

A utilização de Biodigestores como Sistema Alternativo de Tratamento de Esgoto Urbano: o Caso da ONG Biosaneamento em São Paulo

Caio Dantas; Henrique Samuel Soares Chesca; Isabel Amorim Laureano; Lucas Natale Monaco da Silva; Pedro Matheus de Vasconcelos

Orientador: Profa. Cláudia Terezinha Kniess

Resumo: O saneamento básico é essencial para a qualidade de vida e o bem-estar da população, além de ser um direito assegurado pela Constituição Federal do Brasil. Este tema representa um desafio importante para o país que busca a universalização dos serviços até 2033, meta estabelecida pelo novo marco legal do saneamento, Lei 14.026/2020. Entretanto diante do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável da ONU 6: “Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos”, a busca por soluções sustentáveis mostra-se necessária. Nesse contexto cresceu o interesse pela tecnologia dos biodigestores, sistemas digestores de matéria orgânica em meio anaeróbio (sem oxigênio), cujo subprodutos são o biogás, uma fonte de energia renovável, e biofertilizante, um adubo orgânico de alta qualidade. Este trabalho teve por objetivo estudar a utilização de biodigestores como sistemas alternativos de tratamento de esgoto urbano, seus aspectos financeiros, tecnológicos e ecológicos. Através de uma pesquisa exploratória com abordagem qualitativa buscou conceituar esta tecnologia, seu funcionamento e tipos, bem como estudar os desafios da universalização do saneamento no país. Foi proposto também um estudo de caso com aplicação de entrevistas estruturadas a todos os agentes da cadeia deste produto: o distribuidor comercial (BioMovement), o prestador de serviço (ONG Biosaneamento) e o cliente final (uma EMEB de Cajamar). Com base no estudo concluiu-se que os biodigestores estudados são tecnologias sustentáveis de grande impacto social, podem ser utilizados para tratamento de esgoto pontuais, mas não atendem a locais com alta densidade populacional.

Palavras-chave: saneamento básico, tratamento de esgoto; biodigestor; ONG Biosaneamento.

Abstract: Basic sanitation is essential for the quality of life and well-being of the population, in addition to being a right guaranteed by the Federal Constitution of Brazil. This topic represents an important challenge for the country that seeks the universalization of services by 2033, a goal established by the new legal framework for sanitation, Law 14,026/2020. However, given the UN Sustainable Development Goal 6: “Ensure the availability and sustainable management of drinking water and sanitation for all”, the search for sustainable solutions is necessary. In this context, interest in biodigestor technology has grown, systems that digest organic matter in an anaerobic environment (without oxygen), whose by-products are biogas, a source of renewable energy, and biofertilizer, a high-quality organic fertilizer. This work aimed to study the use of biodigesters as alternative urban sewage treatment systems, their financial, technological and ecological aspects. Through exploratory research with a qualitative approach, we sought to conceptualize this technology, its functioning and types, as well as studying the challenges of universalizing sanitation in the country. A case study was also proposed with the application of structured interviews to all agents in the chain of this product: the commercial distributor (BioMovement), the service provider (NGO Biosaneamento) and the end customer (an EMEB in Cajamar). Based on the study, it was concluded that the biodigesters studied are sustainable technologies with great social impact, they can be used for occasional sewage treatment, but they do not serve places with high population density.

Keywords: basic sanitation, sewage treatment; biodigestor; ONG Biosaneamento.

1 Introdução

O saneamento básico é essencial para a qualidade de vida e o bem-estar da população, além de ser um direito assegurado pela Constituição Federal de 1988 e pela Lei 14.026/2020 que revogou parte da Lei nº 11.445/2007. No artigo 3º desta lei revogada, considera-se saneamento básico o conjunto de serviços públicos relacionados à: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e manejo de águas pluviais (OLIVEIRA *et al*, 2023).

O saneamento básico no Brasil é um tema de grande relevância, estima-se que 44,2% da população brasileira não possui coleta de esgoto e que apenas 51,2% do esgoto gerado é tratado (TRATA BRASIL, 2021). Apesar dos progressos significativos que foram alcançados nas últimas décadas, a coleta e tratamento de esgoto, assim como a gestão adequada de resíduos sólidos, continuam a ser problemas críticos, afetando a saúde pública, o meio ambiente e a qualidade de vida de milhões de brasileiros.

O novo marco legal do saneamento brasileiro (Lei 14.026/2020), a fim de suprir o déficit de investimento e promover a universalização do saneamento, estabeleceu metas até 2033, de atendimento de 99% da população com abastecimento de água e 90% da população em coleta e tratamento de esgoto, e regulamentações para aumentar a concorrência no setor e estimular a regionalização dos serviços (OLIVEIRA *et al*, 2023).

Em setembro de 2015, líderes de todo o mundo se reuniram na sede das Nações Unidas, na cidade de Nova Iorque, para adotar uma agenda conhecida como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Essa agenda estabeleceu um roteiro para a humanidade, com 17 objetivos que representam o compromisso coletivo de promover um futuro mais justo, próspero e sustentável para todos até 2030. No âmbito do saneamento básico destaca-se o ODS 6: “Garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos” (ONU, 2023).

O Brasil, como um dos países mais populosos e diversos do mundo, desempenha um papel importante na realização desses objetivos. Sua vasta extensão territorial, rica em biodiversidade e economia em crescimento o torna uma peça fundamental para a execução dos ODS. No entanto, ao mesmo tempo, o Brasil enfrenta grandes desafios em direção à sustentabilidade, como desigualdades socioeconômicas e pressões ambientais (SHARMA *et al*, 2021).

No contexto de crescente preocupação com o meio ambiente e a busca por fontes de energia sustentável, a utilização de biodigestores como sistemas de reaproveitamento de biogás surgiu como uma alternativa promissora. O biogás, composto principalmente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), é produzido a partir da decomposição de matéria orgânica, como resíduos agrícolas, dejetos animais e esgoto. Este recurso energético além de oferecer uma fonte limpa de energia também contribui para a redução dos impactos ambientais e promove o uso eficiente de resíduos orgânicos (ARRUDA *et al*, 2002).

Nos últimos anos, o interesse pela utilização de biodigestores cresceu, impulsionado por preocupações ambientais, a busca por fontes de energia renovável e a necessidade de gerenciar de forma eficaz os resíduos orgânicos, inclusive esgoto, produzidos em escala industrial e doméstica. Os biodigestores são sistemas que facilitam a produção de biogás e biofertilizantes a partir da digestão anaeróbia (sem a presença de oxigênio) dessa matéria orgânica, oferecendo uma solução inteligente

para as questões de tratamento de resíduos e energia sustentável (SHARMA *et al*, 2021).

Neste trabalho é explorado o potencial dos biodigestores como sistemas alternativos de tratamento de esgoto. São abordados os processos envolvidos da aplicação prática desse recurso no contexto urbano e os desafios e as oportunidades associadas a essa tecnologia, bem como seu potencial uso em locais com alta densidade populacional.

1.1 Justificativa

Perante a defasagem de tratamento de esgoto no Brasil, segundo Oliveira e Assis (2020), o uso de biodigestores é uma opção viável, de baixo custo de implantação e manutenção e, devido a participação da população no processo construtivo, promove a conscientização ambiental.

Devido a extensão territorial do Brasil, o uso de biodigestores na pecuária e na agricultura é mais frequente, principalmente devido aos resíduos orgânicos e esterco animal possuírem maior potencial energético do que dejetos humanos. A Tabela apresenta comparativo energético dos tipos de resíduo orgânico de acordo com Saiki e Silva (2018).

Tabela 1 – Comparativo Energético dos tipos de Resíduo Orgânico

Animal	Dejeto (kg/dia)	Biogás (m ³ /dia/animal)	Gás de Cozinha (kg/dia)	Energia (kWh/dia)
Suíno	16	0,19	0,08	0,19
Bovino	45	0,54	0,22	0,54
Galinha	0,09	0,01	0,00	0,01
Humano	0,25	0,01	0,00	0,01

Fonte: adaptado de Saiki e Silva (2018)

Diante desse cenário, justifica-se o estudo do uso de biodigestores no contexto urbano, seja pelo carácter sustentável da tecnologia, seja como sistema alternativo de tratamento de esgoto urbano, inclusive quando a densidade populacional é alta.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo estudar a utilização de biodigestores como sistema alternativo de tratamento de esgoto urbano, quanto aos aspectos financeiros, tecnológicos e ecológicos.

Ao longo do trabalho serão abordados os seguintes objetivos específicos:

- Estudar os desafios para a universalização do saneamento básico no Brasil;
- Conceituar biodigestores, seus tipos e funcionamento;
- Estudar, por meio de um estudo de caso, o contexto real da aplicação de um biodigestor para tratamento de esgoto urbano;

2 Referencial Teórico

2.1 Definição e Funcionamento de Biodigestores

Biodigestores são equipamentos de digestão anaeróbia (sem oxigênio) de matéria orgânica (esterco, excrementos humanos, restos de vegetais) que produzem biogás e biofertilizante. São compostos de um poço hermeticamente fechado, no qual é

fermentada a matéria orgânica em solução aquosa, uma câmara de armazenamento do biogás e uma saída para o biofertilizante (DEGANUTTI *et al*, 2002).

A digestão anaeróbia é um processo natural de decomposição da matéria orgânica através de bactérias em ambientes sem oxigênio, que de acordo com Oliver *et al* (2008) ocorre em três fases: hidrólise (redução do tamanho das moléculas), produção de ácidos orgânicos e produção de metano.

Trata-se de um processo lento, em geral de 30 dias, que depende da manutenção da temperatura por volta de 35°C para sua melhor eficiência e, para evitar vazamentos e perda de pressão, não pode ser instalado muito distante de onde serão utilizados seus subprodutos, o biogás e o biofertilizante (SEIXAS, FOLLE e MARCHETTI, 1981). Segundo Alves *et al* (2010), os principais fatores que afetam a digestão anaeróbia são: o potencial de hidrogênio (pH) da solução aquosa de matéria orgânica; a temperatura; o tempo de retenção hidráulica (tempo para a digestão) e substâncias tóxicas (por excesso de nutrientes no biodigestor ou uso de desinfetantes e bactericidas usados nas instalações de animais).

O produto desse processo biológico é um gás composto majoritariamente de metano, denominado biogás, um recurso energético renovável que pode ser utilizado para abastecimento de gás residencial, produção de energia elétrica por combustão entre outros, e o resíduo dessa digestão é denominado biofertilizante, o qual após simples tratamento, pode ser utilizado na produção agrícola doméstica, na recuperação de terrenos degradados entre outros (SILVA, 2020).

2.1.1 O Biogás

O biogás gerado na última fase da digestão anaeróbia, depende da natureza da matéria prima fermentada e é composto por uma combinação de metano, gás carbônico e outros gases, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Composição do Biogás

Gases	Representação Química	%
Metano	CH ₄	50 a 70
Dióxido de Carbono	CO ₂	30 a 40
Nitrogênio	N ₂	até 10
Hidrogênio	H ₂	até 5
Oxigênio	O ₂	até 1
Gás sulfídrico	H ₂ S	até 1
Vapor de água	H ₂ O	0,3

Fonte: adaptado de Oliver *et al* (2008)

Como o metano possui pouco mais que a metade do peso do ar, o biogás é mais leve que o ar, representa uma fonte de energia renovável de queima limpa (sem fuligem) com poder calorífico entre 5.000 e 7.000kcal/m³, sendo que 1m³ de biogás equivale a 0,61L de gasolina, 0,79L de álcool, 0,45L de gás de cozinha, 1,50kg de lenha entre outros. (OLIVER *et al*, 2008)

O uso do biogás é um importante agente na diminuição da poluição do meio ambiente, quer seja por representar uma redução do desmatamento para o uso de lenha, quer seja na queima do metano, seu principal componente, o qual é 24 vezes mais danoso que o carbono em termos de efeito estufa (COELHO *et al*, 2006).

2.1.2 O Biofertilizante

Após sofrer o processo de fermentação no interior do biodigestor a matéria orgânica se transforma em biofertilizante. Trata-se de adubo orgânico de alta qualidade composto em média entre 1,5 e 2% de nitrogênio (N), 1,0 a 1,5% de fósforo (P) e 0,5 a 1% de potássio (K). Alguns de seus benefícios no uso agrícola são: corretivo da acidez do solo (devido ter um pH em torno de 7,5); reestabelecimento do teor de húmus no solo; restauração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo entre outras (OLIVER *et al*, 2008)

Segundo Alves *et al* (2010) a alta qualidade do biofertilizante produto da digestão anaeróbia é devido a: (1) redução do teor de carbono (C) do material, expelido no processo de digestão em forma de metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂); (2) aumento do teor de nitrogênio (N) e nutrientes no solo; (3) diminuição da relação C/N da matéria orgânica; (4) facilidade de aproveitamento pelos microrganismos no solo, devido seu avançado grau de decomposição; (5) maior disponibilidade de nutrientes, devido a subutilização no processo de digestão e (6) utilização como controle de pragas e doenças (ALVES *et al*, 2010).

2.2 Principais Tipos de Biodigestor

Existem diversos tipos de biodigestores no mercado, mas de modo geral eles são classificados com base na sua forma de abastecimento, que pode ser por batelada, isto é, só é feita nova carga de matéria orgânica, após a anterior ter sido totalmente digerida, ou contínua, na qual todos os dias é feito uma nova carga de matéria orgânica (DEGANUTTI *et al*, 2002).

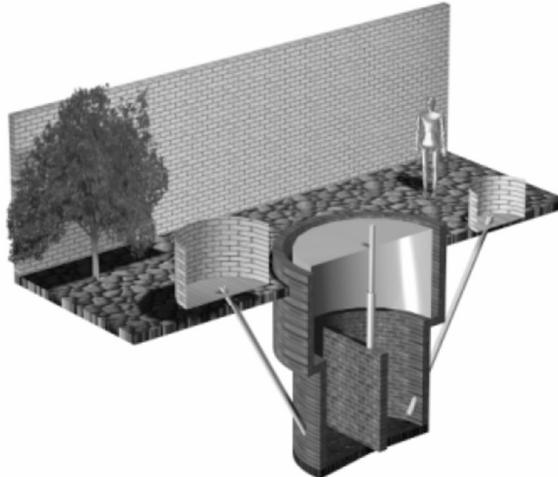
2.2.1 O Modelo Indiano

Este modelo é constituído de uma caixa de entrada, uma câmara de fermentação cilíndrica, a qual fica enterrada na vertical, que possui uma parede divisória interna para separar a matéria orgânica não digerida da digerida, pronta para o descarte, e uma caixa de saída. Na tampa desse digestor há um gasômetro, constituído de uma campânula de metal móvel, o que permite que o sistema opere em pressão constante e evite perdas (OLIVEIRA e ASSIS, 2020).

A concentração de sólidos da carga de matéria orgânica neste biodigestor não deve passar de 8% para evitar entupimentos das tubulações, e seu abastecimento deve ser contínuo, sendo indicado quando a oferta de matéria orgânica é regular. Do ponto de vista construtivo tem a possibilidade de construção em alvenaria, entretanto seu custo pode ser elevado devido o gasômetro de metal, a mão de obra necessária e o transporte dos materiais até o local de instalação (DEGANUTTI *et al*, 2002).

A Figura 1 demonstra uma representação tridimensional em corte desse modelo.

Figura 1 – Representação Tridimensional do Modelo Indiano



Fonte: DEGANUTTI *et al*, (2002)

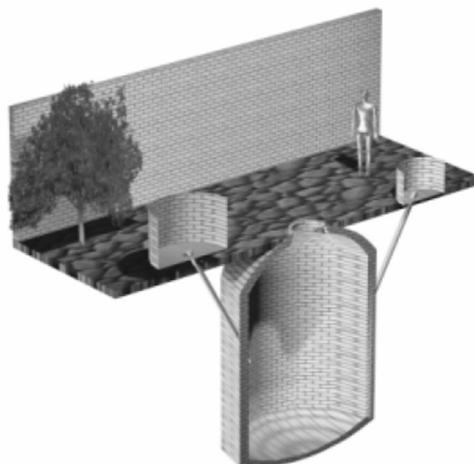
2.2.2 O Modelo Chinês

Este modelo é constituído de uma câmara de fermentação cilíndrica, a qual fica enterrada na vertical, caixa de entrada e de saída, e possui tampo abobadado fixo e impermeável, o qual faz o sistema operar com base no princípio de prensa hidráulica, ou seja, quanto maior a pressão interna, devido ao acúmulo de biogás, o resíduo de matéria orgânica é deslocado para a caixa de saída, quando ocorre a descompressão do sistema (OLIVEIRA e ASSIS, 2020).

A concentração de sólidos da carga de matéria orgânica neste biodigestor também não deve passar de 8% para evitar entupimentos das tubulações, e seu abastecimento deve ser contínuo, sendo mais indicado para instalações de grande porte. Do ponto de vista construtivo sua construção é feita em alvenaria, reduzindo seu custo por dispensar uso de gasômetro de metal, contudo requer mão de obra especializada e o transporte dos materiais até o local de instalação, e há risco de vazamento em caso de erro construtivo na vedação e impermeabilização (DEGANUTTI *et al*, 2002).

A Figura 2 demonstra uma representação tridimensional em corte desse modelo.

Figura 2 – Representação Tridimensional do Modelo Chinês



Fonte: DEGANUTTI *et al*, (2002)

2.2.3 O Modelo por Batelada

Este modelo pode ser constituído de uma ou várias câmaras de fermentação cilíndricas em série, a qual fica enterrada na vertical, mas sua alimentação é por batelada, ou seja, novas cargas somente são adicionadas após a total digestão da anterior (OLIVEIRA e ASSIS, 2020)

Não há recomendações de concentração de sólidos das cargas, entretanto o tempo de retenção é mais longo. Do ponto de vista construtivo é o mais simples, feito em alvenaria possui o menor custo em relação ao modelo indiano e chinês, entretanto são indicados quando a oferta de matéria orgânica ocorre de maneira descontínua (DEGANUTTI *et al*, 2002)

A Figura 3 demonstra uma representação tridimensional em corte desse modelo.

Figura 3 – Representação Tridimensional do Modelo por Batelada



Fonte: DEGANUTTI *et al*, (2002)

2.3 Uso de Biodigestores para Tratamento de Esgoto Urbano

Para resolver o histórico problema do déficit de tratamento de esgoto sanitário, surge o biodigestor anaeróbio, que por tratar o esgoto de forma local torna-se uma alternativa interessante para cidades pequenas (as quais representam cerca de 90% das cidades brasileiras) e, por gerar biogás e biofertilizante como subprodutos, pode ser utilizado em políticas públicas de cunho social (SPINDLER, 2018)

Spindler (2018) levantou algumas vantagens e desvantagens do uso de biodigestores no ambiente urbano. Como principal desvantagem apurou o controle de temperatura, uma vez que a digestão anaeróbia precisa operar em temperaturas mais altas, e regiões muito frias ou com mudanças bruscas de temperatura, podem comprometer as bactérias que fazem a fermentação, chegando a neutralizar por completo o processo.

De modo geral, as vantagens levantadas por Spindler (2018) em comparação a outras formas de tratamento convencional foram: baixo custo de implantação e manutenção, produção de biogás e biofertilizante, sistema sustentável (derivado de processo natural) e com estrutura simples. Vantagens essas que devido a seu cunho social, trata-se de uma tecnologia não apenas viável, mas também a mais recomendável.

2.4 Universalização do Saneamento Básico no Brasil

Com base no estudo denominado “Avanços do novo marco legal do saneamento básico no Brasil” (OLIVEIRA *et al*, 2023), quanto a implementação e impactos futuros da Lei 14.026 de 15/07/2020, a qual estabeleceu metas para universalização do saneamento até 2033, divulgado pelo Instituto Trata Brasil em parceria com a consultoria Go associados em julho de 2023, mais de 44% dos brasileiros não possuem serviço de esgotamento sanitário (cerca de 100 milhões de habitantes) e há lentidão nos avanços dos serviços para cumprir essa meta, o que não será alcançada sem o engajamento da sociedade, de prestadores de serviço e governos federal, estadual e municipal.

O aumento do saneamento gera diversos benefícios como a geração de empregos, melhoria da saúde, aumento da renda familiar e a preservação do meio ambiente. Entretanto historicamente, no Brasil, houve pouco incentivo para investimentos no setor, o que o novo marco legal tentou suprir propondo cinco principais alterações: (1) definição de metas de universalização (atendimento de 99% da população com abastecimento de água e 90% da população em coleta e tratamento de esgoto até 2033); (2) aumento da concorrência pelo mercado a partir da vedação de novos contratos de programa; (3) maior segurança em processos de desestatização de companhias estatais; (4) estímulos a prestação de serviço regionalizadas e (5) maior importância da atuação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) na regulação dos serviços (OLIVEIRA *et al*, 2023)

Em síntese Oliveira *et al* (2023) concluem que, com relação à capacidade econômico-financeira, apenas 62% dos municípios do país apresentaram documentação regular, sendo que as regiões com maior defasagem no saneamento são as que apresentaram maior índice de documentação pendente.

Com relação à regionalização, isto é, à regulamentação legal da regionalização do saneamento, dois estados (Acre e Pará) sequer protocolaram projeto de lei nos respectivos legislativos. Minas teve seu projeto arquivado em 2022, gerando incertezas, e Tocantins aguarda aprovação de projeto de lei.

Efetou-se ainda cálculos para estimar qual deverá ser o investimento anual neste setor para alcançar as metas estabelecidas até 2033 e qual seu impacto no produto interno bruto (PIB) do país. Com base nos dados do Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab) estimou-se que os investimentos anuais deveriam mais do que dobrar para alcançar as metas, chegando a um montante de R\$44,8 bilhões por ano, o que potencialmente levaria a um crescimento do PIB do Brasil em R\$56,3 bilhões por ano, com aumento da arrecadação fiscal em cerca de R\$3,6 bilhões anuais (OLIVEIRA *et al*, 2023).

2.5 Soluções de Esgotamento Sanitário

Segundo o manual de saneamento básico da Funasa (2019), o conceito de saneamento e sua associação com a saúde humana, remonta às mais antigas culturas. No Brasil, ele evoluiu ao longo do tempo, desde a prevenção da transmissão de doenças nas cidades (1944), passando a incluir a preservação ambiental (2007) até incluir o conjunto de serviços, infraestrutura e instalações operacionais (2015) de: (a) abastecimento de água potável; (b) esgotamento sanitário; (c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e (d) drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

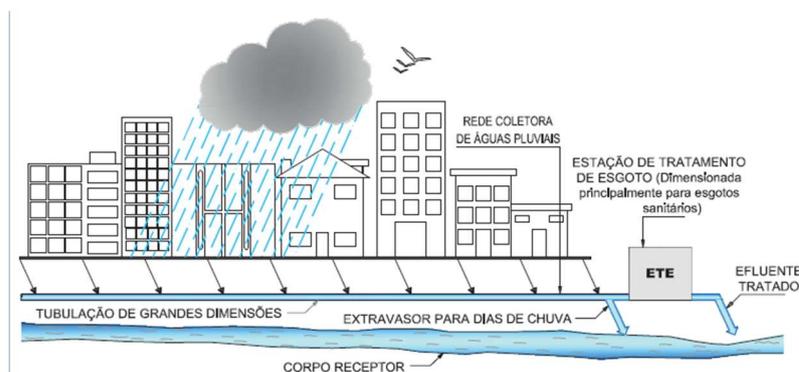
Segundo a Funasa (2019) existem diversas soluções ambientalmente sustentáveis para evitar o contato do esgoto doméstico com as pessoas, fazer o afastamento seguro, promover o tratamento e a sua disposição final. Elas se dividem em dois grupos: (1) alternativas individuais e (2) alternativas coletivas.

Dentre as soluções individuais, ou descentralizadas, estão as soluções para moradias desprovidas de instalações hidráulicas de abastecimento de água, onde os desejos humanos não são afastados por veiculação hídrica, e também podem ser, com base em normas técnicas, conjuntos compostos por tanque séptico seguido de unidades complementares de tratamento e/ou disposição final de efluentes.

Já as soluções coletivas, são aquelas destinadas a tratar o esgoto de um perímetro urbano maior, compostas de uma rede coletora e tratamento distribuídos. São divididas em três principais: (1) o sistema unitário; (2) o sistema misto e (3) o sistema separador, este último subdividido em sistema convencional e sistema condominial.

O Sistema unitário é constituído por uma única rede de canalizações para todo tipo de esgoto e água (seja pluvial ou de infiltração no solo) conforme mostra a Figura 4. No Brasil esse sistema não é permitido, devido alto índice pluviométrico (de chuvas).

Figura 4 – Sistema Unitário de Tratamento de Esgoto

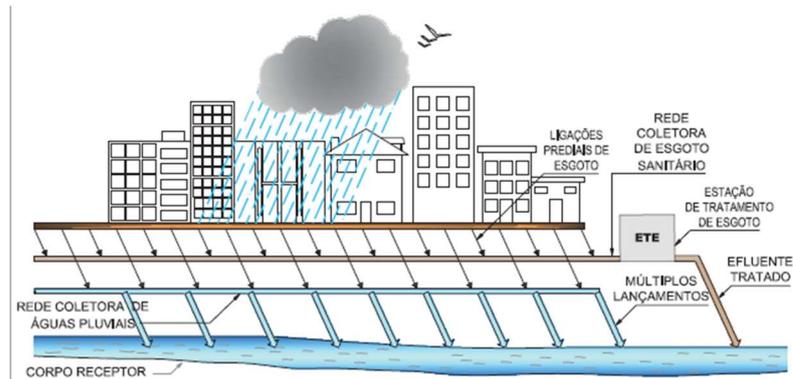


Fonte: FUNASA (2019)

O Sistema misto é constituído por uma rede coletora do esgoto sanitário e uma parcela das águas pluviais, parcela esta que varia de um país para outro, mas não é permitido no Brasil do mesmo modo que o sistema unitário.

O Sistema separador convencional é constituído de uma rede coletora de esgoto sanitário e outra de águas pluviais (Figura 5). É o sistema predominante no Brasil, conforme legislação ambiental, e seu custo é reduzido pelas seguintes razões: (1) águas pluviais não necessitam de tratamento para serem descartadas ou reutilizadas; (2) a rede de drenagem pluvial se aproveita da topografia dos terrenos, logo sua extensão é reduzida, pois não precisa ser instalada em todas as ruas, uma vez que as sarjetas promovem o escoamento da água; (3) o esgoto é prioritário devido representar um problema de saúde pública, porém a rede coletora tem diâmetro reduzido, facilitando a produção e reduzindo seus custos e (4) a ausência de águas pluviais permite a redução do dimensionamento das estações de tratamento de esgoto.

Figura 5 – Sistema Separador Convencional de Tratamento de Esgoto



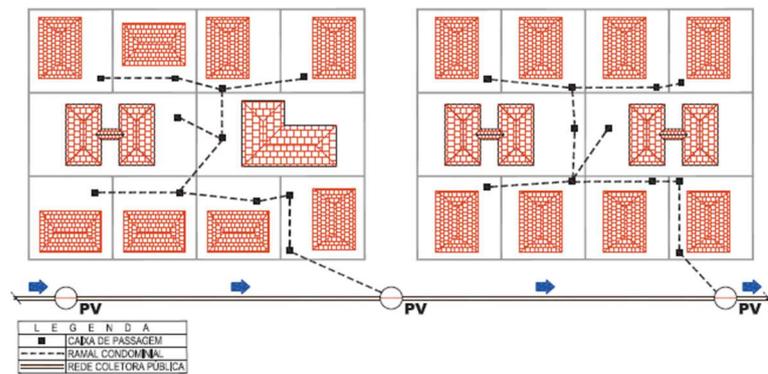
Fonte: FUNASA (2019)

Um dos desafios do sistema convencional é o controle de lançamentos clandestinos de águas pluviais. Como na maioria das cidades brasileiras ele não é eficiente, sua operação na prática é similar a um sistema misto.

Por fim o sistema separador condominial é usualmente adotado quando há certa dificuldade na execução da rede domiciliar de esgotamento convencional, o que gera flexibilidade e economia na obra, devido a extensão reduzida e a profundidade da rede. Os ramais são implantados no interior de lotes habitacionais ou “condomínios”, e podem ser direcionados a uma rede coletora existente ou ser encaminhados a uma unidade de tratamento descentralizada de esgoto. Apoiar-se fortemente na participação comunitária com o uso de tecnologia apropriada.

A Figura 6 apresenta uma representação da instalação de um sistema condominial.

Figura 6 – Sistema Separador Condominial de Tratamento de Esgoto



Fonte: FUNASA (2019)

3 Metodologia

Esta pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa exploratória com abordagem qualitativa, que tem por finalidade o conhecimento da variável de estudo tal como se apresenta, seu significado e o contexto em que se insere (Piovesan e Temporini, 1995).

A estratégia de pesquisa é o estudo de caso, pois se investigou um fenômeno contemporâneo em seu contexto real. Segundo Yin (2015) estudo de caso são indicados para objetos de pesquisa cujo contexto não pode ser manipulado isoladamente, mas devem ser analisados em conjunto.

De acordo com Yin (2015) os principais componentes de um estudo de caso são: (1) as questões do estudo; (2) as proposições iniciais e (3) as unidades de análise.

Mattar (1996) define dados primários como são aqueles coletados diretamente com os agentes pesquisados e têm propósito de atender a necessidades específicas da pesquisa em andamento. E como dados secundários, aqueles que já foram coletados, analisados e estão à disposição dos interessados.

Com objetivo de interpretar as descobertas e servir de instrumento lógico que liga os dados às proposições, Yin (2015), comenta que é necessário fazer uma triangulação desses dados, o que, nesta pesquisa, constitui-se pelo confronto dos dados secundários com os dados primários coletados a fim de possam ser atendidos os objetivos estabelecidos.

3.1 As Questões do Estudo

Visando atender ao objetivo principal desse artigo, o qual trata da utilização dos biodigestores como sistema de tratamento de esgoto urbano, buscou-se entender como funciona toda a cadeia de uma tecnologia inovadora em seu contexto real, desde seu fornecimento até o cliente final, partindo de suas características técnicas, custos financeiros, passando pelo motivo que um prestador de serviço escolhe para implantar esta tecnologia até chegar as impressões do cliente final, quer sejam as dificuldades enfrentadas como também os benefícios observados.

3.2 As proposições iniciais

A partir da pesquisa exploratória em artigos científicos e dados obtidos nos sites oficiais de agentes públicos e privados relevantes no setor de saneamento básico do Brasil, foi considerado como proposição inicial, diante da viabilidade demonstrada no trabalho de Lermontov e Gomes (2008), que biodigestores são tecnologias sustentáveis que podem ser utilizadas para tratamento de esgoto urbano, mesmo em locais com densidade populacional alta.

3.3 As Unidades de Análise

3.3.1 A ONG Biosaneamento (Prestador de Serviço)

Criada em 2015 por seu atual presidente, o engenheiro civil Luiz Fazio, a Organização Não Governamental (ONG) Biosaneamento tem como missão “contribuir na universalização do saneamento básico no Brasil, através do trabalho em comunidades precárias e do engajamento e ação conjunta de moradores, jovens voluntários e outros agentes da sociedade” (BIOSANEAMENTO, 2023).

O motivo da escolha consiste na visão deles de “acreditarem em uma sociedade com saneamento de qualidade, onde todos possam desfrutar uma vida saudável, contribuindo com as metas globais da Agenda 2030” (BIOSANEAMENTO, 2023), e por sua forma de atuação através de parcerias e tecnologias inovadoras, sendo uma das pioneiras a utilizar o biodigestor como um sistema alternativo de tratamento de esgoto.

3.3.2 A *Homebiogas* e a *BioMovement* (Representante Comercial)

A *Homebiogas* é uma empresa israelense fundada em 2011 por Yair Teller (gestão ambiental), Oshik Efrati (desenvolvedor de produto) e Erez Lanzer (gestão comercial),

cuja principal missão é “capacitar comunidades em todo o mundo a aproveitar os recursos de forma sustentável, transformando resíduos orgânicos em energia limpa e renovável” (HOME BIOGAS, 2023). São os fornecedores do biodigestor objeto de estudo dessa pesquisa, que tem o mesmo nome da empresa, o “Homebiogas”, tecnologia moderna que visou superar as limitações e deficiências dos sistemas tradicionais de biogás.

A *Biomovement* é o representante oficial da *Homebiogas* no Brasil, fundada em 2018 por Leandro Toledano, tem como principal missão levar um biodigestor moderno à lugares nos quais o saneamento básico é escasso e o acesso a gás é limitado (HOME BIOGAS, 2023).

3.3.3 Escola Municipal Marcelo Antônio Ricomini Pascoal (Cliente Final)

Escola Municipal de Educação Básica (EMEB) de ensino público infantil para crianças de 6 a 12 anos, localizada na Av. Antonio Cândido Machado, 227 - Vila das Américas, Cajamar – SP, a qual já havia recebido um biodigestor cerca de 6 meses e recebeu a instalação de novos no dia 30 de outubro de 2023 através de uma parceria entre a ONG Biosaneamento e a *BioMovement*, motivo pelo qual foi selecionada para ser investigada como cliente final.

3.4 Coleta dos Dados Primários

3.4.1 Sujeitos de Pesquisa

O Quadro 1 apresenta os sujeitos de pesquisa para a coleta dos dados primários.

Quadro 1 – Sujeitos de Pesquisa

Entrevistado	Vínculo	Idade	Formação	Função na Organização	Tempo na Função
E1	ONG Biosaneamento	49 anos	Engenharia Civil	Presidente	8 anos
E2	<i>Biomovement</i>	36 anos	Gestão Ambiental	Gestor ambiental e coordenador de impacto social	4 anos
E3	EMEB Cajamar	42 anos	Pedagogia	Diretora	6 anos

Fonte: elaborado pelos autores, 2023

3.4.2 Os Roteiros de Entrevistas

3.4.1 ONG Biosaneamento (Prestador de Serviço)

A entrevista ocorreu dia 11 de outubro de 2023, via online através do aplicativo Microsoft Teams e seguiu o roteiro apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Roteiro ONG Biosaneamento

Objetivo da Pesquisa	Pergunta	Referências
Discussão dos problemas do déficit de tratamento de esgoto urbano	Qual o objetivo da ONG?	SAMPAIO, 2016
Discussão dos problemas do déficit de tratamento de esgoto urbano	Qual é a forma de atuação da ONG?	SAMPAIO, 2016

Discussão dos problemas do déficit de tratamento de esgoto urbano	Com base na sua experiência, comente qual o maior desafio do setor de saneamento básico no Brasil	OLIVEIRA <i>et al</i> , 2023
Uso de biodigestores no contexto urbano para tratamento de esgoto	O que levou a ONG a implantar biodigestores como solução de tratamento de esgoto?	SAMPAIO (2016); Spindler (2018); Lermontov e Gomes (2008); OLIVEIRA <i>et al</i> (2023)
Potencial do uso de biodigestores no tratamento de esgoto em locais de alta densidade populacional	Com base na sua experiência, comente sobre o papel do uso de biodigestores na resolução do déficit de saneamento básico no país.	SAMPAIO (2016); Spindler (2018); Lermontov e Gomes (2008); OLIVEIRA <i>et al</i> (2023)

Fonte: elaborado pelos autores, 2023

3.4.2 Biomovement/Homebiogas Brasil (Representante Comercial)

A entrevista ocorreu no dia 09 de outubro de 2023, na sede da *Homebiogas* Brasil, localizada na Rua Borges de Barros, 90 – Sumarezinho – SP e seguiu o roteiro apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 – Roteiro Biomovement

Objetivo da Pesquisa	Pergunta	Referências
Estudar aspectos tecnológicos e ecológicos dos biodigestores	Quais são as opções de produtos comercializadas pela <i>BioMovement</i> ? Comente sobre suas especificações e capacidades?	DEGANUTTI <i>et al</i> (2002); OLIVEIRA e ASSIS (2020)
Estudar aspectos financeiros dos biodigestores	Qual o investimento necessário para aquisição dos produtos comercializados pela <i>BioMovement</i> ?	DEGANUTTI <i>et al</i> (2002); OLIVEIRA e ASSIS (2020)
Estudar contexto real da aplicação dos biodigestores no contexto urbano, desafios e benefícios	Comente o processo de instalação e ativação dos produtos comercializados pela <i>BioMovement</i>	DEGANUTTI <i>et al</i> (2002); OLIVEIRA e ASSIS (2020)
Estudar contexto real da aplicação dos biodigestores no contexto urbano, desafios e benefícios	Comente sobre o processo de manutenção dos produtos comercializados pela <i>BioMovement</i>	DEGANUTTI <i>et al</i> (2002); OLIVEIRA e ASSIS (2020)
Estudar contexto real da aplicação dos biodigestores no contexto urbano, desafios e benefícios	Qual a expectativa de vida dos produtos comercializados pela <i>BioMovement</i> ?	DEGANUTTI <i>et al</i> (2002); OLIVEIRA e ASSIS (2020)
Estudar contexto real da aplicação dos biodigestores no contexto urbano, desafios e benefícios	Comente sobre o processo de descarte dos produtos comercializados pela <i>BioMovement</i>	DEGANUTTI <i>et al</i> (2002); OLIVEIRA e ASSIS (2020)
Estudar contexto real da aplicação dos biodigestores no contexto urbano, desafios e benefícios	Comente como quais são as opções de pós-venda oferecidas pela <i>BioMovement</i>	DEGANUTTI <i>et al</i> (2002); OLIVEIRA e ASSIS (2020)
Estudar contexto real da aplicação dos biodigestores no	Comente sobre as principais diferenças entre os produtos da <i>Homebiogas</i> e os modelos tradicionais de biodigestores	DEGANUTTI <i>et al</i> (2002); OLIVEIRA e ASSIS (2020)

contexto urbano, desafios e benefícios		
Estudar contexto real da aplicação dos biodigestores no contexto urbano, desafios e benefícios	Comente sobre os principais defeitos que os produtos comercializados pela <i>BioMovement</i> apresentaram e como foram solucionados	DEGANUTTI <i>et al</i> (2002); OLIVEIRA e ASSIS (2020)
Estudar contexto real da aplicação dos biodigestores no contexto urbano, desafios e benefícios	Quais são os principais clientes da <i>BioMovement</i> ?	DEGANUTTI <i>et al</i> (2002); OLIVEIRA e ASSIS (2020); SPINDLER (2018)

Fonte: elaborado pelos autores, 2023

3.4.3 EMEB Marcelo Antônio Ricomini Pascoal (Cliente Final)

A entrevista ocorreu no dia 30 de outubro de 2023, durante a visita técnica à escola para acompanhar a instalação de novos biodigestores através da parceria entre a *Homebiogas* Brasil e a ONG Biosaneamento e seguiu o roteiro apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Roteiro EMEB Cajamar

Objetivo da Pesquisa	Pergunta	Referências
Uso de biodigestores no contexto urbano, desafios, benefícios; Aspectos tecnológicos e ecológicos	Após cerca de 6 meses da primeira instalação do biodigestor na escola, quais foram os principais impactos gerados?	SOUZA e MIRANDA, 2012
Uso de biodigestores no contexto urbano, desafios, benefícios;	O que levou a escola adquirir novos biodigestores?	SOUZA e MIRANDA, 2012
Aspectos tecnológicos e ecológicos	Comente como são utilizados os subprodutos do biodigestor na escola, isto é, o biogás e o biofertilizante?	SOUZA e MIRANDA, 2012
Uso de biodigestores no contexto urbano, desafios, benefícios;	Cite, se houver, quais foram as falhas apresentadas pelo biodigestor?	SOUZA e MIRANDA, 2012
Aspectos tecnológicos e ecológicos	Em termos de educação ambiental e social, qual a importância dos biodigestores para a escola?	SOUZA e MIRANDA, 2012

Fonte: elaborado pelos autores, 2023

3.5 Coleta dos Dados Secundários

O Quadro 5 apresenta os principais dados secundários e suas respectivas fontes, relativos aos sujeitos de pesquisa entrevistados.

Quadro 5 – Dados Secundários (Sujeitos de Pesquisa)

Sujeito de Pesquisa	Dados	Fonte
ONG Biosaneamento	Estados atendidos: São Paulo, Rio de Janeiro, Acre Ao todo são 55 biodigestores instalados, com renda estimada de R\$400 mil reais para as comunidades, alcançando cerca de 8.000 pessoas em 4 anos	BIOSANEAMENTO, 2023
ONG Biosaneamento	Soluções divulgadas: Biodigestor Chinês; Sistema IBC (sistema de biodigestor	BIOSANEAMENTO, 2023

	americano, que separa as fases do tratamento em tanques); <i>Homebiogas</i> ; UNIFAM (tratamento de esgoto aeróbica, desenvolvida pela Tigre); Bioete (solução unifamiliar, pré-fabricada pela Biosan, em meio anaeróbio, mas sem aproveitamento de biogás); Banheiro seco (sanitário compostável para comunidades rurais); BET (Bacia de Evapotranspiração, tanque impermeável com diferentes camadas de substratos sobre os quais são plantados espécies vegetais de alta demanda hídrica e crescimento rápido, que devolvem a água para o ambiente pela transpiração das folhas)	
BioMovement	Exemplos de Usos do <i>Homebiogas</i> : Agro (biofertilizante em área rural); Canil (gestão de resíduos); Comunidades (saneamento, energia limpa); Escolas (educação ambiental); Hoteis (gestão de resíduos, compromisso ambiental) e Empresas (energia renovável, gestão de resíduos)	<i>HOMEBIOGAS</i> , 2023
BioMovement	Número de ODS atingidas com o <i>Homebiogas</i> : 13	<i>HOMEBIOGAS</i> , 2023
BioMovement	Impacto Mundial do <i>Homebiogas</i> em 2022: Árvores salvas: 196.547 arvores CO2 mitigado: 124.591 toneladas Horas de Cozinha com biogás: 26.265.765 horas Economia de Água: 134.422 m ³ Reciclagem de Lixo Orgânico: 6.821 toneladas Biofertilizante produzido: 454.278m ³ Biogás produzido: 7.591.216m ³ Escolas com biodigestor: 600	<i>HOMEBIOGAS</i> , 2023

Fonte: elaborado pelos autores, 2023

3.6 Análise dos Dados

Seguindo as recomendações da triangulação de dados de Yin (2015), de combinar metodologias diferentes para analisar um mesmo fenômeno, os dados da pesquisa exploratória, com base em dados secundários (artigos científicos, dados do setor de saneamento no Brasil), foram cruzados com os dados primários coletados nas entrevistas a fim proporcionar a validação da discussão teórica com um exemplo prático, no caso, a instalação do biodigestor da *HOMEBIOGAS* no contexto urbano.

4. Resultados e Discussão

Após ter apresentado no capítulo 2 deste artigo, os dados da pesquisa exploratória sobre os desafios do setor de saneamento básico no Brasil e ter explorado a tecnologia dos biodigestores, quer seja sobre seu funcionamento, seus subprodutos, seus diferentes modelos e custos, esta seção do artigo consiste na apresentação das respostas as entrevistas aplicadas de um caso prático do uso de biodigestor para tratamento de esgoto urbano.

Para cada um dos entes foi aplicado um roteiro prévio, entretanto alguns deles foram complementados com outras perguntas que surgiram durante as entrevistas. As respostas foram transcritas a partir de anotações e gravações parciais das entrevistas de forma indireta pelos autores deste artigo.

4.1 ONG Biosaneamento

O Quadro 6 apresenta uma síntese dos dados primários coletados na ONG Biosaneamento, por meio de entrevista com o presidente da ONG.

Quadro 6 – Síntese da Entrevista – ONG Biosaneamento

Pergunta	Pontos Importantes
Qual o objetivo da ONG	Universalização do Saneamento; Atração de investimentos privados para o setor
Qual é a forma de atuação da ONG?	Parcerias com projetos sociais e empresas privadas; Elaboração de Estudo propositivo de cada comunidade (levantamento não apenas das necessidades de saneamento); Preocupação com todo o ciclo do saneamento, desde o orçamento dos custos, agentes de manutenção, estudo da região, engajamento da sociedade e impacto ambiental
Com base na sua experiência, comente qual o maior desafio do setor de saneamento básico no Brasil	Levantamento confiável da situação do saneamento no país; Os dados oficiais divulgados estão desatualizados; Dados de prestadores públicos, como por exemplo a SABESP, são auto declaratórios e não incluem áreas irregulares como favelas e assentamentos
O que levou a ONG a implantar biodigestores como solução de tratamento de esgoto?	É uma tecnologia social sustentável; Promove o engajamento da comunidade, conscientização ambiental, economia de gás de cozinha, receita com biofertilizantes e promove o compromisso com a manutenção dos sistemas; Países como China e Alemanha produzem energia em escala através de biodigestores;
Com base na sua experiência, comente sobre o papel do uso de biodigestores na resolução do déficit de saneamento básico no país.	Não tem potencial; O modelo da <i>Homebiogas</i> não se aplica quando a densidade populacional é maior; Os riscos principais são de não eliminação dos patógenos dos efluentes e possível contaminação de lençol freático (caso esteja baixo), no momento da manutenção do equipamento após 5 anos de uso Soluções que atendem a demandas domésticas não tem legislação apropriada, apenas as soluções coletivas.

Com base na entrevista com o presidente da ONG Biosaneamento é possível identificar que os desafios para a universalização do saneamento no Brasil, apresentada no item 2.4 desta pesquisa, na qual os estudos de Oliveira *et al* (2023)

levantaram que por dados oficiais há um déficit de cerca de 44% da população, são maiores ainda, devido os dados oficiais não representarem a realidade total do país.

É possível identificar também que apesar do prestador de serviço entrevistado reconhecer as vantagens de tecnologias sustentáveis, a exemplo das indicadas no quadro 5 de dados secundários, principalmente dos biodigestores, devido seu custo baixo, seus subprodutos (biogás e biofertilizante), seu impacto social e potencial uso pontual para o tratamento de esgoto, como já apresentado nos itens 2.1, 2.2 e 2.3 desta pesquisa com destaque para os trabalhos de Oliver *et al* (2008) e Alves *et al* (2010), sobre as características e vantagens da tecnologia e o trabalho de Spindler (2018) sobre a viabilidade do uso para tratamento de esgoto.

Quando a densidade populacional é maior, e não há espaço físico para instalação do tipo de biodigestor a ser implantado, a tecnologia se torna inviável, o que vai de encontro ao resultado do trabalho de Sampaio (2016), que estudou a viabilidade da construção de um biodigestor modelo canadense (modelo mais tradicional, de alimentação contínua ou por batelada, composto de um tanque de alvenaria coberto por uma lona plástica para retenção do biogás) em uma comunidade carente de São Paulo, e concluiu que seria inviável, uma vez que não há como transportar os efluentes até o biodigestor ou distribuir o biogás gerado sem canalização, o que aumentaria demasiadamente os custos.

Além dos pontos importantes apresentados no quadro 6, durante a entrevista foi abordado pelo presidente da ONG Biosaneamento que atualmente o sistema mais usual nos projetos que eles têm feito para comunidades carentes é o sistema separador condominial, sistema que foi apresentado no item 2.5 desta pesquisa, com base no manual de saneamento mais recente da Funasa (2019).

4.2 Biomovement/Homebiogas

O Quadro 7 apresenta uma síntese dos dados primários coletados na *Biomovement*, por meio de entrevista com o gestor ambiental e coordenador de impactos sociais do distribuidor.

Quadro 7 – Síntese da Entrevista – BioMovement

Pergunta	Pontos Importantes
Quais são as opções de produtos comercializadas pela <i>BioMovement</i> ? Comente sobre suas especificações e capacidades?	<p>O biodigestor <i>Homebiogas</i>, nas versões 2.0 (menor) e 7.0 (maior), e o Biotoilet, privada náutica que pode ser acoplada ao biodigestor;</p> <p>O biodigestor é composto por um êmbolo de alimentação da matéria orgânica, tanque anaeróbio (1500L no menor e 2.500L no maior), filtro de ar, gasômetro (700L no menor e 1.500L no maior) e saída para o biofertilizante;</p> <p>Os materiais utilizados são recicláveis, sendo o corpo principal feito em lona externa preta reforçada e outra interna transparente (tanque digestor). A pressão do sistema é feita com sacos de areia inseridos na parte externa do gasômetro;</p> <p>A partir de 4kg (menor) e 10kg (maior) de matéria orgânica tem capacidade de gerar 3h (menor) e 7h (maior) diárias de biogás, equivalente a 1 (menor) e 2,5 (maior) botijão de gás de cozinha convencional por mês.</p>

	<p>A privada náutica consome apenas 1,2L de água a cada uso;</p> <p>O transporte é feito em caixas de 20kg (menor) e 30 kg (maior), e já vem com todas as peças e tubulações, manuais de instalação e manutenção;</p>
Qual o investimento necessário para aquisição dos produtos comercializados pela <i>BioMovement</i> ?	Biodigestores: R\$10.400,00 (menor) e R\$15.400,00 (maior), se acoplados a privada náutica fica R\$16.300,00 (menor) e R\$21.300,00 (maior)
Comente o processo de instalação e ativação dos produtos comercializados pela <i>BioMovement</i>	<p>A montagem pode ser feita em cerca de meio dia de trabalho. Não precisa de mão de obra especializada, as peças são encaixadas e/ou fixadas com ferramentas simples. Deve ser escolhido local com máximo de iluminação (o sistema depende da manutenção da temperatura);</p> <p>O tanque é totalmente preenchido com água e é feita uma carga de esterco de cerca de 150kg (no menor) e 250Kg (no maior), responsável por criar a colônia de bactérias do tanque digestor;</p> <p>O prazo de retenção para início da produção de biogás é de cerca de 15 a 30 dias. Como é um sistema compensado, as novas cargas produzem o equivalente em biofertilizante.</p>
Comente sobre o processo de manutenção dos produtos comercializados pela <i>BioMovement</i>	<p>A manutenção é visual;</p> <p>Não requer mão de obra especializada;</p> <p>Depende de alimentação adequada de matéria orgânica;</p> <p>A recomendação para medição do pH do tanque, que deve ficar na faixa de 6,5 a 7,0. Correções podem ser feitas com adição cítricos (quando acima da faixa) ou bicarbonato de sódio (quando abaixo).</p>
Qual a expectativa de vida dos produtos comercializados pela <i>BioMovement</i> ?	15 anos pelo fabricante (Israel), porém estima-se que no Brasil dure 20 anos, devido o clima tropical, menos cevero.
Comente sobre o processo de descarte dos produtos comercializados pela <i>BioMovement</i>	Cooperativas de reciclagem
Comente como quais são as opções de pós-venda oferecidas pela <i>BioMovement</i>	<p>Tem opção de atendimento em central telefônica, ou regular com visitas técnicas pré-agendadas;</p> <p>Todas as peças são substituíveis e podem ser adquiridas na loja virtual do fabricante;</p> <p>Exemplos de reparo: reparos devido a furo na lona do biodigestor; controle do pH; reforço da colônia de bactérias via pastilhas entre outros.</p>
Comente sobre as principais diferenças entre os produtos da <i>Homebiogas</i> e os modelos tradicionais de biodigestores	<p>Custo mais baixo;</p> <p>Tempo de montagem muito mais rápido;</p> <p>Não exigência de mão de obra especializada;</p> <p>Maior engajamento da comunidade;</p> <p>Possibilidade do uso pedagógico em escolas e centros universitários;</p> <p>Transporte facilitado e conseqüente acesso a regiões mais inóspitas;</p>

	Maior flexibilidade em adaptação de novos usos (ex: instalação em série para gerar energia para aquecedor de água, em planta industrial)
Comente sobre os principais defeitos que os produtos comercializados pela <i>BioMovement</i> apresentaram e como foram solucionados	Devido a alimentação imprópria de matéria orgânica, é frequente o pH do tanque digestor sair da faixa ideal, mas sua correção é fácil (adição de cítricos se muito alcalino ou de bicarbonato de sódio de muito ácido)
Quais são os principais clientes da <i>BioMovement</i> ?	Apesar de usos diversos possíveis (indústrias, hotéis, comunidades, fazendas, escolas etc.), as vendas no varejo são maiores para escolas, devido ao impacto na educação ambiental, e as vendas no atacado são maiores para indústrias, devido o tamanho de suas instalações.

Com base na entrevista com o gestor ambiental da *Biomovement* e os dados secundários do quadro 5, foi possível confirmar também as características e as principais vantagens da tecnologia de biodigestores, já apresentada nos itens 2.1, 2.2 e 2.3 desta pesquisa, com destaque para os trabalhos de Oliver *et al* (2008) e Alves *et al* (2010), desde seu funcionamento, o baixo custo, os subprodutos (biogás e biofertilizante), até seu impacto na educação ambiental, principal cliente no varejo da empresa, o que vai de encontro as conclusões do trabalho de Souza e Miranda (2012) sobre a possibilidade da inserção da tecnologia no ambiente escolar.

Outra análise possível a partir dos pontos importantes da entrevista apresentada no quadro 7, é quanto a diversidade dos modelos dos biodigestores, já abordada no item 2.2 desta pesquisa, com destaque aos trabalhos de Deganutti *et al* (2002) e Oliveira e Assis (2020). Em comparação aos modelos tradicionais, os modelos da *Homebiogas* comercializados pela *BioMovement* no Brasil, são muito inovadores, principalmente em sua simplicidade, o que consegue diminuir ainda mais os custos, o tempo de instalação, facilitar o transporte e a manutenção.

A Figura 7 demonstra o biodigestor da *Homebiogas*, modelo 2.0, nas dependências da sede da *BioMovement* em São Paulo.

Figura 7 – Biodigestor *Homebiogas* 2.0



Fonte: Foto tirada pelos autores no dia da entrevista, 2023

4.3 EMEB em Cajamar

O Quadro 8 apresenta uma síntese dos dados primários coletados em uma EMEB de Cajamar, por meio de entrevista com a diretora da escola.

Quadro 8 – Síntese da Entrevista – EMEB em Cajamar

Pergunta	Pontos Importantes
Após cerca de 6 meses da primeira instalação do biodigestor na escola, quais foram os principais impactos gerados?	Aumento significativo na produção da horta de temperos e árvores frutíferas; Melhora significativa da educação ambiental, frente a vivência prática das crianças; Maior envolvimento das famílias, uma vez que as crianças passaram a trazer matéria orgânica de casa (cascas de frutas)
O que levou a escola adquirir novos biodigestores?	Aumento da produtividade da horta e redução de custos com gás de cozinha convencional (GLP)
Comente como são utilizados os subprodutos do biodigestor na escola, isto é, o biogás e o biofertilizante?	Biofertilizantes nas hortas de temperos e frutíferas; Biogás na cozinha, por cerca de 2 horas diárias é utilizado em 2 bocas do fogão industrial.
Cite, se houver, quais foram as falhas apresentadas pelo biodigestor?	Não houve dano físico ao biodigestor; Houve necessidade de corrigir o pH do tanque digestor através de adição de cítricos.
Em termos de educação ambiental e social, qual a importância dos biodigestores para a escola?	É muito importante na educação ambiental de crianças, familiares e professores; É uma demonstração clara da economia circular, na qual tudo se transforma; Representa um investimento significativo para um futuro com maior responsabilidade ecológica, ambiental, na qual há maior gestão dos resíduos sólidos.

Com base na entrevista com a diretora da EMEB em Cajamar, foi possível notar que o modelo de biodigestor da *Homebiogas* comercializado pela *BioMovement* atende as especificações do fabricante, seja na produção do biogás como do biofertilizante. Também foi possível perceber a facilidade da instalação, manutenção e correção de problemas, como no caso em questão, a correção do pH do tanque digestor com adição de cítricos.

A partir dos pontos importantes da entrevista apresentados no quadro 8, ficou evidente a importância do impacto que a tecnologia tem na educação ambiental quando utilizado no ambiente escolar, o que vai de encontro as conclusões do trabalho de Souza e Miranda (2012), principalmente quanto a importância de vivências práticas na rotina escolar, do engajamento social da tecnologia e da disseminação científica facilitada.

5. Conclusões

Com base na pesquisa exploratória pode-se concluir que os biodigestores são uma tecnologia sustentável de cunho social e baixo custo, que além de auxiliar na gestão de resíduos sólidos, diminuir a poluição de corpos d'água, aumentar a consciência

ambiental e promover o engajamento social, gera benefícios para quem a utiliza, uma vez que seus subprodutos, o biogás e o biofertilizante, geram economia de gastos, por exemplo com gás de cozinha, e receita com a venda do biofertilizante ou aumento da produtividade das hortas, devido ser um adubo orgânico de alta qualidade. Além de mostrar-se viável para o tratamento de efluentes urbanos.

Sobre os desafios para a universalização do saneamento no país conclui-se que a resolução dos problemas de saneamento básico no Brasil é um problema complexo que exige engajamento da comunidade, dos prestadores de serviço e entes do governo. Entretanto com base em dados oficiais, para atingir a meta de universalização do saneamento até 2033, estabelecida pelo novo marco legal do país, seriam necessários que os investimentos anuais nesse setor mais do que dobrassem, e que houvesse uma maior agilidade nos processos burocráticos e legais em todo país.

Notou-se também que a solução tradicional mais predominante no território nacional, o sistema separador convencional, além de ter custos elevados é um sistema ineficiente, devido a falta do controle de lançamentos clandestinos de águas pluviais, que acaba por sobrecarregar as estações de tratamento de esgoto.

Em síntese com o estudo de caso proposto, conclui-se que, no contexto do fornecedor/distribuidor, a tecnologia da *Homebiogas* comercializada no Brasil pela *BioMovement*, é bastante inovadora em relação aos biodigestores tradicionais, não apenas pelo custo baixo, manutenção facilitada, flexibilidade de adaptação a diferentes usos, mas também por seu fácil transporte, fácil instalação e, principalmente, pelo caráter social e educacional da tecnologia.

No contexto do cliente final, foi possível perceber que os benefícios prometidos pelo fornecedor realmente funcionam na prática, quer seja na produção e aplicação do biogás ou do biofertilizante, e os problemas com a manutenção do equipamento são mínimos e facilmente corrigidos. Ficou claro o impacto social da tecnologia, principalmente quanto a educação ambiental possibilitada para as crianças, pais e professores, embora a escola não utilize o biodigestor como sistema alternativo de tratamento de esgoto, pois é alimentado apenas como restos vegetais ou esterco.

Por fim com base na entrevista com o presidente da ONG Biosaneamento, do ponto de vista do prestador de serviço, foi levantado alguns problemas do uso deste biodigestor específico (*Homebiogas*) para tratamento de esgoto urbano, principalmente quando a densidade populacional é alta. Por exemplo, em contrapartida a facilidade na instalação, o biodigestor da *Homebiogas* ocupa um espaço considerável, mas no contexto urbano de elevada densidade populacional a destinação de espaços de 3 a 4 m² a cada 3 famílias é limitadora.

Com base no estudo de caso, conclui-se que os biodigestores são uma tecnologia sustentável e de cunho social e podem ser utilizados como soluções individuais/descentralizadas e **pontuais** no tratamento de esgoto urbano, em geral possuem diversas aplicações, seja em indústrias e grandes produtores de matéria orgânica, como centros de distribuição de alimentos, produtores rurais e restaurantes, seja como instrumento prático para iniciativas educacionais, afinal, não é possível alcançar mudanças estruturais nos sistemas de saneamento básico brasileiro sem engajamento social e consciência ambiental.

Apesar disso, os biodigestores estudados **não têm a capacidade técnica** para tratar esgoto urbano quando a densidade populacional é alta.

Com isso, conclui-se que os objetivos gerais e complementares propostos foram todos atendidos, desde as definições teóricas do biodigestor, seus aspectos tecnológicos (funcionamento e diferentes tipos), financeiros (custo mínimo de execução e manutenção comparado a outras soluções tradicionais, economia de custos e geração de renda da venda de seus subprodutos) e ecológicos (impacto ambiental e social) até o estudo de caso prático, no qual identificou-se que a tecnologia investigada não tem capacidade técnica para tratamento de esgoto em locais de alta densidade populacional.

A partir dessas conclusões os autores desse trabalho propõem estudos futuros de melhorias tecnológicas para as estações de tratamento de esgoto atuais, como por exemplo a viabilidade de usinas de biogás, nos quais o efluente pode ser canalizado até a usina, uma vez que o potencial sustentável dessa tecnologia ficou evidente.

6. Referências Bibliográficas

ALVES, Elton Eduardo Novais *et al.* Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável, Universidade Federal de Viçosa/MG. 2010

ARRUDA, Mariliz H. *et al.* Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, ano I, n. 2, 2002.

BIOSANEAMENTO. **Sobre a Biosaneamento**. Disponível em: < <https://associacaobiosaneamento.org/sobre/> >. Acesso em outubro de 2023.

COELHO, Suani Teixeira *et al.* Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente do Tratamento de Esgoto. In: Encontro de Energia no Meio Rural, **An. 6**, Campinas, SP, 2006.

DEGANUTTI, Roberto *et al.* Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: Encontro de Energia no Meio Rural. **An. 4**. Bauru, SP: Departamento de Artes e Representação Gráfica. FAAC - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, UNESP - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, 2002

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS**, Disponível em: < <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> >. Acesso em outubro de 2023.

Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Manual de Saneamento**, 5ª edição, Brasília, 2019.

HOME BIOGÁS. **Sobre a HomeBiogas**. Disponível em: < <https://www.homebiogas.com.br/sobre-a-homebiogas> >. Acesso em outubro de 2023.

LERMONTOV, Andre e GOMES, Marcio Sales. **Saneamento Sustentável em Comunidades com uso de Biosistemas**. Grupo Águas do Imperador, 2008.

MATTAR, Fauze Najib. **Pesquisa de marketing: edição compacta**. São Paulo: Atlas, 1996. Acesso em outubro de 2023.

OLIVEIRA, Sandilla Santana e ASSIS, Rita de Cassia Teixeira. O uso de biodigestores como alternativa ao tratamento do esgoto doméstico em comunidades carentes. **Revista Portos: por um mundo mais sustentável**, v.1, n. 12, p. 9-17, 2020.

OLIVEIRA, Gesner *et al.* **Estudo sobre os Avanços do Novo Marco Legal do Saneamento Básico no Brasil – 2023 (SNIS 2021)**. Go Associados e Instituto TRATA Brasil, Julho, 2023.

OLIVER, André de Paula Moniz *et al.* **Manual de Treinamento em Biodigestão**. Instituto Winrock Brasil, Fevereiro, 2008.

PIOVESAN, Armando e TEMPORINI, Edméa Rita. Pesquisa Exploratória: procedimento metodológico para estudo de fatores humanos no campo da saúde pública. **Revista de Saúde Pública da Universidade de São Paulo**, vol. 29, p.318-25, 1995.

SAIKI, Camila e SILVA, Álvaro Bittencourt Henrique. **Geração de energia elétrica com a utilização de biodigestores de esgoto sanitário e seu impacto na economia e no meio ambiente dentro do contexto de uma cidade sustentável**. Brasília, 2018. Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e Pesquisa.

SAMPAIO, Juliana Porto. **Avaliação das Tecnologias de Tratamento de Esgoto Sanitário Tanque Séptico, Filtro Biológico, Biodigestor e Banheiro Seco em Comunidades Desprovidas de Serviço de Saneamento Básico**. Rio Claro, 2016. Trabalho de Formatura, Universidade Estadual Paulista.

SEIXAS, Jorge, FOLLE, Sérgio e MARCHETTI, Delmar. **Construção e Funcionamento de Biodigestores**. Circular Técnica nº 4, EMBRAPA, Janeiro de 1981.

SHARMA, Hari Bhakta *et al.* *Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery*. **Science of the Total Environment** **800**, n. 149605, 2021.

SILVA, Mycheel Ferreira. **Sistema de geração de energia de baixo custo em uma comunidade rural: biodigestor anaeróbio uma proposta de tecnologia social**. Cuiabá-MT, 2020. Trabalho de Conclusão de Curso de Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação da Universidade Federal de Cuiaba.

SOUZA, Marcia Regina do N. e MIRANDA, Antonio Carlos. Protótipo de Biodigestor: Inserção na Temática Ambiental na Escola. **Revista do Fórum Ambiental da Alta Paulista**, vol. 8, n. 6, 2012.

SPINDLER, Kader Soares. Os benefícios da utilização de biodigestores no Tratamento de Efluentes Oriundos do Esgoto Doméstico: Uma Ferramenta para Gestão Ambiental. **Revista Educacional Interdisciplinar**, v7, n1, 2018.

TRATA BRASIL. **Painel Saneamento Brasil**. Disponível em: <
<https://www.painelsaneamento.org.br/explore/ano?SE%5Ba%5D=2021&SE%5Bo%5D=a>>. Acesso em outubro de 2023.

YIN, Robert. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre. Bookman. 2ª edição, 2015.