Para una solución colectiva, que involucra aguas fecales y cenizas, la fosa séptica seguida de un filtro anaeróbico se destacó por su eficiencia y bajo costo de mantenimiento. La metodología utilizada en este estudio, basada en las condiciones locales para la elección de soluciones, parece apropiada para ser replicada en otras localidades rurales con déficit de saneamiento.

Palabras clave: Soluciones tecnológicas; Condiciones locales; Estudio de concepción; Análisis de viabilidad.

1. Introdução

O saneamento básico no Brasil

O saneamento, segundo o Instituto Trata Brasil (2021), é o conjunto de medidas que visa preservar ou modificar as condições do meio ambiente com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde, melhorar a qualidade de vida da população e a produtividade do indivíduo e facilitar a atividade econômica.

Visto o exposto, tem-se que a situação do saneamento básico de um determinado país é capaz de impactar diretamente o desenvolvimento econômico e social. Para exemplificar, nos estudos realizados por Freitas e Magnabosco (2018), além de influenciar nas taxas de mortalidade e longevidade da população, a expansão do saneamento gera redução dos custos com a saúde, aumento da produtividade do trabalho, bem como reflete em outros temas, como escolaridade. As atividades econômicas que dependem de condições ambientais adequadas também são influenciadas, como os setores imobiliário e de turismo. Ou seja, o investimento no setor é retornado para a sociedade.

Contudo, de acordo com dados consolidados pelo Instituto Trata Brasil (2021), em relação a coleta, quase cem milhões de brasileiros, ou seja, 46% da população, não tem acesso à coleta de esgoto. Sendo que, 3,1% das crianças e adolescentes não possuem banheiro em casa e 35 municípios entre as 100 maiores cidades do Brasil têm menos de 60% de sua população atendida com rede de esgoto.

Além disso, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), tendo o ano de 2020 como referência, demonstra diferenças relevantes de região para região em relação ao tratamento de esgoto. A população total atendida é de 114,6 milhões de brasileiros, representando uma média de 55% do Brasil. Os maiores índices são os da macrorregião Sudeste (80,5% e 84,9%, respectivamente) e os menores, da Norte (13,1% e 17,2%) (Brasil, 2021a).

Com posse desses dados, sabe-se que o Brasil ainda necessita de esforços de diversas naturezas para alcançar a universalização do saneamento, tendo em vista que este déficit histórico começou a ser mitigado apenas no ano de 2007, através da criação de um marco regulatório para o setor com a aprovação da Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que passou por alterações substanciais, por meio da Lei 14.026, de 15 de julho de 2020, conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Brasil, 2007).

Dessa forma, Lei 11.445/2007, Brasil (2007) traz os princípios fundamentais que devem nortear os serviços públicos de saneamento básico, entre os quais se destacam: universalização do acesso e adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais; e articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e outras de interesse social relevante, destinadas à melhoria da qualidade de vida.

De fato, no Brasil, o saneamento básico é um direito assegurado pela Constituição e definido pela Lei nº. 11.445/2007, a qual é regulamentada pelo Decreto 7.217, de 21 de junho de 2010, como o conjunto dos serviços, infraestrutura

e instalações operacionais de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana, drenagem urbana, manejos de resíduos sólidos e de águas pluviais (Brasil, 2007). As mudanças no Novo Marco Legal do Saneamento Básico, em linhas gerais, foram direcionadas à regulação e prestação dos serviços públicos de saneamento básico, tendo por principais objetivos regionalizar os serviços de saneamento e aumentar a participação da iniciativa privada no setor.

Portanto, conforme delimitado por Galvão Junior (2009), a universalização do acesso aos serviços de água e de esgoto é um objetivo legítimo das políticas públicas porque tem impactos importantes sobre a saúde, o ambiente e a cidadania. Entretanto, o mesmo autor confirma que, no Brasil, o déficit do setor de saneamento básico é elevado e, sobretudo, no que se refere ao esgotamento e tratamento de esgotos, com maior carência nas áreas periféricas dos centros urbanos e nas zonas rurais.

Os eixos estratégicos do Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)

Segundo Léo Heller no relatório da ONU (2019), a realização dos direitos humanos à água e ao esgotamento sanitário depende de uma combinação de vários fatores. Esses fatores, em nível nacional, irão incluir políticas, programas e planejamento adequados que reflitam uma visão de longo prazo para garantir a realização desses direitos. A implementação dessas políticas, programas e planos, por sua vez, incluem o desenvolvimento de instituições adequadas, financiamento, regulação e capacidade das entidades locais e outros atores, bem como a seleção, implementação e gestão de soluções técnicas (ONU, 2019).

A importância de analisar os eixos estratégicos do PNSR – o tripé Gestão, Educação e Participação Social e Tecnologia, considerados como eixos interdependentes – é dada a partir da observância de que medidas destinadas a garantir o acesso ao esgotamento sanitário e a práticas adequadas de higiene ocorrem em diversos contextos que influenciam fortemente como os direitos humanos podem ser realizados. Assim, admite-se que os contextos político-institucionais específicos têm um impacto significativo nos níveis de apoio prestados aos serviços de esgotamento sanitário e higiene e à sustentabilidade do acesso. Além disso, as características físicas (disponibilidade de água, aspectos geológicos, topográficos e territoriais) são relevantes para identificar as tecnologias mais adequadas. Ademais, o contexto econômico influencia a capacidade de implementação das instituições locais e a sustentabilidade econômica dos sistemas. Outras influências importantes vão desde as características demográficas às relações de gênero e o contexto sociocultural (ONU, 2019).

Baseando em Brasil (2019), como de forma de resumir os componentes do referido tripé, é tido que a Gestão dos Serviços é amplamente relacionada às medidas estruturantes, por abranger o planejamento, a regulação, a fiscalização, a prestação dos serviços e o controle social sobre essas funções e pressupõe o envolvimento de distintos personagens – cidadão, comunidade, município, estado e governo federal. O eixo Educação e Participação Social é promotor da sensibilização dos usuários sobre seus direitos e deveres; ao apoio técnico e pedagógico qualificados aos operadores dos serviços; e à qualificação dos gestores técnicos e administrativos. O eixo Tecnologia compreende a identificação das soluções, de natureza coletiva ou individual, adequadas às condicionantes ambientais, demográficas, culturais e socioeconômicas.

Estratégias para seleção de tecnologias: Matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural

A matriz tecnológica do Programa Nacional de Saneamento Rural é detentora de importantes subsídios para escolhas estratégicas relacionadas a seleção de tecnologias a serem implantadas em áreas rurais. Esta matriz é a resultante da composição de elementos que consideram as infraestruturas implantadas para atendimento às demandas existentes, as quais compõe a visão técnica, realizando a integração à sua gestão.

A gestão parte do pressuposto de que os diversos atores envolvidos são participativos, sendo o poder público responsável pela instalação de instrumentos educacionais, que visam ampliar essa participação, e, conseqüentemente, promover o atendimento adequado da população com serviços de saneamento. A tecnologia em saneamento é indissociável da

sua gestão, e para que a solução adotada se consagre como adequada, é demandada a participação social e ampliação das bases educacionais, em todos os níveis, objetivando que a apropriação da técnica favoreça a gestão, como forma de garantir a efetividade no atendimento das demandas individuais e coletivas (Brasil, 2019).

No que diz respeito às informações qualitativas acerca da situação sanitária de distintas áreas rurais do País, o Programa Nacional de Saneamento Rural pauta-se em experiências práticas realizadas pelo território brasileiro através de análises pautadas em todos os condicionantes sistêmicos.

Como forma de exemplificar as análises pautadas em condicionantes sistêmicos, o PNSR aborda os aspectos gerais que condicionam a demanda e a oferta de saneamento básico em áreas rurais. Nesse ínterim, infere-se que as tecnologias são afetadas por condicionantes culturais e socioeconômicos, os quais seguem o princípio da aceitabilidade e acessibilidade financeira, comuns aos quatro componentes e a todas as técnicas, bem como por condicionantes ambientais e demográficos, que irão apresentar maior especificidade variando de acordo com o componente do saneamento básico (Brasil, 2019).

Os condicionantes culturais, por sua vez, estão ligados ao modo de produção e reprodução da vida da população no território em que habita, considerando os aspectos relacionados a diversidade sociocultural, religiosa, étnica e regional, que definem os aspectos ocupacionais, as relações interpessoais, nos âmbitos familiar e comunitário, bem como a utilização de recursos naturais, além da busca de apoio externo para o atendimento das próprias demandas essenciais. O PNSR considera que a definição e a adequação da tecnologia ao contexto cultural devem estar associadas ao princípio da aceitabilidade e ao reconhecimento das particularidades intrínsecas ao modo de vida das famílias e comunidades, a fim de que estas se apropriem de técnicas devidamente ajustadas ao seu cotidiano (Brasil, 2019).

No que diz respeito aos condicionantes socioeconômicos, tem-se que esses são pautados, principalmente, pelo princípio da acessibilidade financeira das famílias residentes nas áreas rurais quanto aos serviços ofertados, com suas respectivas demandas operacionais, geradoras de custos rotineiros e ocasionais. Desse modo, os custos de operação e manutenção dos serviços devem ser adequados à capacidade de pagamento da população, com conseqüente estabelecimento de modelo tarifário, para que seja realizada cobrança pela sua prestação (Brasil, 2019).

Ademais, os condicionantes ambientais, representados pelas características do bioma, de modo geral, irão influenciar no modo como a população interage com o ambiente e utiliza seus recursos naturais. Dessa forma, dentre os aspectos que determinam a escolha de uma tecnologia adequada ao contexto ambiental, cabe destacar a quantidade, a qualidade e a disponibilidade de recursos hídricos, o relevo, a profundidade do lençol freático, os tipos de solo e vegetação, e o clima (Brasil, 2019).

Os condicionantes demográficos são definidores do modo como a população ocupa o território e adota (ou é contemplada por) soluções coletivas ou individuais para o atendimento às demandas sanitárias. Assim, depreende-se que a distribuição dos domicílios no território pode favorecer a adoção de um mesmo serviço que atenda a todos os domicílios ou a um conjunto de domicílios, ou de soluções que se limitem ao espaço de cada domicílio. Nesse sentido, destacam-se dois fatores: o porte populacional e a densidade demográfica, sendo que, quanto maior a escala, mais complexa tende a ser a solução em termos operacionais (Brasil, 2019).

O PNSR defende que as soluções de saneamento para as áreas rurais devem resultar de um amplo processo participativo, como forma de garantir que as medidas estruturais sejam concomitantes às medidas estruturantes, resultando em ações sustentáveis e perenes (Brasil, 2019).

Considerando a interdependência e a indissociabilidade dos três eixos estratégicos, Brasil (2019) destaca ser fundamental o diálogo efetivo entre os atores e o alinhamento de prioridades entre as partes, corroborando para a redução do déficit de saneamento nas áreas rurais. Assim, é abordado que cada ator deve ser consciente de suas responsabilidades e exercer aquilo que lhe é atribuído, para que as soluções promovam aumento da qualidade de vida da população. Como

consequência, surge a necessidade de abordar a participação social, com a finalidade de integrar e tornar protagonistas todos os atores, desde a concepção até a implantação e operação do serviço (Brasil, 2019).

Observada a necessidade de abordar a participação social, o PNSR traz à tona o elemento educação, que atua como agente formador, conscientizador e empoderador dos atores, caracterizando-se, assim, como essencial para que estes sejam ativos nas tomadas de decisões. Ademais, como forma de garantir que as demandas dos atores reflitam a realidade é preciso que haja a emancipação dos sujeitos mediante uma formação crítica. É destacada a importância da efetividade desta etapa em sua essência, para subsidiar o protagonismo dos atores em toda a construção do serviço, proporcionando mais adesão e eficiência na apropriação tecnológica (Brasil, 2019).

Esgotamento sanitário: Caracterização de soluções existentes

Para caracterizar as soluções existentes em áreas rurais, o Programa Nacional de Saneamento Rural pauta-se nas premissas utilizadas pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), com ajustes nos indicadores, para adaptá-los às especificidades do contexto rural sob a perspectiva dos direitos humanos. Desse modo, os domicílios rurais brasileiros são classificados de acordo com atendimento ou ausência de atendimento, conforme delimitado no Quadro 1 (Brasil, 2019).

Quadro 1 - Caracterização do atendimento e do déficit de acesso ao esgotamento sanitário.

COMPONENTE	ATENDIMENTO ADEQUADO	DÉFICIT	
		Atendimento precário	Sem atendimento
ESGOTAMENTO SANITÁRIO	Representado pela população que: - Possui coleta domiciliar de esgotos, seguida de tratamento ⁽²⁾ ; - Possui fossa séptica; - Possui fossa seca, nos casos de indisponibilidade hídrica.	Representado pela população que: - Possui coleta de esgotos, não seguida de tratamento; - Possui fossa rudimentar	Todas as situações não enquadradas nas definições de atendimento.

⁽²⁾ A base de dados do IBGE adota a categoria “rede geral de esgoto ou pluvial”. Fonte: *PLANSAB*, adaptado de Brasil (2019).

De acordo com as pesquisas de campo realizadas para a concepção dos subsídios do PNSR, foi observada que a construção e manutenção das soluções sanitárias se dão sem o suporte do poder público, sendo os próprios moradores os responsáveis pelas técnicas adotadas. Outrossim, foi destacado ser comum, na maioria das comunidades visitadas pelas equipes de campo do PNSR, a segregação das águas servidas, provenientes de lavagem de louça, roupas e de banhos (usualmente dispostas no quintal ou utilizadas para a irrigação de plantas), das excretas, compreendendo fezes, urina e, quando disponível, água da descarga do vaso (usualmente encaminhadas às fossas) (Brasil, 2019).

Aspectos condicionantes para soluções tecnológicas propostas

Os condicionantes ambientais que influenciam a tomada de decisões sobre tecnologias de esgotamento sanitário são relacionados à disponibilidade hídrica no domicílio e à profundidade do lençol freático, enquanto o condicionante demográfico é caracterizado pela densidade demográfica e pelo porte populacional (Brasil, 2019). Além dos referidos condicionantes, como forma de confirmar a estrita relação dos eixos estratégicos do PNSR com os critérios propostos pela ONU, em Brasil (2019), é abordado que os princípios da aceitabilidade e acessibilidade financeira também devem ser considerados.

Brasil (2019) ressalta que nas comunidades que possuem atendimento e naquelas em que os sistemas deverão ser

ampliados, é interessante aproveitar as unidades já instaladas, seja pela economia financeira ou pela manutenção de uma técnica já conhecida pela população.

No que tange a disponibilidade hídrica no domicílio, tem-se que um dos condicionantes ambientais que rege este eixo é a disponibilidade ou não de água no domicílio para usos considerados “não nobres”, com destaque para a descarga do vaso sanitário e encaminhamento do esgoto à rede ou outro destino (Brasil, 2019).

Para o aspecto de nível do lençol de água subterrâneo, ressalta-se que algumas tecnologias recorrem à própria infiltração dos efluentes no solo como etapa do tratamento. Porém, a disposição dos esgotos a partir das técnicas infiltrantes demanda uma profundidade mínima de percolação para prevenir que o efluente contamine o lençol freático, fonte de abastecimento de água de diversas famílias. Para isso, recomenda-se que a menor distância vertical entre o ponto de infiltração e o nível d'água do lençol seja superior a 1,5 metros (FUNASA, 2007; p. 205).

Quanto ao padrão de qualidade no corpo receptor, as soluções técnicas empregadas devem estar alinhadas com a Resolução nº 430/2005 (Brasil, 2011), que estabelece, em caso de lançamento de efluentes nas coleções hídricas, a qualidade ambiental desejada nas bacias hidrográficas em função de seus usos preponderantes, fixando o padrão de lançamento de efluentes provenientes de tratamentos, com vistas ao controle da poluição das águas.

Em relação a densidade demográfica e porte populacional, no esgotamento sanitário não existe um valor base para o primeiro tópico que estabeleça o limite entre práticas individuais e coletivas, cabendo destacar que duas comunidades com o mesmo número de domicílios e área ocupada podem utilizar tecnologias distintas.

Outro ponto é que o número de pessoas a serem atendidas pela solução coletiva determina a simplicidade do sistema e os cuidados considerados. Além disso, o dimensionamento dos elementos constituintes do sistema de esgotamento sanitário deve estar em concordância com a vazão de projeto, pautada no número de domicílios.

O porte populacional também influencia a demanda de área para a instalação da técnica de tratamento. A depender da vazão a ser tratada, diversas unidades serão necessárias, aumentando-se a necessidade de área (Brasil, 2019).

Princípios e alternativas tecnológicas e seus requisitos de gestão

O lançamento final dos efluentes em corpos d'água superficiais deve estar de acordo com a Resolução CONAMA Nº 430/2011, que “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” (Brasil, 2011). Assim, os objetivos das técnicas que representam este eixo voltam-se para o atendimento eficiente para todas as etapas do esgotamento sanitário e os requisitos legais pertinentes, de modo a assegurar a sustentabilidade ambiental e prevenção e promoção da saúde da população (Brasil, 2019).

A geração de esgoto domiciliar pode ser dividida em duas classes, aquela composta de dejetos humanos (urina e fezes), normalmente dos vasos sanitários, em casos de ausência hídrica, ou águas fecais (urina, fezes e água de descarga), em residências com descarga hídrica, além das águas servidas (ou cor de “cinza”), originadas das atividades domésticas, como limpeza domiciliar, de roupas, utensílios, higienização pessoal, produção de alimentos (Brasil, 2011).

Essas águas residuárias possuem características distintas e passarão por diferentes processos de tratamentos. Independente da natureza do efluente, ele deve ser transportado adequadamente da sua origem até o local de tratamento (exceto nas soluções em que as excretas já são expelidas no local do tratamento, como na fossa seca) (BRASIL, 2019). Para isso, recorrem-se às canalizações, normalmente de PVC, nas instalações domiciliares, e PVC, cerâmica ou concreto, nas redes coletoras, para conectar os pontos de geração de esgotos à técnica de destinação das águas residuárias até que alcancem a unidade de tratamento.

Após a coleta e transporte dos esgotos inicia-se o seu tratamento, que consiste na redução da carga poluidora a níveis

seguros para que seja efetuado o seu despejo no ambiente sem causar impactos negativos. A poluição associada aos esgotos brutos ou tratados que não atendem aos padrões de corpos receptores pode provocar a mortandade de seres aquáticos, pela diminuição de oxigênio dissolvido na água, a eutrofização dos corpos d'água por excesso de nutrientes e a contração de doenças e infecções pela população em contato com os organismos patogênicos (Brasil, 2015). Para se evitar esses efeitos indesejados, os sistemas de tratamento buscam estabilizar a matéria orgânica e reduzi-la, retornando ao corpo hídrico o efluente habilitado para isso.

Os sólidos presentes nos esgotos domiciliares consistem, entre outras coisas, de microrganismos, como bactérias, protozoários e fungos, que contribuem na remoção da matéria orgânica (Brasil, 2015). Isto é, se fornecido um ambiente adequado e seguro à sobrevivência desses organismos, ocorrerá um processo de depuração dos esgotos domésticos.

É por meio das reações aeróbias e anaeróbias relativas aos microrganismos presentes no próprio esgoto que a matéria orgânica será estabilizada, atingindo os limites desejados para os parâmetros que caracterizam a qualidade do efluente tratado. Ademais, podem ser incorporadas etapas adicionais, que visem à remoção de nutrientes (caso necessário) e patógenos, de forma a impedir que haja a contaminação das águas, dos solos, de animais e humanos pelos esgotos (Brasil, 2019).

Concluído o tratamento, têm-se os subprodutos sólidos, líquidos e gasosos, provenientes das diversas reações ocorridas nas distintas etapas do processo. Normalmente, os efluentes gasosos são lançados na atmosfera ou aproveitados para a geração de energia. Os líquidos são lançados no corpo d'água ou utilizados para fertirrigação.

O lodo, termo utilizado para nomear os subprodutos sólidos do tratamento, pode ser, depois de submetido aos devidos processos, disposto em aterro sanitário ou, por ser rico em nutrientes e matéria orgânica, aplicado no solo após higienização (Von Sperling, 2014). Como há diferentes procedimentos de tratamento, há também diferentes características de gases, efluentes e lodos, alguns com potencial econômico de reaproveitamento, que carecem de diferentes técnicas de tratamento e disposição final (Von Sperling, 2014).

Sistemas coletivos e individuais para o esgotamento sanitário

As soluções coletivas necessitam que haja disponibilidade hídrica para a descarga dos esgotos para a rede coletora, que pode ser convencional ou condominial. O primeiro consiste na ligação direta entre os domicílios e o coletor, resultando em uma ligação predial por domicílio. O segundo agrupa os usuários em quadras (quarteirões), adota uma rede de tubulação interior aos lotes (fundo de lote, jardim ou passeio) dos moradores dessa quadra com as contribuições domiciliares dos moradores da quadra e realiza-se apenas uma ligação ao coletor público com a vazão de todos os usuários residentes do respectivo quarteirão (Kligerman, 1995). A principal diferença prática entre os dois grupos é o menor custo de instalação, associado à necessidade de maior envolvimento dos usuários, no caso do sistema condominial (Alem Sobrinho; Tsutiya, 2010).

Após ser alimentada pelas contribuições domiciliares, seja em sistema convencional ou condominial, a rede coletora conduzirá o efluente ao interceptor, um tipo de canalização que recebe as vazões dos coletores. Os interceptores podem ser conectados a emissários, que são canalizações que não recebem contribuições de coletores, e que conduzem os esgotos à estação de tratamento (Alem Sobrinho; Tsutiya, 2010). A conexão entre os trechos da rede coletora de esgotos é feita por meio de órgãos acessórios, a exemplo dos poços de visitas, terminais de inspeção e limpeza e caixas de passagem.

Os requisitos de gestão das soluções coletivas para o esgotamento sanitário devem estar voltados para dois aspectos principais: funcionamento da infraestrutura e suas interfaces com os usuários - envolve ações que refletem aspectos operacionais de maior complexidade, como a remoção, secagem, tratamento e disposição final do lodo e da escuma, provenientes de distintas unidades de tratamento, ou a limpeza e/ou substituição de meios filtrantes; e ações mais rotineiras, relativas à manutenção e limpeza das unidades e seus arredores, com a remoção de vegetação e terra, frequentemente transportada pela enxurrada e depositada sobre as infraestruturas de tratamento. Tais ações devem estar orientadas pelas

informações de projeto, devidamente registradas em manuais de operação (Brasil, 2019).

O segundo aspecto supracitado refere-se à necessidade de implementação de sistemas de informação consolidados a partir de medições e análises programadas, a fim de oferecer subsídios ao monitoramento de parâmetros de qualidade do esgoto e do efluente tratado, que definem a tecnologia a ser empregada e a destinação final (corpo receptor ou pós tratamento), respectivamente. As informações permitem a avaliação do funcionamento da solução e seus ajustes, caso seja necessário. Os atores que desempenham papéis importantes nas soluções adotadas devem estar em contínuo processo de capacitação e formação, de modo a assumir as responsabilidades que lhes cabem (Brasil, 2019).

No que tange a soluções individuais, as demandas são distintas e variam conforme sua natureza, desde aquelas de mais simples manejo, como as fossas secas ventiladas, as de fermentação e as fossas absorventes, passando por soluções mais robustas e em série, complementares entre si, como os tanques sépticos seguidos de valas de infiltração ou sumidouros. Tais configurações de soluções levam a modelos de gestão distintos, alguns mais restritos às esferas domiciliares, outros mais ligados aos serviços prestados no âmbito municipal, mas, todas, necessariamente, em maior ou menor medida, dependentes de apoio técnico (Brasil, 2019).

As soluções que recebem diretamente os esgotos sanitários (excretas e urina), como as fossas secas, as fossas de fermentação e as fossas absorventes, dependem da atuação de usuários, operadores locais e gestores técnicos. Os primeiros devem dispor apenas excretas e urina nas fossas, no caso das fossas secas, e esgotos sanitários no caso das duas últimas. Os segundos são os responsáveis pela verificação das condições de funcionamento das fossas, sua capacidade volumétrica, tempo de enchimento e a capacidade de infiltração do efluente no solo, além da promoção de ações de controle de maus odores e de insetos. Por fim, os gestores técnicos devem garantir a eficiência de projeto das soluções ou sistemas combinados, participando da decisão que envolve a construção de uma nova unidade, realizando testes de capacidade de infiltração do solo e propondo melhorias, se necessário (Brasil, 2019).

Os requisitos de gestão associados às soluções que envolvem a participação de espécies vegetais no tratamento, como o círculo de bananeiras e o tanque de evapotranspiração, são representados por ações de proteção à infraestrutura instalada e o seu manejo, com ampla participação dos usuários e apoio de operadores locais e gestores técnicos.

Os primeiros devem se comprometer com a utilização adequada das instalações sanitárias, inclusive evitando o uso excessivo de produtos de limpeza, e com cuidados rotineiros para a conservação da infraestrutura: as águas pluviais devem ser desviadas, os animais devem ser impedidos de pisotear o sistema, as espécies vegetais devem ser cortadas após frutificarem; além disso raízes, folhas e frutos que tenham tido contato com o solo não devem ser consumidos.

Operadores locais e gestores técnicos, por seu turno, devem garantir a eficiência de projeto e condições operacionais adequadas para as soluções, por meio da renovação do material das camadas que as compõem, do monitoramento do nível do efluente e da verificação de remoção e descarte adequado de lodo, bem como avaliar a necessidade de expansão do sistema (Brasil, 2019).

As soluções que recebem efluentes de tratamento primário, como valas de infiltração e sumidouros, são unidades que apresentam, em geral, vida útil elevada, a depender do tipo de solo, dado que o efluente percola por seus interstícios, e da manutenção e conservação de suas partes constituintes (Brasil, 2019).

É papel dos atores locais cuidar para que a solução adotada seja efetiva e as tarefas inerentes ao manejo de estruturas de pós-tratamento estão mais vinculadas às atuações de operadores locais, a fim de realizar inspeções esporádicas no sentido de verificar se o funcionamento é adequado, controlar a alternância de operação das valas, evitando-se assim as condições de anaerobiose, verificar o nível de efluentes nas infraestruturas e o possível mau funcionamento dos furos, como ocorrência de entupimento. Há também demandas para o gestor técnico, que deve garantir a eficiência de projeto da tecnologia (e do sistema combinado) e propor melhorias, se necessário (Brasil, 2019).

Diante da contextualização acima, esta pesquisa buscou o estudo de soluções estratégicas e tecnológicas para o esgotamento sanitário nas comunidades rurais de Carneiros e São José de Pedras no município de Itaúna – MG, que representasse uma metodologia confiável para ser replicada nas outras comunidades e pudesse auxiliar a gestão municipal na meta da universalização do saneamento rural de forma eficiente e constante. Para isso foi necessário realizar diagnóstico nas comunidades de estudo, visando identificar os condicionantes locais que influenciam na ausência de serviços de esgotamento sanitário; desenvolver o estudo de concepção para os sistemas de coleta e tratamento de esgotamento sanitário para as comunidades; e analisar a viabilidade socioambiental, tecnológica e econômica de implantação e operação dos sistemas desenvolvidos.

2. Metodologia

Para o cumprimento dos objetivos propostos neste estudo de natureza aplicada, exploratória e analítica, embasou-se em análises quali-quantitativas, tendo como base uma pesquisa bibliográfica, a fim de compreender a lacuna dos serviços de esgotamento sanitário, os condicionantes locais que influenciam no atendimento desses serviços nas comunidades rurais de Carneiros, e São José de Pedras, localizadas no município de Itaúna– MG.

A análise de conteúdo de acordo com Bardin (2011) organiza-se em torno de três polos cronológicos: a pré-análise, exploração do material e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final, esses polos visam compreender, dentro de cada categoria, os condicionantes sistêmicos mais influentes.

A pré-análise visa na organização do conteúdo, baseadas na análise dos documentos, na formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. A segunda fase inicia-se com exploração do material, a qual consiste na aplicação sistemática das decisões tomadas. E por fim, a terceira fase dirige-se ao tratamento dos resultados obtidos e a interpretação, em que permite estabelecer quadros de resultados, diagramas, figuras e modelos, os quais condensam e põe em evidência as informações fornecidas pela análise (Bardin, 2011).

Caracterização da área de estudo

Nesta seção é apresentada a caracterização do município de Itaúna– MG e das comunidades rurais.

O município de Itaúna – MG

O município de Itaúna está localizado na Macrorregião Centro-Oeste, Mesorregião Centro Oeste de Minas, a cidade é limitada ao norte pelos municípios de Igaratinga e Pará de Minas; ao Sul, pelo de Itatiaiuçu; a leste, pelo de Mateus Leme e, a Oeste, pelo de Carmo do Cajuru. A região de Itaúna dispõe de rodovias pavimentadas, permitindo ligação do município à capital do Estado – Belo Horizonte, às cidades vizinhas e a outras regiões do país. Os principais acessos ao município são através da MG-050, MG-431 e interligação com a BR-262.

Em 2021, o Censo Estatístico do IBGE estimou 94.455 habitantes no Município de Itaúna, sendo que 94,14% desses se concentravam na área urbana e 5,86% em área rural. Sua área é de 495,77 km² e a densidade populacional é de 186,70 hab./km². Seu território é composto 41% pelo bioma Cerrado e 59% pelo bioma Mata Atlântica (IAS, 2021).

As atividades que mais se destacam no município são a indústria, comércio, educação e pecuária de leite. A cidade possui um distrito industrial localizado a 5 km da cidade em fase de ocupação. Segundo a prefeitura municipal, as principais atividades industriais são no ramo da metalurgia, seguido do têxtil, fundições, siderurgia, laticínios, curtumes e abatedouros.

A cidade é cortada pelo Rio São João, afluente do Rio Pará, que, por sua vez, é afluente do Rio São Francisco. Além disso, o município conta com o Ribeirão dos Capotos, o Ribeirão Calambau, o Ribeirão dos Coelhoos, o Ribeirão Joanica e o Ribeirão Bagaço que são afluentes do Rio São João.

Para o atendimento da população com saneamento, o município possui uma Autarquia, integrante da Administração Indireta, dotada de personalidade jurídica de direito público, de patrimônio e receita próprios e de autoadministração financeira e técnica, sujeitando-se ao controle e tutela do município (ARISB, 2022). O Serviço Autônomo de Água e Esgoto – SAAE foi criado no município de Itaúna pela Lei nº 722, de 02 de dezembro de 1964, e declarado de utilidade pública pelo Decreto 158, de 29 de agosto de 1967.

A comunidade rural de Carneiros

A comunidade de Carneiros está localizada a 16 quilômetros da Sede Municipal de Itaúna, Minas Gerais. Seu sistema de abastecimento de água é abastecido por um poço artesiano, que é complementado por um reservatório com uma capacidade de armazenamento de 100 metros cúbicos. No momento, a comunidade dispõe de uma Estação de Tratamento de Esgoto Compacta que carrega a coleta de esgoto apenas das instalações da Escola Municipal Ismael de Souza Arruda e da Capela do Sagrado Coração de Jesus.

A comunidade rural de São José de Pedras

A comunidade de São José das Pedras está localizada a 15 quilômetros da Sede Municipal de Itaúna, Minas Gerais. O fornecimento de água na região é garantido por meio de um poço artesiano, complementado por dois reservatórios que possuem uma capacidade total de armazenamento de 100 metros cúbicos de água. No entanto, a questão do saneamento ainda é um desafio a ser enfrentado, uma vez que o sistema atual apresenta deficiências no tratamento de esgoto, resultando no descarte direto de efluentes não tratados no rio local.

Coleta e análise dos dados

Inicialmente foi feito o contato com os responsáveis públicos do SAAE para apresentação da pesquisa e definição da escolha das comunidades. As comunidades escolhidas foram definidas pelos critérios de porte populacional e distância geográfica em relação à sede. Através deste contato, foi realizado um apanhado de dados secundários para a realização do diagnóstico de saneamento na comunidade escolhida.

Na comunidade foram levantados os condicionantes locais para o atendimento ao esgotamento sanitário, pautados nos critérios de disponibilidade, acessibilidade, aceitabilidade e qualidade; e aspectos tecnológicos pautados na locação e sentido do fluxo das redes, possíveis áreas disponíveis para o tratamento, dimensionamento das redes de coleta de esgoto e das tecnologias.

Diante disso, foram analisadas quatro possíveis soluções para a melhoria das condições sociais e ambientais da população, no que concerne ao esgotamento sanitário: a primeira trata-se de duas soluções individuais que consiste em uma bacia de evapotranspiração (BET) e o círculo de bananeiras e a segunda refere-se a dois sistemas, considerados coletivos, composto por tanque séptico seguido de filtro anaeróbio.

Definidos os sistemas, os dimensionamentos foram executados. Nessa etapa, foram obedecidas às recomendações das normas técnicas NBR 7229/92, NBR 13969/97, NBR 9649/86, o material da UNICAMP e Vieira (2010). De posse dos dimensionamentos, os projetos básicos foram elaborados com o auxílio do Software Autocad. O orçamento das propostas foi elaborado com base nas tabelas de custos e insumos SINAPI (MG).

Estudo dos condicionantes locais

Nesta seção são apresentados os processos metodológicos realizados para obtenção dos resultados.

Estudo da população

Devido à ausência de dados demográficos e de saneamento desta localidade, o número de habitantes e residências foram levantados através do contato com o Secretário do SAAE de Itaúna e, também, foram verificadas imagens de satélites disponíveis no Google Earth. Este estudo teve como objetivo servir de parâmetro para o cálculo do volume de projeto (Eq. 1) e do dimensionamento das tecnologias.

De acordo com o levantamento realizado, a comunidade rural de Carneiros possui 134 domicílios com uma população de 552 habitantes. Para tanto, considerou-se uma taxa de ocupação de 4 pessoas/residência para o cálculo dos sistemas individuais; e o número total para o dimensionamento das soluções coletivas.

De acordo com o levantamento realizado, a comunidade rural de São José de Pedras possui 231 domicílios com uma população de 924 habitantes. Para tanto, considerou-se uma taxa de ocupação de 4 pessoas/residência para o cálculo dos sistemas individuais; e o número total para o dimensionamento das soluções coletivas.

Diagnóstico dos sistemas de esgotamento sanitário (SES) das comunidades

O cenário dos SES na comunidade rural de Carneiros foi diagnosticado através do contato com o Secretário do SAAE do município e por meio do Plano Municipal de Saneamento Básico de Itaúna– MG (PMSB, 2013).

Aspectos tecnológicos

Nesta seção serão apresentados os processos metodológicos realizados para obtenção dos resultados.

Para proceder com o estudo dos aspectos tecnológicos da comunidade, em conformidade com o diagnóstico, foram consultadas imagens de satélites do Google Earth relativas ao ano de 2023, a fim de analisar a locação das possíveis áreas disponíveis para o tratamento; e normas técnicas para o dimensionamento das redes de coleta de esgoto e das tecnologias coletivas. Para o dimensionamento das tecnologias individuais utilizou-se o material proposto por Tonetti (2018).

Dimensionamentos

Nesta seção será apresentada a metodologia adotada para o dimensionamento das tecnologias escolhidas para a solução da lacuna do esgotamento sanitário na comunidade. Considerou-se que o número populacional não mudará para os cálculos. Mas caso aconteça o crescimento populacional da comunidade, será realizado um novo dimensionamento, pois as dimensões tanto das tubulações quanto das tecnologias são diretamente proporcionais ao número de habitantes, ocorrendo assim, a expansão da tecnologia, caso precise.

Tanque séptico

O dimensionamento do tanque séptico seguiu as disposições da NBR 7229:1993 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo que, para a determinação do número de pessoas a serem atendidas, foi considerado os 552 moradores da comunidade de Carneiros e 924 moradores da comunidade de São José de Pedras.

Parâmetros de projeto

Foram utilizados os seguintes parâmetros para o dimensionamento do Tanque Séptico, como prescreve a norma NBR 7229/93:

Número de contribuintes (N): para fins de dimensionamento deste sistema considerou-se 04 pessoas;

Contribuição de despejos (C): foi adotado um valor de 100 litros por pessoa por dia, em razão de ser uma comunidade de padrão baixo e localizar-se em comunidades rurais apresentando descontinuidade no abastecimento de água. Para Von

Sperling (2005), a disponibilidade de água, clima, porte da comunidade, condições econômicas da comunidade, grau de industrialização, medição do consumo residencial, custo da água e a pressão da água influenciam no consumo da água.

Contribuição de lodo fresco (Lf): conforme recomendação da norma para ocupantes permanentes, considerou-se a contribuição de 1 litro por pessoa por dia;

Tempo de detenção hidráulica (T): visto que a contribuição diária é superior a 9000 litros, adotou-se um período de detenção de 0,5 dia;

Taxa de acumulação do lodo (K): adotou-se um intervalo de limpeza de 1 ano para uma temperatura ambiente média maior que 20°C. Dessa forma, a taxa de acumulação do lodo foi de 65 dias;

Profundidade do tanque: Além da profundidade por faixa de volume útil de acordo com a Tabela 4 da NBR 7229/93, é necessário seguir algumas recomendações principais para a geometria dos tanques: no caso de tanques cilíndricos, considerar um diâmetro interno mínimo de 1,10 m e largura interna mínima de 0,80 m para tanques prismático retangular; e em relação comprimento/largura no mínimo de 2:1 e no máximo de 4:1.

Dimensionamento

Através dos parâmetros de projeto apresentados, foi calculado o volume útil total do tanque séptico utilizando-se a Equação 01.

(Eq. 01)

$$V = 1000 + N (C \cdot T_d + K \cdot L_f)$$

Em que:

V = Volume útil (L).

N = Número de pessoas ou unidades de contribuição;

C = Contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia ou em litro/unidade x dia;

Lf = Contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa x dia;

Td = Período de detenção (dias);

K = Taxa de acumulação total de lodo, em dias.

Filtro anaeróbio

O dimensionamento do filtro anaeróbio seguiu as disposições da NBR 13969:1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), sendo que, para a determinação do número de pessoas a serem atendidas, foi considerado o total de moradores na comunidade.

Parâmetros de projeto

De acordo com a NBR 13969:1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), existem alguns parâmetros para a configuração do filtro anaeróbio, como descrito no Quadro 2.

Quadro 2 - Configuração do filtro.

Parâmetro	Unidade	Valor
Altura fundo falso (incluindo espessura da laje de fundo)	m	0,60
Altura camada de meio de suporte	m	0,60
Volume útil mínimo do fundo falso + meio de suporte	m ³	1,00
Diâmetro mínimo	m	1,10

Fonte: Adaptado de *NBR 13.969* da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997).

Foram utilizados os seguintes dados para o dimensionamento do filtro anaeróbico, como prescreve a norma NBR 13969:1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT):

Número de contribuintes (N): calculado para fins de dimensionamento deste sistema considerou-se 04 pessoas;

Contribuição de despejos (C): foi adotado um valor de 100 litros por pessoa por dia, em razão de ser uma comunidade de padrão baixo e localizar-se em comunidades rurais apresentando descontinuidade no abastecimento de água;

Tempo de detenção hidráulica (T): visto que a contribuição diária é superior a 9000 litros, adotou-se um período de detenção de 0,5 dia.

Dimensionamento

Através dos parâmetros de projeto apresentados, calculou-se o volume útil do leito filtrante utilizando-se a Equação 02.

(Eq. 02)

$$V_u = 1,6 \times N \times C \times T$$

Em que:

V_u = volume útil do leito filtrante, em litros (L);

N = número de contribuintes;

C = contribuição de despejos (L/habitantes x dia);

T = Tempo de detenção hidráulica (dias);

A determinação da secção transversal do filtro é obtida pela Equação 03:

(Eq. 03)

$$A = V/H$$

Em que: V = Volume total do filtro anaeróbico (m³);

H = profundidade útil do filtro (m);

Sendo H calculado a partir da Equação 04.

(Eq. 04)

$$H = h_1 + h_2 + h_3$$

Onde, de acordo com o quadro de parâmetros:

h_1 = altura do fundo falso considerando a espessura da laje (m);

h_2 = altura da camada de meio suporte (m);

h_3 = 0,10 a 0,20 - altura da calha coletora (m).

Bacia de evapotranspiração (BET)

O dimensionamento da bacia de evapotranspiração (BET) seguiu as disposições do material de Tonetti (2018) e Vieira (2010), sendo que, para a determinação do número de pessoas a serem atendidas, foi considerado a média de moradores por residência na comunidade.

Parâmetros de projeto

Foram utilizados os seguintes parâmetros para o dimensionamento da BET, como prescreve em Tonetti (2018):

Área necessária para até 5 pessoas (m²): 7 a 10 m²;

E para Vieira (2010):

Área necessária para cada morador (m²): 2 m²;

Profundidade (m): 1 m;

Número de pessoas por residência: calculado para fins de dimensionamento deste sistema considerou-se 3 pessoas.

Dimensionamento

Através dos parâmetros apresentados, o cálculo da área para a implantação da BET foi feito através de uma regra de três, considerando o número de habitantes por residência na comunidade e a área máxima (10 m²) para 5 pessoas.

Esse cálculo é comprovado por Vieira (2010), que através da prática em construção de BET, foi observado que 2 m² de bacia para cada morador é o suficiente para que o sistema funcione sem extravasamentos.

Círculo de bananeiras

O dimensionamento do círculo de bananeiras seguiu as disposições do material de Tonetti (2018) e Vieira (2010), sendo que, para a determinação do número de pessoas a serem atendidas, foi considerado a média de moradores por residência nas comunidades.

Parâmetros de projeto

Foram utilizados os seguintes parâmetros para o dimensionamento do círculo de bananeiras, como prescreve em Tonetti (2018):

Área necessária para até 5 pessoas (m²): 3 a 5 m²;

Profundidade (m): 0,5 a 1,0 m;

Diâmetro interno (m): 1,4 a 2,0 m;

E para Vieira (2006):

Área necessária para cada morador (m²): 1 m²;

Profundidade (m): 1 m;

Diâmetro interno (m): 1,4 a 2,0 m;

Número de pessoas por residência: calculado na Seção 4.2.1, para fins de dimensionamento deste sistema considerou-se 3 pessoas.

Dimensionamento

Através dos parâmetros apresentados, o cálculo da área para a implantação do círculo de bananeiras pode ser realizado através de uma regra de três, considerando o número de habitantes por residência na comunidade e a área máxima (5 m²) para 5 pessoas.

Esse cálculo é comprovado por Vieira (2006), que através da prática em construção de círculo de bananeira, observou que 1 m² para cada morador é o suficiente para que o sistema funcione corretamente.

3. Resultados e Discussão

Estudo de concepção

Com a finalidade de apresentar mais definições do referencial da UNICAMP, os sistemas descentralizados propostos por Tonetti (2018) são representados no Quadro 3, juntamente à característica de cada sistema. As nomenclaturas são, respectivamente: fossa seca, banheiro seco compostável, estocagem e uso da urina, sistemas alagados construídos (SAC), círculo de bananeiras, reator anaeróbio de fluxo ascendente unifamiliar, fossa verde, fossa séptica biodigestora, tanque séptico, filtro anaeróbio, filtro de areia, vermifiltro, biodigestor, RAFA compacto e biosistema integrado (BSI).

Quadro 3 - Nomenclaturas e características das tecnologias descentralizadas.

	Com água para descarga		Sem água para descarga			Eficiência	Custo Implantação	Frequência Manutenção / ano	
	Águas negras e cinzas se misturam	Águas negras e cinzas não se misturam		Fezes	Urina				Fezes + Urina
		Negras	Cinzas						
T E C N O L O G I A S						T01	–	Médio	2 a 4 vezes
				T02			–	Baixo/Médio	≥ 5 vezes
					T03		–	Baixo	≥ 5 vezes
	T04						≥ 80%	Alto	2 a 4 vezes
			T05				–	Baixo	2 a 4 vezes
	T06						50% a 79%	Alto	2 a 4 vezes
		T07					≥ 80%	Alto	1 vez
		T08					50% a 79%	Alto	≥ 5 vezes
	T09						50% a 79%	Médio	1 vez
	T10						50% a 79%	Médio	1 vez
	T11						≥ 80%	Médio	≥ 5 vezes
	T12						50% a 79%	Baixo/Médio	≥ 5 vezes
	T13						50% a 79%	Alto	≥ 5 vezes
	T14						50% a 79%	Alto	1 vez
	T15						≥ 80%	Alto	≥ 5 vezes

Fonte: Adaptado de Tonetti (2018).

A escolha desses sistemas foi baseada em fatores relacionados à eficiência, custos de implantação e frequência de manutenção das tecnologias, bem como os aspectos ambientais e econômicos da comunidade, sendo que esses fatores influenciam na escolha da melhor tecnologia para o tratamento de esgoto da comunidade de Carneiros e São José de Pedras.

De acordo com o Quadro 3, percebe-se que o melhor cenário para que a tecnologia se torne ideal, é a maior eficiência, com baixo custo de implantação e baixa frequência de manutenção. Porém, essa estrutura não é apresentada pelas tecnologias propostas. No quesito baixo custo de implantação, o círculo de bananeiras (T05) e a estocagem e o uso da urina (T03) se destacam, porém, a tecnologia T03 possui uma frequência maior de manutenção, o que torna a tecnologia T05 com maior destaque.

Ao pensar na baixa frequência de manutenção, a fossa verde (T07), o tanque séptico (T09), o filtro anaeróbio (T10) e o RAFA compacto (T14) se destacaram, porém, o T07 e o T14 possuem um alto custo de implantação, inviabilizando o uso. Porém a fossa verde (T07), apesar de ter um custo mais elevado, é a única possui duas das características consideradas positivas, sendo a de maior eficiência e a baixa frequência de manutenção, tornando essa tecnologia apta para implantação.

Uma maior eficiência é encontrada nas tecnologias de sistemas alagados construídos (T04), fossa verde (T07), filtro

de areia (T11) e biossistema integrado (T15), porém todas elas, exceto a T07, possuem uma frequência de manutenção média a alta, destacando assim a fossa verde como uma opção viável de implantação.

Assim, afirma-se que a fossa verde se mostrou bastante eficiente e com baixa frequência de manutenção, mas a sua implantação requer um custo mais elevado. Já o círculo de bananeiras, apesar de ser eficiente e possuir um custo de implantação baixo, apresenta uma frequência de manutenção mediana. As alternativas de tanque séptico e o filtro anaeróbio, se destacaram pela baixa frequência de manutenção e sua compacidade. Ambas as tecnologias possuem eficiência mediana e um custo médio de implantação. Quando o funcionamento dessas tecnologias, quando realizado de forma simultânea, são garantidas melhorias na eficiência.

Através da análise de viabilidade socioambiental, tecnológica e a importância da continuidade dos serviços após implantados, que serão definidos de fato se essas tecnologias pré-selecionadas são viáveis ou não à comunidade rural de Carneiros.

Estudo da viabilidade

As quatro possíveis soluções que foram consideradas viáveis, de acordo com o estudo de concepção, estão descritos no Quadro 4, o qual sintetiza as vantagens e as desvantagens dos sistemas pré-selecionados. As nomenclaturas e as características foram baseadas em Tonetti (2018). O círculo de bananeiras, fossa verde, tanque séptico e filtro anaeróbio, estão representados como T05, T07, T09 e T10, respectivamente.

Quadro 4 - Vantagens e desvantagens das tecnologias T05, T07, T09 E T10.

Tecnologias	Vantagens	Desvantagens
T05	<ul style="list-style-type: none">• Não há necessidade de pré-tratamento.• Transforma o esgoto em nutrientes para plantas.	<ul style="list-style-type: none">• Não há remoção de matéria orgânica.• Pode haver contaminação do solo na falta de impermeabilização.
T07	<ul style="list-style-type: none">• Não há necessidade de pré-tratamento.• Transforma o esgoto em nutrientes para plantas.• Não há contaminação do solo e lençol freático.• Reaproveitamento de entulho de construção civil.• Não gera efluente.	<ul style="list-style-type: none">• Remoção de lodo por caminhão limpa-fossa, o que é raramente necessário.
T09	<ul style="list-style-type: none">• Não há necessidade de pré-tratamento.• Recebe tanto águas negras quanto cinzas.	<ul style="list-style-type: none">• É necessário pós-tratamento.• Gera efluentes.
T10	<ul style="list-style-type: none">• Recebe tanto águas negras quanto cinzas.	<ul style="list-style-type: none">• É necessário pós-tratamento.

Fonte: Adaptado de Tonetti (2018).

No quadro acima é possível perceber a eficiência dos sistemas T05 e T07, uma vez que não há a necessidade de pré-tratamento e pós-tratamento (não são gerados efluentes). Outra qualidade é a geração de nutrientes para plantas como taioba e bananeiras. A tecnologia T07 permite o aproveitamento de entulhos de obra para a construção do sistema, minimizando os custos de implantação. Para a bacia de evapotranspiração, normalmente, é feita uma impermeabilização do fundo e paredes do tanque; o círculo de bananeiras, por sua vez, não exige impermeabilização total, apenas atentar-se em construí-lo em um solo médio ou siltoso, afastado de nascentes e do lençol freático. Caso o solo seja arenoso, deve-se criar uma camada de argila nas paredes e no fundo do buraco, dificultando a infiltração da água.

Os sistemas T09 e T10 devem trabalhar em conjunto para melhorar a eficiência. O tanque séptico gera efluentes que demandam um pós-tratamento, o qual é viabilizado pelo filtro anaeróbio que, por sua vez, necessita do pré-tratamento

realizado pelo tanque séptico. Os efluentes gerados pelo filtro anaeróbio devem ser avaliados de acordo com sua qualidade, sempre observando os limites determinados pela legislação ambiental e formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais do local.

As grandes variações altimétricas encontradas no local e a disposição das casas exigiram a análise das áreas disponíveis para a implantação dos sistemas e a definição de quais sistemas vão ser implantados individualmente e qual serão implantados de forma coletiva.

Os sistemas T07 e T05 demandam áreas planas e espaçosas para alcançar a viabilidade econômica e estrutural. Já os sistemas T09 e T10, podem ser implantados tanto em áreas grandes quanto em áreas pequenas, podendo ser íngremes por se tratar de tecnologias mais compactas. Sendo assim, as tecnologias T07 e T05 foram consideradas tecnologias individuais e a T09 e T10 consideradas tecnologias coletivas.

O conjunto Tanque-Filtro pode ser dado da seguinte maneira, visando atender toda a comunidade:

Do ponto A ao ponto I todo o esgoto pode ser direcionado ao ponto H;

Da letra K a N, a coleta de esgoto pode ser direcionada a letra M;

Os pontos P, Q e R o esgoto será direcionado a uma área de ponto S;

A coleta de esgoto das letras T e U, será direcionado a área de implantação de ponto V;

Por fim, o esgoto acumulado no ponto M será direcionado ao ponto N, que posteriormente se juntará ao ponto S e assim será lançado no sistema implantado no ponto V;

Outras áreas foram identificadas como sendo viáveis para implantar o conjunto Tanque – Filtro, sendo os pontos B, J, O e S. Essas áreas podem ser exploradas caso apenas uma parte da comunidade queira utilizar o sistema coletivo. Apenas os pontos V e S se enquadraram para a adoção dos sistemas individuais de acordo com as características já mencionadas para essas tecnologias.

Com a posse dos dados apresentados é possível realizar o dimensionamento das tecnologias e prever os custos de implantação dos sistemas. Contudo, a oferta dos serviços de esgotamento sanitário em zonas rurais demonstra a ineficiência dos avanços tecnológicos quando dessincronizados dos aspectos relacionados a Políticas Públicas e Gestão, uma vez que mesmo com a gama de alternativas passíveis de utilização, os modelos de gestão apresentam deficiências na abrangência das localidades rurais. Além disso, as diretrizes do saneamento básico ainda apresentam lacunas quanto o direcionamento concreto da prestação dos serviços, sem a definição específica de saneamento rural.

Dimensionamentos

Comunidade de Carneiros

Alternativa 1 – Sistema Coletivo (Conjunto tanque séptico + filtro anaeróbio)

As tecnologias analisadas nesta alternativa são compostas por tratamento através do tanque séptico seguido de filtro anaeróbio como tratamento complementar. Trata-se de uma solução coletiva, cujo dimensionamento é realizado a seguir.

Quadro 5 - Dimensionamento do tanque séptico para a comunidade rural de Carneiros.

Dimensionamento do tanque séptico + filtro anaeróbico para o tratamento do esgoto de toda a comunidade de Carneiros - MG			
Dados da comunidade			
Famílias:	138	Habitantes:	552
Contribuição de esgoto (L/hab. dia):			100
Dimensionamento do tanque séptico			
Tecnologia	Volume (m³)	Profundidade (m)	Área (m²)
T09	44,16	2,8	15,77
Dimensionamento do filtro anaeróbico			
Tecnologia	Volume (m³)	Profundidade (m)	Área (m²)
T10	64,48	2,8	23,03

Fonte: Autores.

A análise dos parâmetros técnicos dos tanques séptico (T09) e filtro anaeróbico (T10) proporciona uma compreensão abrangente sobre a capacidade e eficácia desses sistemas no tratamento de efluentes, especialmente em relação a uma população estimada em 552 pessoas.

O tanque séptico T09, com um volume considerável de 44,16 m³, destaca-se por sua capacidade de armazenamento e tratamento de resíduos. A profundidade de 2,8 metros favorece a sedimentação eficaz de sólidos, contribuindo para a eficiência do processo. Além disso, a área de 15,77 m² influencia a taxa de transferência de água e resíduos, impactando positivamente na eficiência global do tratamento. Esses resultados indicam que o T09 é dimensionado de maneira apropriada para atender às demandas da população em questão.

No caso do filtro anaeróbico T10, o volume substancial de 64,48 m³ evidencia uma capacidade significativa para o tratamento eficaz de resíduos orgânicos. A profundidade de 2,8 metros favorece a formação de biofilmes, sendo crucial para a decomposição eficiente da matéria orgânica. A área do filtro, estabelecida em 23,03 m², é crítica para a transferência eficaz de água e resíduos, permitindo o desenvolvimento adequado de micro-organismos anaeróbios. Esses resultados indicam que o T10 é dimensionado de maneira apropriada para complementar o tratamento iniciado pelo T09.

Considerando a população estimada, a sugestão de construir um tanque séptico com 2,8 metros de profundidade, uma área de 15,77 m² e um volume de 44,16 m³, junto com um filtro anaeróbico que apresenta uma área de 23,03 m², uma profundidade de 2,8 metros e um volume de 64,48 m³, revela uma abordagem integrada e equilibrada para o tratamento de efluentes. Esses parâmetros técnico-dimensionais não apenas atendem às demandas específicas da população, mas também asseguram a eficiência do sistema ao considerar a carga orgânica prevista.

A combinação desses sistemas - tanque séptico e filtro anaeróbico - oferece uma solução robusta e dimensionada de forma apropriada para atender às exigências ambientais e sanitárias, garantindo um tratamento eficaz e sustentável dos efluentes produzidos pela população em questão.

Alternativa 2 – Sistemas Individuais (Bacia de evapotranspiração e círculo de bananeiras)

As tecnologias analisadas nesta alternativa são compostas por tratamento das águas negras através da BET e o tratamento das águas cinzas por meio do círculo de bananeiras, que também pode tratar o que a vir exceder da BET. Trata-se de soluções individuais, cujo dimensionamento é realizado a seguir.

Quadro 6 - Dimensionamento da bacia de evapotranspiração e do círculo de bananeiras.

Dimensionamento da bacia de evapotranspiração e o círculo de bananeiras para o tratamento individual do esgoto para a comunidade de Carneiros - MG				
Dados da comunidade				
Habitantes/residência:			4	
Dimensionamento da BET				
Tecnologia	Área máx. para até 5 pessoas (m²)	Nº máx. de pessoas para até 10 m²	Área para 3 habitantes (m²)	Profundidade (m)
T07	10	5	6,00	1,00
Dimensionamento do círculo de bananeiras				
Tecnologia	Área máx. para até 5 pessoas (m²)	Nº máx. de pessoas para até 10 m²	Área para 3 habitantes (m²)	Profundidade (m)
T05	5	5	3,00	1,00

Fonte: Autores.

Ao analisar os dados de dimensionamento da Bacia de Evapotranspiração (BET) T07 e do Círculo de Bananeiras T05, observamos considerações importantes para o tratamento eficaz de efluentes.

Ambas as tecnologias enfatizam a relação entre a área disponível e o número de pessoas a serem atendidas. A BET T07 apresenta uma área máxima de 10 m² para até 5 pessoas, enquanto o Círculo de Bananeiras T05 possui uma área máxima de 5 m² para a mesma quantidade de pessoas. A análise destas áreas máximas indica uma possível vantagem do Círculo de Bananeiras em termos de eficiência espacial.

Além disso, ao considerar a área necessária para atender a 3 habitantes, a BET T07 demanda 6,00 m², enquanto o Círculo de Bananeiras T05 requer 3,00 m². Esta diferença sugere uma maior eficiência no uso do espaço para o Círculo de Bananeiras, tornando-o uma opção atraente para áreas com limitações de espaço.

Ambas as tecnologias adotam uma profundidade padrão de 1,00 metro, indicando uma consideração comum em termos de eficiência operacional e segurança do sistema.

Os resultados destacam a importância do dimensionamento cuidadoso para garantir o tratamento eficaz de efluentes, levando em consideração não apenas o número de pessoas atendidas, mas também a eficiência espacial da tecnologia escolhida. A decisão entre a BET e o Círculo de Bananeiras dependerá das condições específicas do local, demandas populacionais e objetivos ambientais, enfatizando a necessidade de uma análise abrangente do contexto de aplicação.

Em suma, para este estudo considerou-se os diversos sistemas disponíveis na literatura, prezando pelo referencial da UNICAMP e, através dos dados apresentados, foi procedida uma correlação entre as especificidades locais e as tecnologias mais viáveis em relação aos espaços disponíveis para implantação, aspectos altimétricos, balanceamento de custos para implantação, operação e manutenção.

A síntese dos critérios analisados é apresentada no Quadro 6, o qual foi desenvolvido seguindo normas e definições dispostas nos referenciais de soluções. Este quadro visa apresentar o somatório dos requisitos analisados.

Quadro 7 - Comparativo das alternativas de esgotamento sanitário para a comunidade rural de Carneiros.

		Bacia de evapotranspiração e círculo de bananeiras	Tanque séptico + filtro anaeróbio
Concepção e construção	Conhecimento técnico para construção	Pouco especializado	Especializado
	Disponibilidade de materiais construtivos	Ampla	Ampla
	Permeabilidade do solo necessária	Moderada	Moderada
	Profundidade de escavação necessária (máxima)	1,2m	2,8m
	Área requerida (total)	9m ² por unidades	15,77 m ²
	Distância de cursos d'água e lençol freático	15m (cursos d'água)	1,5m (lençol freático) 15m (cursos d'água)
	Necessidade de insolação	Sim	Não
	Normatização do sistema	Não	Sim
	Adequação para uso intermitente	Não	Sim
Operação e manutenção	Produção de efluentes	Não	Não
	Remoção de DBO	Não há efluente propriamente dito	40-75% (filtro anaeróbio)
	Manutenção especializada	Não	Pouco especializada
	Produção de lodo	Não	Sim
	Limpeza do leito filtrante	Longo prazo	Anual
Meio ambiente e comunidade	Aproveitamento de nutrientes	Sim	Não
	Risco de contaminação de águas superficiais	Baixo	Baixo
	Risco de contaminação de águas subterrâneas	Baixo	Baixo
	Aceitação da comunidade	-	-

Fonte: Autores.

Comunidade de São José de Pedras

Alternativa 1 – Sistema Coletivo (Conjunto tanque séptico + filtro anaeróbio)

As tecnologias analisadas nesta alternativa são compostas por tratamento através do tanque séptico seguido de filtro anaeróbio como tratamento complementar. Trata-se de uma solução coletiva, cujo dimensionamento é realizado a seguir.

Quadro 8 - Dimensionamento do tanque séptico para a comunidade rural de São José de Pedras.

Dimensionamento do tanque séptico + filtro anaeróbico para o tratamento do esgoto de toda a comunidade de São José de Pedras - MG			
Dados da comunidade			
Famílias:	231	Habitantes:	924
Contribuição de esgoto (L/hab. dia):			100
Dimensionamento do tanque séptico			
Tecnologia	Volume (m³)	Profundidade (m)	Área (m²)
T09	73,92	2,8	26,4
Dimensionamento do filtro anaeróbico			
Tecnologia	Volume (m³)	Profundidade (m)	Área (m²)
T10	107,27	2,8	38,31

Fonte: Autores.

A avaliação dos parâmetros técnicos para o tanque séptico (T09) e o filtro anaeróbico (T10) revela dimensões substanciais e bem adequadas para o tratamento eficiente de efluentes, especialmente considerando uma população estimada em 924 pessoas.

O tanque séptico T09, com um volume imponente de 73,92 m³, destaca-se por sua capacidade significativa de armazenamento e tratamento de resíduos. A profundidade de 2,8 metros favorece a sedimentação eficaz de sólidos, contribuindo para a eficiência do processo. A área do tanque, estabelecida em 26,40 m², influencia positivamente a transferência de água e resíduos, impactando assim na eficiência global do tratamento. Esses resultados indicam que o T09 é dimensionado de maneira apropriada para lidar com as demandas específicas dessa população considerável.

Quanto ao filtro anaeróbico T10, o volume expressivo de 107,27 m³ evidencia uma capacidade substancial para o tratamento eficaz de resíduos orgânicos. A profundidade de 2,8 metros favorece a formação de biofilmes, contribuindo para a decomposição eficiente da matéria orgânica. A área do filtro, estabelecida em 38,31 m², é crítica para a transferência eficaz de água e resíduos, permitindo o desenvolvimento adequado de micro-organismos anaeróbios. Esses resultados indicam que o T10 é dimensionado de maneira apropriada para complementar o tratamento iniciado pelo T09.

Considerando a população estimada em 924 pessoas, propõe-se a construção de um tanque séptico com 2,8 metros de profundidade, uma área de 24,4 m² e um volume de 73,92 m³. Para o filtro anaeróbico, sugere-se uma área de 38,31 m², uma profundidade de 2,8 metros e um volume de 107,27 m³. Esses parâmetros são fundamentais para assegurar a eficácia do sistema no tratamento de efluentes, considerando a carga orgânica estimada proveniente dessa população específica.

A análise dos resultados e a proposta dimensionamento indicam que a combinação desses sistemas - tanque séptico e filtro anaeróbico - oferece uma solução robusta, capaz de atender às exigências ambientais e sanitárias de uma comunidade considerável, garantindo um tratamento eficaz e sustentável dos efluentes gerados.

Quadro 9 - Comparativo das alternativas de esgotamento sanitário para a comunidade rural de São José de Pedras.

		Tanque séptico + filtro anaeróbio
Concepção e construção	Conhecimento técnico para construção	Especializado
	Disponibilidade de materiais construtivos	Ampla
	Permeabilidade do solo necessária	Moderada
	Profundidade de escavação necessária (máxima)	2,8m
	Área requerida (total)	26,4 m ²
	Distância de cursos d'água e lençol freático	1,5m (lençol freático) 15m (cursos d'água)
	Necessidade de insolação	Não
	Normatização do sistema	Sim
	Adequação para uso intermitente	Sim
Operação e manutenção	Produção de efluentes	Não
	Remoção de DBO	40-75% (filtro anaeróbio)
	Manutenção especializada	Pouco especializada
	Produção de lodo	Sim
	Limpeza do leito filtrante	Anual
Meio ambiente e comunidade	Aproveitamento de nutrientes	Não
	Risco de contaminação de águas superficiais	Baixo
	Risco de contaminação de águas subterrâneas	Baixo
	Aceitação da comunidade	-

Fonte: Autores.

Ressalta-se que a solução coletiva (tanque séptico mais filtro anaeróbio) apresenta risco de contaminação das águas subterrâneas, caso este efluente após o tratamento pelo filtro anaeróbio seja lançado no solo sem observar os limites estipulados pela legislação ambiental e as formas corretas de disposição final, de acordo com as características ambientais locais.

Em relação ao sistema individual, quanto à limpeza, a bacia de evapotranspiração possui leito filtrante, porém não é necessário realizar limpezas periódicas, uma vez que sua vida útil é estimada em 15 (quinze) anos. Já o sistema coletivo apresenta necessidade de limpeza anual.

Destaca-se que a aceitação da comunidade não foi apurada, pois o corrente trabalho encontra-se na fase de predefinições e estudos técnicos. Ademais, é preconizada a hipótese de que o fato das tecnologias sociais não serem amplamente difundidas como os sistemas convencionais, sua aceitação por parte da comunidade pode ser mais baixa. Essa assertiva se baseia no relato de Léo Heller (ONU, 2010), o qual diz que em locais que se utilizem tecnologias que demandem limpeza do lodo, por exemplo, o esvaziamento manual deve ser evitado, pois é considerado inseguro (bem como culturalmente inaceitável em muitos lugares, o que pode levar à estigmatização daqueles que estão incumbidos dessa tarefa), demandando a utilização de alternativas mecanizadas que efetivamente impeçam o contato direto com excrementos humanos.

4. Considerações Finais

Através do presente estudo constatou-se que a comunidade rural de Carneiros é deficitária em termos de saneamento. No que se refere ao esgotamento sanitário, foram concebidas 02 soluções técnicas para a referida comunidade, ambas sob a ótica dos critérios propostos pela ONU, dos eixos estratégicos do PNSR e do referencial da UNICAMP. O processo da definição da viabilidade das alternativas levou em consideração a aplicação do termo “tecnologia apropriada” que estimula a adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais.

As soluções apresentadas neste estudo resultam em iniciativas que visam solucionar situações de falta de esgotamento sanitário na comunidade de Carneiros. Dessa forma, a alternativa coletiva proposta (tanque séptico mais filtro anaeróbio), bem como a alternativa individual proposta (bacia de evapotranspiração e círculo de bananeiras) para a solução da problemática do esgotamento sanitário da comunidade resultaram de análises relacionadas a viabilidade técnica e econômica, de modo a possibilitar, para a população dessa localidade, a coleta, o tratamento e a destinação apropriada dos efluentes domésticos.

Com a elaboração deste estudo foi possível compreender as necessidades recorrentes de medidas de saneamento para áreas rurais, principalmente em regiões isoladas, mais distantes dos centros urbanos, além de conhecer os diversos sistemas descentralizados disponíveis na literatura e/ou projetar soluções possíveis de serem adotadas para contornar estas situações. Outrossim, o estudo propiciou o entendimento de fatores técnicos e econômicos que devem ser levados em consideração para a construção das propostas elaboradas.

A etapa em que se encontra este trabalho, no que diz respeito ao nível de elaboração da proposta deste estudo, possibilita a visualização de uma das formas de diagnóstico da situação de saneamento em áreas rurais, bem como entender os métodos construtivos e o dimensionamento dos principais sistemas passíveis de serem adotados na perspectiva deste trabalho. O presente estudo também contempla projetos de esgotamento sanitário capazes de atender a área de estudo, proporcionando soluções possíveis de serem adotadas na comunidade, melhorando a qualidade de vida da população da localidade.

Com a construção das soluções propostas neste trabalho é possível ter a base para que outras iniciativas surjam, como forma de preencher a lacuna da falta de atendimento ao esgotamento sanitário em regiões análogas à estudada neste trabalho. As iniciativas apresentadas são passíveis de irem além, através da sua implantação por órgão e/ou organizações que se sensibilizem com a causa e com a procedências de medidas que dizem respeito a Educação e Participação social, visando a sustentabilidade e perenidade dos sistemas propostos.

Frente às conclusões deste estudo que destacam o déficit de saneamento nas comunidades rurais, torna-se essencial delinear sugestões para futuras investigações. Em primeiro lugar, propõe-se a continuidade desta linha de pesquisa, estendendo a análise a outras regiões similares e promovendo a replicação das soluções desenvolvidas mediante a colaboração ativa de órgãos e organizações comprometidos com a educação e participação social. Tal abordagem visa assegurar a sustentabilidade e perenidade dos sistemas propostos. A difusão dessas iniciativas revela-se vital para preencher lacunas semelhantes em diferentes localidades, promovendo uma melhoria substancial na qualidade de vida das populações rurais.

Referências

- ABNT. (1997). NBR 13969: Tanques sépticos – *Unidades de tratamento complementar disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ABNT. (1993). NBR 7229: *Projeto, Construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Rio de Janeiro: ABNT.
- Bos, R. (2017). *Manual Sobre os Direitos Humanos à Água Potável e Saneamento para Profissionais*. IWA Publishing.
- Brasil. (2020). Decreto nº 10.588, de 24 de dezembro de 2020. *Dispõe sobre o apoio técnico e financeiro de que trata o art. 13 da Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020*.

- Brasil, Fundação Nacional de Saúde. (2021b). *Programa Nacional de Saneamento Rural: Análise Situacional do Saneamento Rural no Brasil*. Brasília: Funasa.
- Brasil, Fundação Nacional de Saúde. (2021c). *Programa Nacional de Saneamento Rural PNSR: eixos estratégicos, aspectos teóricos, conceituais da gestão, educação e participação social*. Brasília: Funasa.
- Brasil, Fundação Nacional de Saúde. (2019). *Programa Nacional de Saneamento Rural: Eixos Estratégicos - Matrizes Tecnológica*. Brasília: Funasa.
- Brasil. (2007). *Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007*. Brasília, DF: Brasil.
- Brasil. (2020). *Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020*. Brasília, DF.
- Brasil, Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. (2015). *Manual de saneamento*. (4a ed.), Funasa.
- Brasil, Ministério da Saúde. (2018). *CataloSan: catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos*. Campo Grande: UFMS.
- Brasil, Ministério das Cidades. (2013). *PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico*. Brasília - DF.
- Brasil, Ministério das Cidades. (2018a). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016*. Brasília: SNSA/MCIDADES.
- Brasil, Ministério do Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional de Saneamento. (2021a). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto – 2020*. Brasília, DF.
- Brasil, Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. (2019). *Programa Nacional de Saneamento Rural*. Brasília: Funasa.
- Brasil. (2011). Resolução CONAMA Nº 430, de 13 de maio de 2011. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - CONAMA.
- CBH PIRACICABA-MG. (2017).
- Cidade-Brasil. (2021).
- Climate-Data. (2019).
- Freitas, F. G., & Magnabosco, A. L. (2018). *Benefícios econômicos e sociais da expansão do saneamento no Brasil*. Instituto Trata Brasil.
- Fundação Nacional de Saúde - FUNASA. (2006). *Manual de saneamento*. (3a ed.) rev. Fundação Nacional de Saúde.
- Galvão Junior A. C. (2009). *Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil*. Rev Panam Salud Publica, 25(6), 548-556.
- IAS - Instituto Água e Saneamento. (2021).
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2006). *Geomorfologia*.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *IBGE Cidades – População*.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2019). *IBGE Cidades - Biomass*.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2021). *IBGE Cidades - Área territorial*.
- Infosanbas. (2022). *Visualização de dados abertos sobre Saneamento*.
- Instituto Trata Brasil. (2021). *Esgoto*. Instituto Trata Brasil.
- Kligerman, D.C. (1995). *Esgotamento Sanitário - De alternativas Tecnológicas a Tecnologias Apropriadas - Uma análise do contexto brasileiro*. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ/IPPUR, Rio de Janeiro.
- Ondas Brasil. (2019). *Relatório 70/203*. AG Index: A/70/203, vinte e sete de julho de 2015b.
- ONU – Organização das Nações Unidas. (2015a). *Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável*.
- ONU. OHCHR. (2015). *Direito ao saneamento, um direito humano distinto – Mais de 2,5 bilhões de pessoas não têm acesso ao saneamento*.
- PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico. Itaúna- MG. (2018, v.1).
- PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico. Itaúna- MG. (2018, v.2).
- Refworld. (2013). *Resolução 24/18*. AG Index: A/HRC/RES/24/18, oito de outubro de 2013.
- SHS Consultoria e Projetos de Engenharia LTDA. EPP. (2017b).
- Silva, T. V. G. (2016). *O Direito Humano de acesso à Água potável e ao Saneamento básico. Análise da posição da corte interamericana de direitos humanos*. São Paulo.
- SINAPI – Sistema Nacional de pesquisa de custos e índices da construção civil. (2020).
- Tonetti, A. L., 1973. *Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções*. Biblioteca/Unicamp, 2018.

Tsutiya, M. T., & Além Sobrinho, P. (2011). *Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário*. (3a ed.), ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

UN. (2015c). *Relatório 30/39*. AG Index: A/HRC/30/39, cinco de agosto de 2015c.

Universidade Federal de Minas Gerais. (2014). (4a ed.).

Vieira, I. (2010). *BET - Bacia de Evapotranspiração*. Setelombas.

Vieira, I. (2006). *Círculo de bananeiras*. Setelombas.

Von Sperling, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade.