

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS ARAPIRACA
CURSO DE AGRONOMIA

JOÃO LUCENA DE DEUS FILHO

**BIODIGESTORES: UMA ALTERNATIVA PARA REDUZIR A CONTAMINAÇÃO
DAS ÁGUAS PELO ESGOTO**

ARAPIRACA
2023

JOÃO LUCENA DE DEUS FILHO

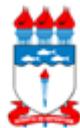
BIODIGESTORES: UMA ALTERNATIVA PARA REDUZIR A CONTAMINAÇÃO DAS
ÁGUAS PELO ESGOTO

Monografia apresentada ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, como requisito parcial, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Beserra Galvão.

ARAPIRACA

2023



Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus Arapiraca
Biblioteca Campus Arapiraca - BCA

D486b Deus Filho, João Lucena de
Biodigestores: uma alternativa para reduzir a contaminação das águas pelo esgoto / João Lucena de Deus Filho. – Arapiraca, 2023.

39 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Beserra Galvão
Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, *Campus Arapiraca*, Arapiraca, 2023.
Disponível em: Universidade Digital (UD) – UFAL (*Campus Arapiraca*).
Referências: f. 35-39.

1. Biodigestores 2. Esgotos - Aspectos ambientais 3. Águas residuais I. Galvão, André Luiz Beserra II. Título.

CDU 63

JOÃO LUCENA DE DEUS FILHO

BIODIGESTORES: UMA ALTERNATIVA PARA REDUZIR A CONTAMINAÇÃO DAS
ÁGUAS PELO ESGOTO

Monografia apresentada ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Alagoas, *Campus* Arapiraca, como requisito parcial, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Agronomia.

Data de 28 de agosto de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 RICARDO BRAINER MARTINS
Data: 18/09/2023 20:29:53-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Orientador: Prof. Dr. André Luiz Beserra Galvão
Universidade Federal de Alagoas
Orientador

Documento assinado digitalmente
 DANIELA CAVALCANTI DE MEDEIROS FURTADO
Data: 19/09/2023 20:17:27-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Brainer Martins
Universidade Federal de Alagoas
Examinador

Documento assinado digitalmente
 DANIELA CAVALCANTI DE MEDEIROS FURTADO
Data: 19/09/2023 20:17:27-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Ma. Daniela Cavalcanti de Medeiros Furtado
Universidade Federal de Alagoas
Examinadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me mantido na trilha certa durante todo o curso, com saúde e força para chegar até o final.

Sou grato à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida e entenderam a minha ausência nos momentos em que não pude estar presente.

Quero agradecer a todos os professores desta instituição por todo ensinamento transmitido para minha vida profissional e pela elevada qualidade do ensino oferecido.

Em especial, deixo meu agradecimento ao Professor André Luiz Beserra Galvão por ter desempenhado a função de orientador com muita excelência, competência e compreensão. Por todo incentivo e dedicação para a realização do meu trabalho de conclusão de curso.

RESUMO

Atualmente as atividades humanas juntamente com a agropecuária geram resíduo que muitas vezes não são lançados na natureza sem os devidos fins. O esgoto doméstico é uma realidade no Brasil, visto que muitas mortes ocorrem por água contaminada. Discutir se a utilização de biodigestores é uma solução eficaz para reduzir a contaminação das águas pelo esgoto. Ressalta-se que o problema da contaminação dos rios, córregos e mananciais por despejos sempre foi e continua sendo um problema atual na maioria da população. Uma alternativa para este problema é a criação de um sistema alternativo que seja eficaz para mitigar ou até mesmo acabar com o despejo de dejetos orgânicos em fontes de recursos hídricos. Como proposta metodológica foi utilizada como instrumento de pesquisa, a revisão bibliográfica de literatura. Os resultados nos permitiram uma reflexão sobre o quão a utilização de biodigestores é importante para combater a poluição do ambiente e a contaminação da água.

Palavras-chave: esgoto doméstico; tratamento de esgotos; saneamento básico.

ABSTRACT

Currently, human activities along with agriculture and livestock generate waste that is often not released into nature without due purposes. Domestic sewage is a reality in Brazil, as many deaths occur from contaminated water. Discuss whether the use of biodigesters is an effective solution to reduce water contamination by sewage. It should be noted that the problem of contamination of rivers, streams and springs by dumping has always been and continues to be a current problem for the majority of the population. An alternative to this problem is the creation of an alternative system that is effective in mitigating or even ending the discharge of organic waste into water sources. As a methodological proposal, a bibliographical review of the literature was used as a research instrument. The results allowed us to reflect on how important the use of biodigesters is to combat environmental pollution and water contamination.

Keywords: Domestic sewage. Sewage treatment. Basic sanitation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resíduos sólidos agrícolas por região no Brasil	
Figura 2 - Situação da coleta e do tratamento de esgoto	18
Figura 3 - Biodigestor PE-02	26
Figura 4 - Leito de secagem – utilização de biodigestor	27
Figura 5 - O esgoto tratado e descartado pela tubulação de saída.....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	METODOLOGIA	09
3	REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1	GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	10
3.2	TRATAMENTO DE RESÍDUOS	12
3.3	BIODIGESTORES	21
3.4	ESTUDO DE CASO	29
4	RESULTADOS	32
5	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS	35

1 INTRODUÇÃO

A utilização de biodigestores como uma alternativa eficaz na redução da contaminação das águas pelo esgoto apresenta uma grande importância, pois o saneamento básico é um direito humano (CALSA; LIMA, 2015).

No Brasil, é um direito assegurado pela Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 e pela Lei nº 11.445 de 2007 – Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Segundo Trata Brasil estima-se que somente cerca de 45% dos esgotos do Brasil são tratados (TRATA BRASIL, 2018).

Partindo dessa premissa, a falta de acesso a um tratamento de esgoto adequado causa impactos à saúde pública e ao desenvolvimento econômico das populações de comunidades que não possuem tratamento de efluentes. Dentro destas populações, de acordo com o estudo pelo instituto Trata Brasil no ano de 2018, os indivíduos mais afetados são mulheres, crianças e idosos, residentes nas periferias urbanas e com baixo poder aquisitivo.

Contudo, o sistema de tratamento de esgotos por biodigestores é uma realidade em vários países, que também passam por situações de intensos processos de urbanização desordenada e crescimento populacional e que adotam o método devido a sua fácil viabilidade de construção e como alternativa para o tratamento de esgoto (ARNAUTH, 2021).

À *priori*, a pesquisa justifica-se pela importância da população utilizar biodigestores no tratamento de esgotos para a qualidade do todo devido ao déficit de tratamento de esgoto no Brasil. E, por essa razão, o tema desperta uma atenção diante da baixa quantidade de pessoas que utilizam este equipamento indispensável no tratamento da água. Partindo dessa premissa, tem-se a seguinte problemática: os biodigestores são uma solução eficaz no tratamento de esgotos?.

Nessa perspectiva, o objetivo geral do trabalho é fazer uma revisão de literatura sobre a importância e eficácia do biodigestor na redução de contaminação das águas pelo esgoto.

2 METODOLOGIA

Para obter resultados e respostas acerca do problema apresentado, o percurso metodológico foi uma pesquisa bibliográfica orientada, através de estudos e pesquisas partindo de livros, teses, artigos científicos que versam sobre a temática em questão, dissertações, dados, e monografias, nos sites de pesquisas acadêmicas, tais como: Scielo, Google Acadêmico, Lilacs, Repositório, e BVS, com as palavras chaves: biodigestor, doenças, e tratamento de água. A escolha de tais palavras justifica-se nas principais informações apresentadas neste trabalho.

A pesquisa ocorreu de forma qualitativa.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS

Todos os processos geram resíduos, desde o mais elementar processo metabólico de uma célula até o mais complexo processo industrial. A geração de resíduos no mundo, de uma forma geral, deve ser vista tanto pela quantidade gerada como pela sua diversidade, e ela representa desperdício de matéria-prima e energia, bem como degradação e poluição ambiental (GASPAR, 2013). Neste sentido, a produção de resíduos sólidos tem-se apresentado inevitável.

Dessa forma, importante lembrar que a geração de resíduos é uma preocupação significativa em vários setores, no qual está incluso a agricultura e a produção de alimentos.

Assim, a agricultura gera uma variedade de resíduos, incluindo resíduos orgânicos (restos de colheitas, estrume animal), resíduos inorgânicos (embalagens plásticas, materiais de cultivo), resíduos químicos (produtos químicos agrícolas expirados) e resíduos relacionados à pecuária (estrume, dejetos animais) (ALVES, 2015).

Diante disso, ressalta-se que a má gestão dos resíduos agrícolas pode ter impactos negativos no meio ambiente. Por exemplo, a queima de resíduos agrícolas pode liberar poluentes atmosféricos, contribuindo para a poluição do ar. Deste modo, a decomposição inadequada de resíduos orgânicos pode levar à produção de gases de efeito estufa, como o metano. Além disso, a contaminação de solos e recursos hídricos por produtos químicos agrícolas é uma preocupação relevante (ALVES, 2015).

Segundo Mariana Alves (2015), no que se refere à reciclagem e reuso, em muitas situações, os resíduos agrícolas podem ser reciclados ou reutilizados de forma benéfica. Por exemplo, o composto orgânico pode ser produzido a partir de resíduos vegetais e animais, enriquecendo o solo com nutrientes. A utilização de embalagens plásticas e materiais de cultivo recicláveis também é uma prática importante para reduzir a quantidade de resíduos inorgânicos.

Por outro lado, a agricultura moderna tem adotado várias tecnologias de tratamento de resíduos mais sustentáveis, tais como: a compostagem, a biodigestão e outras técnicas, por exemplo, a incineração que consiste na queima do lixo ou

resíduo em fornos desenvolvidos especificamente para essa finalidade. de conversão de resíduos em energia ou fertilizantes são cada vez mais utilizadas para minimizar os impactos negativos (ORTH; BALDIN, 2019).

Segundo Heliana Campos (2020) muitos países têm implementado regulamentações para controlar a geração e a gestão de resíduos agrícolas, inclusive no Brasil. Isso inclui diretrizes para a coleta, transporte, armazenamento e descarte adequado de resíduos, além de promover práticas mais sustentáveis na agricultura.

Nesta seara, importante ressaltar sobre a educação e conscientização na geração de resíduos, pois, é um campo de suma importância, tendo em vista que a sensibilização dos agricultores e das comunidades rurais sobre esta temática é fundamental. A promoção de boas práticas agrícolas e o uso responsável de produtos químicos pode reduzir a quantidade de resíduos gerados (CAMPOS, 2020).

Nesse contexto, é possível vislumbrar que com o crescimento da população global e as mudanças nos padrões de consumo, a geração de resíduos continuará sendo um desafio. A população precisa encontrar maneiras mais eficientes e sustentáveis de se relacionar com o seu ambiente minimizando a produção de resíduos (CAMPOS, 2020).

Em outras palavras, os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são aqueles gerados nas cidades e áreas urbanas. Isso inclui resíduos domésticos, comerciais e públicos. A quantidade de RSU gerada no Brasil é significativa devido à sua população e ao estilo de vida urbano. A gestão adequada desses resíduos é essencial para evitar problemas ambientais e de saúde pública (CAMPOS, 2020).

O Brasil tem a Política Nacional de Resíduos Sólidos que é Lei nº 12.305 de 2010, que estabelece diretrizes para a gestão e o gerenciamento de resíduos em todo o país. A lei promove a redução, reutilização, reciclagem e disposição adequada dos resíduos.

Dessa forma, apesar dos desafios, a reciclagem e a reutilização de resíduos têm ganhado importância no Brasil. Existem cooperativas e empresas que se dedicam à coleta seletiva e à reciclagem de materiais, como plástico, papel, vidro e metal. No entanto, a taxa de reciclagem ainda precisa melhorar para lidar efetivamente com a quantidade de resíduos gerados (MORENO, 2023).

Nesse delineamento, a geração excessiva de resíduos, a falta de infraestrutura adequada de tratamento e disposição, a falta de conscientização da população e a necessidade de investimentos são alguns dos principais desafios enfrentados na gestão de resíduos no Brasil (MORENO, 2023).

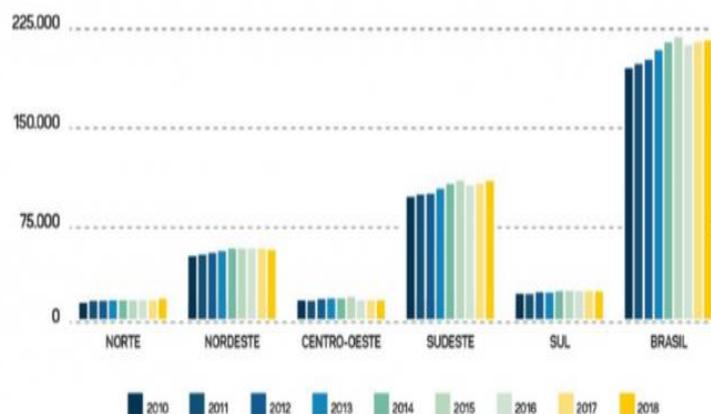
De acordo com os dados divulgados pela Rádio Agência em 2023, por Sayonara Moreno, o país tem buscado soluções inovadoras, como a implementação de aterros sanitários controlados, a geração de energia a partir do biogás de aterros, a promoção da economia circular e o estímulo à pesquisa e desenvolvimento de tecnologias sustentáveis.

3.2 TRATAMENTO DE RESÍDUOS

Sabe-se que os indivíduos produzem resíduos, e isso faz parte da vida desde o início dos séculos, por volta de 10 mil anos a.C., quando começaram a viver em comunidades, a produção de resíduos sólidos tem crescido. Com o passar dos anos as cidades foram se desenvolvendo e algumas delas acabaram criando políticas sanitárias, porém para muitas outras a ação para com a questão dos resíduos sólidos teve seu início apenas quando este se tornou um problema sanitário, trazendo perigo à coletividade (DEUS; SILVA, 2015).

Nesta linha, importante trazer o seguinte gráfico entre os anos 2010 a 2018. Vejam-se:

Figura 1 - Resíduos sólidos agrícolas por região no Brasil



Fonte: Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2011 a 2018 (ano-base 2010 a 2018)

Fonte: <https://gazetadetoledo.com.br/plano-nacional-de-residuos-solidos-determina-encerramento-de-todos-lixoes-ate-2024/>. (GAZETA, 2022).

Através dos dados publicados, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) estabelece o encerramento de todos os lixões do Brasil até o ano de 2024. A promessa de tal encerramento é desde 2010, o documento realizado pelo Decreto nº 11.043 de 2022 faz diagnósticos da situação do país e traz inúmeros objetivos, e orientações para modernizar a gestão de resíduos sólidos e para que sejam colocadas em prática todas as regras previstas na Lei nº 12.305 de 2010.

Nessa perspectiva, destacam-se os objetivos da Lei nº 12.305 de 2010, no capítulo II, arts. 6º e 7º:

Art. 6º - São princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - a prevenção e a precaução;

II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;

III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

IV - o desenvolvimento sustentável;

V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;

VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;

IX - o respeito às diversidades locais e regionais;

X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;

XI - a razoabilidade e a proporcionalidade.

Art. 7º São objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;

II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;

VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

VII - gestão integrada de resíduos sólidos;

VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;

IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;

X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, com adoção de mecanismos gerenciais e econômicos que assegurem a recuperação dos custos dos serviços prestados, como forma de garantir sua sustentabilidade operacional e financeira, observada a Lei nº 11.445, de 2007;

- XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:
 - a) produtos reciclados e recicláveis;
 - b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
- XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
- XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;
- XV - estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável. (BRASIL, 2010).

A água é uma das substâncias mais comuns que há na natureza capaz de cobrir cerca de 70% da superfície do planeta. Para Couto *et. al.* 2015 será necessário o melhor aproveitamento dos recursos hídricos.

Frente a isso, a água é, provavelmente, o único recurso natural que possui envolvimento com todos os aspectos humanos, desde a utilização em indústrias e o desenvolvimento de atividades agrícolas aos valores culturais e religiosos da sociedade. Sendo assim, a água é um recurso natural indispensável, seja como componente bioquímico de seres vivos, como meio de vida de várias espécies vegetais e animais, como elemento representativo de valores sociais e culturais e até como fator de produção de vários bens de consumo final e intermediário (PACHOAL, 2012).

Em uma visão histórica, até meados do século XX, a qualidade da água para consumo humano era avaliada essencialmente por meio das suas características organolépticas, tendo como base o senso comum de que se apresentasse límpida, agradável ao paladar e sem odor desagradável.

Ocorre que, esse tipo de avaliação foi se revelando falível em termos de proteção contra microrganismos patogênicos e contra substâncias químicas perigosas presente na água. Tornou-se, assim, imperativo determinar normas paramétricas que traduzissem, de modo objetivo, as características que águas destinadas ao consumo humano deveriam obedecer (MENDES, 2006).

Por este viés, a Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde dispõe que:

Os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Segundo essa norma, toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita a vigilância da qualidade da água. São

designados valores máximos permitidos (VMP) para cada parâmetro de qualidade da água de consumo humano (BRASIL, 2011).

No mesmo sentido, o art. 7º da referida Portaria estabelece a seguinte redação:

Compete à Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS/MS) promover e acompanhar a vigilância da qualidade da água para consumo humano, em articulação com as Secretarias de Saúde dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios e respectivos responsáveis pelo controle da qualidade da água (BRASIL, 2011).

Além disso, em seu art. 11, § 5º a norma determina às Secretarias de Saúde dos Municípios “garantir informações à população sobre a qualidade da água para consumo humano e os riscos à saúde associados”.

Importante lembrar que a água, devido às suas propriedades de solvente e à sua rapidez de transportar partículas, incorpora a si várias sujeiras, que definirão sua qualidade. Esta qualidade é resultante de fenômenos naturais e da atuação do homem (GASPAR, 2013).

Por este viés, de modo geral, pode-se dizer que a qualidade de uma água é função das condições naturais e da interferência dos seres humanos.

Todavia, as características físicas, químicas e biológicas das águas naturais são consequências de uma série de processos que acontecem no corpo hídrico e na bacia hidrográfica, como decorrência das capacidades de dissolução de uma ampla gama de substâncias e de transporte pelo escoamento superficial e subterrâneo (SPERLING, 2017).

Dessa forma, compreende-se que a qualidade da água é estabelecida devido a situações naturais, como o contato com impurezas, substâncias e partículas do solo por meio da infiltração e escoamento da água pluvial. Alterações antrópicas, como a utilização de fertilizantes e agrotóxicos, e a produção de resíduos domésticos e industriais, visto que podem ser introduzidos à água.

Portanto, a água é muito valiosa em todos os âmbitos, na produção de energia das hidrelétricas e usinas nucleares, para a produção industrial de bens de consumo, tais como: alimentos, medicamentos, matérias, e vários outros, é fundamental ao desenvolvimento econômico de um país. Também é de grande importância para a manutenção de ecossistemas.

Neste âmbito, de acordo com Portela (2020, p. 16) a poluição das águas pode ser conceituada como sendo “a adição de substâncias ou de formas de energia que,

direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal que prejudique os legítimos usos que dele são feitos".

Segundo a Lei Federal nº 6.938 de 1981, que determina da Política Nacional de Meio Ambiente, estabelece o conceito de poluição da seguinte forma:

Poluição a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; e lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos. (BRASIL, 1981).

Dessa forma, é possível compreender que a referida legislação específica, define poluição de um modo amplo e formal. Deste modo, é possível vislumbrar que a contaminação é conceituada como a presença de seres patogênicos ou concentrações elevadas de alguma substância no ambiente, sem modificar as relações ecológicas no ambiente.

Ao passo que a poluição é uma modificação ecológica que é provocada pelo indivíduo, prejudicando os recursos naturais, causando perigo para a saúde humana, impedindo as atividades marítimas ou afetando a qualidade da água do mar (PORTELA, 2020).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) tem o conceito de água poluída como aquela que passa por inúmeras alterações em sua composição até ficar inutilizável. Ademais, de acordo com os estudos, a água poluída é uma fonte de insalubridade que provoca mais de 500.000 (quinhentos mil) mortes por ano a nível global por diarreia e transmite doenças como cólera, disenteria, febre tifoide e poliomielite (FOGAÇA, 2019).

Neste sentido, importante ressaltar que as principais causas de poluição da água são as bactérias, os fertilizantes, os pesticidas, os medicamentos, os nitratos, os fosfatos, os plásticos, os vírus, os parasitas, os resíduos fecais e até mesmo as substâncias radioativas. Assim, tais elementos nem sempre tingem a água, de tal forma que a poluição hídrica é invisível muitas vezes. Diante disso, utilizam-se análises químicas de pequenas amostras e organismos aquáticos para saber o estado da qualidade da água (FOGAÇA, 2019).

Nessa perspectiva, a poluição da água pode ocorrer de maneira pontual ou difusa. Frente a isso, de maneira pontual acontece no momento em que a fonte

poluente chega ao corpo receptor de modo concentrado no espaço, como a descarga de esgoto doméstico por meio de uma canalização, em determinado ponto do rio. Ao passo que se diz maneira difusa, aquele referente ao poluente ao longo da extensão do corpo hídrico, como o carregamento de poluentes pela drenagem pluvial natural.

Todavia, em relação às fontes poluidoras, elas podem ser tanto por lançamento de esgotos domésticos e industriais, por fontes naturais como por dissolução de minerais, pode ocorrer por águas de áreas agrícolas, entre outros. Logo, sua incidência no corpo hídrico depende, também, dos pressupostos do local como a geografia, o uso do solo, a ocupação do território, as condições sócio-econômicas, entre outras características da bacia como mencionado no tópico anterior (PORTELA, 2020).

À *priori*, é necessário, para analisar os impactos da poluição, quantificar as cargas poluentes que chegam ao corpo d'água. Para isso, devem ser realizadas amostragens do corpo hídrico em questão, análises laboratoriais, medições de vazão e medições em campo. Também devem ser feito um levantamento dos dados físicos da bacia, de suas características socioeconômicas, do comportamento hidráulico e usos do corpo hídrico, seus requisitos de qualidade, localização, entre outros aspectos que possam influenciar no diagnóstico da poluição do ambiente.

Portanto, essa quantificação de poluentes, segundo Souza (2018), deve ser feita em termos de carga, a qual é expressa em massa por unidade de tempo. A carga pode ser calculada por diversas técnicas. O lançamento de substâncias físicas e químicas na água é potencialmente prejudicial para a vida aquática de animais e plantas.

A preocupação com saneamento, ao longo da história, esteve quase sempre relacionada à transmissão de doenças. Entretanto, o crescimento acelerado da população mundial e do parque industrial, o consumo excessivo, o consequente aumento na produção de resíduos e o descarte irresponsável desses resíduos no meio ambiente têm levado a uma preocupação mais abrangente: a escassez dos recursos naturais.

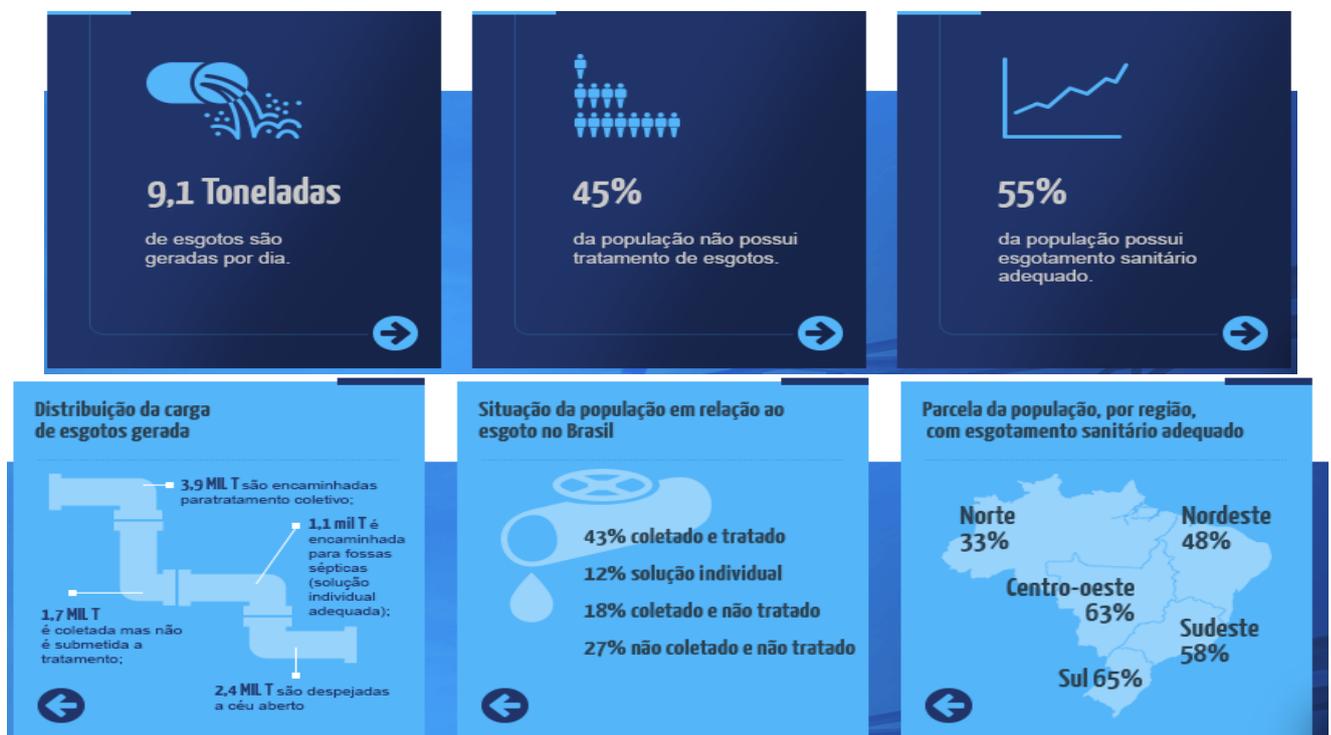
Segundo as informações coletadas pelo Atlas Esgotos (2017), a análise da situação do esgotamento sanitário nas 5.570 cidades brasileiras e dos impactos do lançamento dos esgotos nos rios, lagos e reservatórios do País.

Nessa perspectiva, como vários municípios não têm tratamento de esgotos adequado ou sequer disponibilizam o serviço para sua população, o lançamento desses efluentes nos corpos hídricos comprometem a qualidade e as utilizações das águas, causando implicações danosas à saúde pública e ao equilíbrio do meio ambiente (ATLAS, 2017).

Neste âmbito, para evitar riscos ao ecossistema e à saúde da população brasileira que sofre com a ausência de tratamento de esgotos apropriado, foi realizada a pesquisa Atlas Esgotos (2017) que mostra o cenário atual, analisa dados e propõe ações e uma estratégia para investimentos em esgotamento sanitário com o horizonte de até o ano de 2035.

Ainda de acordo com as informações obtidas pelo Atlas Esgotos (2017), no Brasil, 43% da população têm esgoto coletado e tratado e 12% utilizam-se de fossa séptica (solução individual), ou seja, 55% possuem tratamento adequado, 18% têm seu esgoto coletado e não tratado, o que pode ser considerado como um atendimento precário, e 27% não possuem coleta, nem tratamento, isto é sem atendimento por serviço de coleta sanitário. A seguir, verifica-se a situação da coleta e do tratamento de esgoto:

Figura 2 - Situação da coleta e do tratamento de esgoto



Fonte: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/> (MORENO, 2023).

Diante disso, vislumbra-se que dispor o esgoto sem o adequado tratamento compromete a qualidade da água nas áreas urbanas, causando impacto na saúde da população, além de dificultar o atendimento de usos a jusante, como abastecimento humano, balneabilidade, irrigação, dentre outros.

Outrossim, a carência de saneamento básico possui impacto bastante relevante na vida dos seres humanos. A falta dos serviços traz inúmeras complicações não somente para a saúde, mas também para a economia, a educação e outros setores.

Sem sombra de dúvidas a propagação de doenças é uma das consequências mais graves causadas pela falta de saneamento básico. Geralmente, as enfermidades estão completamente relacionadas ao contato com a água poluída ou contaminada, seja pela falta de abastecimento de água potável ou de coleta e tratamento do esgoto.

Em uma pesquisa realizada pelo IBGE (2020), a ausência de saneamento básico no Brasil, foi responsável pela morte de pelo menos 135 (cento e trinta e cinco) mil pessoas durante os anos 2008 e 2019. O que dá uma média de 11,2 mil por ano.

Tais dados constam no Atlas do Saneamento, divulgado pelo IBGE, revelando que as DRSAI (Doenças Relacionadas ao Saneamento Ambiental Inadequado) foram responsáveis por 0,9% de todas as mortes do país no período. As DRSAIs tiveram participação em 21,7% do total de óbitos no período quando especificadas apenas as doenças infecciosas e parasitárias. Os maiores percentuais, diz o estudo, foram verificados nas regiões Centro-Oeste (42,9%) e Nordeste (27,1%) (IBGE, 2020).

Nesta seara, importante trazer os seguintes dados obtidos pelo IBGE, e publicados no site do Atlas do Saneamento (2020) de óbitos a cada ano:

Tabela 1 - Número de óbitos a cada ano e porcentagem de óbitos no país

Ano	Óbitos	Porcentagem de óbitos no país
2008	12.290	1,1%
2009	11.197	1%
2010	11.739	1%

2011	10.779	0,9%
2012	10.505	0,9%
2013	11.394	0,9%
2014	10.508	0,9%
2015	11.141	0,9%
2016	11.756	0,9%
2017	11.352	0,9%
2018	10.926	0,8%
2019	11.394	0,8%

Fonte: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/atlas/tematicos/16365-atlas-de-saneamento.html>. (2020).

De acordo com os dados, entre os anos 2008 e 2019, foram notificados 11,9 milhões de casos de DRSAI no Brasil, com 4,9 milhões de internações no SUS (Sistema Único de Saúde). Além das doenças campeãs em morte, outras aparecem em seguida, porém com diferenças regionais marcantes:

- Dengue, zika e chikungunya foram à terceira causa de óbitos nas regiões Sudeste e Centro-Oeste;
- As leishmanioses aparecem mais na região Norte;
- A esquistossomose no Nordeste;
- A leptospirose no Sul.

Assim sendo, é possível notar o quão é importante o saneamento básico para a saúde da população no Brasil, pois das mortes relacionadas à falta de saneamento no país entre 2008 e 2019, 84 mil óbitos foram de idosos com 60 anos ou mais. Ainda segundo o documento:

A reduzida abrangência da coleta de esgoto determina que o principal tipo de poluição ou contaminação identificada na captação de água doce tenha sido exatamente por esgoto sanitário. Uma das causas é a falta de investimento no setor de saneamento básico, o que compromete a qualidade da água distribuída e a eficiência da rede de distribuição, com prejuízos ao meio ambiente e à saúde pública (IBGE, 2020, p. 45).

[...]

Os sistemas de saneamento apresentam grandes desigualdades entre países e continentes e o sul global que, em grande medida, corresponde à porção tropical do planeta, têm as maiores proporções de populações expostas a fontes de águas inseguras e falta de esgotamento sanitário, enfrentando epidemias de doenças infecciosas. (IBGE, 2005, p. 41).

Neste sentido, o saneamento básico consiste em serviços que tem como objetivo aperfeiçoar as condições de vida da coletividade como um todo, preservar a saúde e ao mesmo tempo, o meio ambiente. Além de ajudar na prevenção de moléstias, que conseqüentemente melhora a qualidade de vida. Contudo, apesar dos fatores positivos que ele pode oferecer, a ausência de água tratada em várias regiões pode facilitar o surgimento de muitas doenças entre diversos outros problemas.

Por fim, em um contexto geral, a Organização Mundial da Saúde (OMS), afirma que a cada ano, a água insegura ou de qualidade inadequada e ausência de saneamento e higiene causam aproximadamente 3,1% de todas as mortes, isto é, a morte de praticamente 1,7 milhões de pessoas em todo o mundo.

3.3 BIODIGESTORES

Os biodigestores consistem em equipamentos herméticos e impermeáveis dentro dos quais se deposita material orgânico para fermentar anaerobicamente, ou seja, sem a presença de ar atmosférico, por um determinado tempo de retenção, no qual ocorre um processo bioquímico denominado biodigestão anaeróbica, que tem como resultado a formação de produtos gasosos, principalmente metano e dióxido de carbono. Com o avanço da tecnologia, os biodigestores são considerados a metodologia mais eficaz no tratamento de resíduos orgânicos, tendo em vista que, por meio das bactérias específicas, é realizada a digestão de orgânicos, gorduras, óleos, graxas e hidrocarbonetos de forma mais eficiente, tendo como produto biogás e biofertilizantes (MORENO, 2023).

Segundo Arnauth (2021), biodigestor é um equipamento usado para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica por meio da ausência de oxigênio. Tal procedimento é chamado de biodigestão. No mesmo sentido, Monik Suçarana (2018) conceitua biodigestor da seguinte forma:

Os biodigestores são compartimentos fechados nos quais ocorre decomposição de matéria orgânica, produzindo biogás e biofertilizante. Os materiais orgânicos utilizados no biodigestor podem ser os resíduos de produção vegetal (folhas, palhas, restos de cultura), de produção animal (como esterco e urina), de atividades humanas (fezes, urina, lixo doméstico) e resíduos industriais. A decomposição que a matéria

orgânica sofre dentro do biodigestor chama-se digestão anaeróbica, que é realizada através da atividade de bactérias anaeróbicas (SUÇARANA, 2018, p. 42).

Dessa forma, o biogás pode ser usado para geração de energia. O biofertilizante é excelente para preparar o solo para a agricultura. Assim sendo, sabe-se que a melhor maneira de tratar resíduos orgânicos é transformando-os em algo que possa ser reutilizado. Logo, é perceptível que a natureza ensina como fazer isso por meio da decomposição de tudo o que é orgânico. Exatamente este mesmo princípio é usado em biodigestores.

De acordo com as pesquisas realizadas, há diversos tipos de biodigestores, cada um tem suas próprias características, os mais comuns são: Chinês, Indiano e Canadense. Contudo, é possível afirmar que um biodigestor é composto por um recipiente que comporta e possibilita a digestão da matéria, onde seu interior é protegido do contato com o ar atmosférico para que a biomassa seja metabolizada por bactérias anaeróbias, um sistema de entrada do material que será digerido, um sistema de descarga do efluente (biofertilizante) e um armazenador de biogás (gasômetro) (SUÇARANA, 2018).

Importante enfatizar que o modelo Indiano é caracterizado por ter uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo de água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A parede divisória tem a função de fazer com que a matéria circule por todo o interior do sistema de fermentação (DEGANUTTI, 2002).

Seguindo esta reta, conceitua-se o modelo Chinês por possuir uma câmara cilíndrica para fermentação com o teto em forma de abóbada, onde o biogás fica retido (TURDERA; YURA, 2004). E, por fim, o modelo Canadense, também conhecido como biodigestor de fluxo tubular, se caracteriza por uma construção simplificada do tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga em alvenaria com a largura maior que a profundidade, sendo atualmente, a tecnologia mais utilizada dentre as demais, principalmente no Brasil, pois neste modelo de biodigestor o biogás pode ser enviado para um gasômetro separado, permitindo maior controle do biogás, reduzindo perdas durante o processo de produção (BARRERA, 1993).

Para BALMANT (2009) o resíduo do biodigestor é um ótimo subproduto rico em nitrogênio. Mas claro que existem também as desvantagens da utilização, como:

custo de investimento inicial e manutenção e variabilidade da produção de biogás (ARNAUTH, 2021).

Fernando Arnauth (2021) nos ensina que a decomposição dos resíduos acontece em 04 (quatro) fases dentro do biodigestor como descrito abaixo:

Hidrólise: bactérias hidrolíticas que secretam enzimas extracelulares atuam nesse processo. Portanto, as cadeias complexas de carboidratos, proteínas e lipídios são divididos em pequenos pedaços solúveis (açúcares, aminoácidos e gorduras);

Acidificação ou estágio de fermentação: os compostos solúveis da fase anterior são fermentados em ácidos graxos voláteis, alcoóis, hidrogênio e CO₂;

Acetanogênese: bactérias acetogênicas oxidam ácidos orgânicos como fonte de carbono gerando ácido acético (CH₃COOH), hidrogênio (H₂) e dióxido de carbono (CO₂) e odores desagradáveis;

Metano ou formação de fases metanogênicas: as bactérias metanogênicas agem na decomposição dos produtos da acetanogênese, gerando metano (ARNAUTH, 2021, p. 56) (*grifos do autor*).

Assim, alguns aspectos são essenciais para que o procedimento de biodigestão ocorra, como por exemplo: pH, temperatura, umidade e disponibilidade de nutrientes para as bactérias. Tais aspectos acabam tendo uma grande influência no crescimento e a atividade das bactérias digestoras.

Deste modo, ressalta-se que o período, onde, o material orgânico permanece no biodigestor até sua completa degradação é denominado de tempo de retenção. Esse tempo vai variando de acordo com a quantidade de material depositado no biogestor, sendo que cada biodigestor tem uma capacidade restrita de absorção de matéria orgânica.

Partindo dessa premissa, de acordo com Ana Araújo (2017), o biodigestor surge como uma alternativa excelente e eficaz para o tratamento do esgoto residencial. Cabe ressaltar ainda, que essa manifestação não polui o meio ambiente, e sim cuida da higiene, da saúde e ainda é considerada bastante econômica, sendo perfeitos para o tratamento de efluentes sanitários nos lares, sítios, chácaras, fazendas e escritórios.

Neste sentido, André Oliveira e Larisse Canuto (2018), comenta sobre algumas orientações acerca do processo de tratamento de água. Observa-se a seguir:

É importante se atentar ao local de instalação e como fazer isso. Para garantir que tudo seja feito corretamente, é importante que um técnico de

instalação acompanhe o processo. O biodigestor deve ser instalado enterrado, lembrando que é necessária a utilização de uma base de assentamento e compactação em camadas, que vai manter o equipamento “enterrado”. Contudo, caso opte por instalar o biodigestor na garagem, no caso de tráfego de pessoas ou de veículos, é importante que faça uma laje de fechamento, com 20 cm de distância do topo do biodigestor (OLIVEIRA; CANUTO, 2018, p. 42).

Deste modo, é necessário que haja todo planejamento de um profissional responsável para a instalação do equipamento objetivando trazer resultados eficazes.

Nesta seara, é de suma importância deixar em destaque que para a criação dos produtos e equipamentos é necessário se atentar há duas responsabilidades, tais quais: o compromisso com a qualidade dos produtos; e o comprometimento com o meio ambiente e sustentabilidade. Logo, os biodigestores reúnem essas duas finalidades, em que, cada uma delas entrega objetivos sem igual evitando assim a poluição e danos ao meio ambiente e/ou sociedade.

Atualmente, a poluição do meio ambiente se tornou uma temática bastante preocupante e debatida no meio social. Dessa forma, dentre vários outros aspectos, a crescente demanda pela produção de alimentos, especialmente na agropecuária e na agroindústria, vem colaborando com os impactos provocados, necessitando, cada vez mais, de alternativas para um desenvolvimento de sistema de produção sustentável.

Nesta modalidade, ressalta-se que os biodigestores são considerados como excelente equipamento, em que, é capaz de contribuir positivamente com o meio ambiente equilibrado, uma vez que, eles auxiliam o produtor no manejo correto dos resíduos das suas atividades e, além disso, fabricam novos produtos que podem ser usados pelo produtor rural. Contudo, eles não ficam limitados somente nesta contribuição, pois eles auxiliam também na saúde do indivíduo e na produtividade (ALVES; RIBEIRO, 2021).

De acordo com Vinícius Messa e Renan Silva (2016) a função dos biodigestores nada mais é do que transformar matéria orgânica crua em biofertilizante de excelente qualidade biológica; nesse processo, gera como resíduo um biogás, que pode ser utilizado como combustível. Igualmente, esse aparelho pode ser usado em diversas situações, uma delas é o tratamento de esgoto conforme supramencionado.

Portanto, o Brasil tem um grande potencial de biomassa, frente à grande produtividade de massa vegetal e animal existente, em face da poluição e principalmente da geração de resíduos, essa prática da utilização de biodigestores, busca mitigar os fatores e impactos ambientais, viabilizando ainda o desenvolvimento de tecnologias que objetivam a geração de energia elétrica por meio da obtenção do biogás e, além disso, proporcionando a obtenção um material favorável para a utilização como biofertilizante, trazendo assim vantagens e contribuições para a sustentabilidade da propriedade rural e do meio ambiente.

De acordo com as pesquisas realizadas, o meio ambiente é visto como um interesse difuso, no qual, se particulariza por possuir como titular um grupo, classe ou categoria indeterminável de pessoas, que é o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, dispendo também, na mesma redação, a imposição ao Poder Público e a toda população o dever de defesa e preservação sempre para todas as gerações.

A gestão ambiental tem como função principal conciliar e resolver problemas entre o ser humano e os demais habitantes do planeta. Com o estilo de vida sedentário que foi adotado a partir da revolução agrícola e o surgimento das primeiras cidades, surge então uma discussão entre o meio antrópico e o natural, o esgoto sanitário.

Assim, saneamento ambiental ou saneamento básico, pode ser compreendido como o conjunto de medidas que tem como objetivo preservar ou alterar as condições do meio ambiente com o objetivo de prevenir doenças e promover saúde, melhorar a qualidade de vida da população e a produtividade do indivíduo e facilitar a atividade econômica.

Contudo, o saneamento básico no Brasil, ainda nos dias atuais é um grande desafio, tendo em vista que mais da metade (53,15%) das casas não têm, qualquer tipo de vinculação à rede coletora e menos da metade desses 50% não recebem nenhum tipo de tratamento (ACQUALIMP, 2021).

Importante enfatizar que no Brasil 95% dos municípios tem uma população menor do que 100 (cem) mil habitantes, existem meios sustentáveis como o uso do Biodigestor. Nesta linha, importante destacar a imagem de um biodigestor para o conhecimento do leitor:

Figura 3 - Biodigestor PE-02



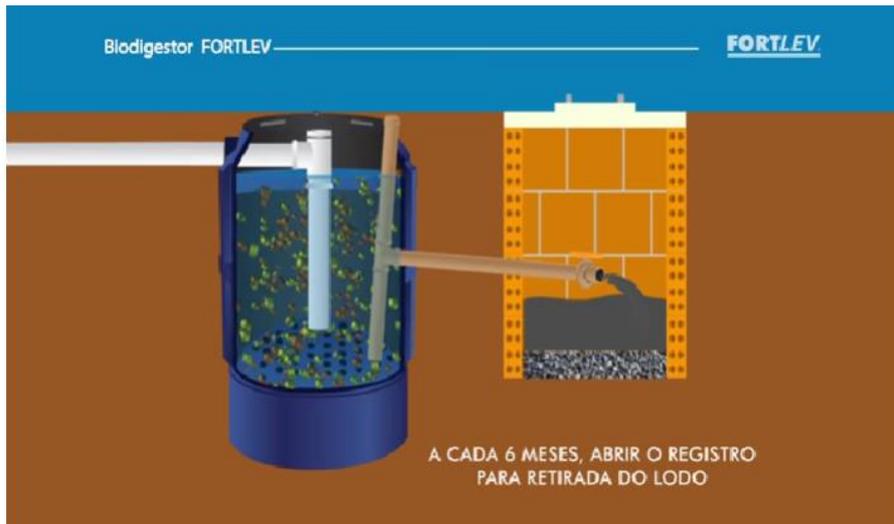
Fonte: <https://acqualimp.com/saneamento-basico-no-brasil-biodigestor-uma-solucao-eficiente> (ACQUALIMP, 2021).

Dessa forma, o biodigestor é uma tecnologia eficaz para o tratamento do esgoto sanitário e de baixo custo. Os efluentes são canalizados para este ambiente sem oxigênio (fechado) e as bactérias assumem o trabalho de se alimentarem do material consumindo até 80% da matéria orgânica do esgoto. Logo, o biodigestor quando instalado da forma correta não libera mau cheiro e o lodo criado é funciona como um adubo excelente para as plantas.

Todavia, os biodigestores com diferentes capacidades de armazenamento (600L, 1300L e 1300L) conseguem atender desde a demanda de uma residência até propriedades grandes, com maior número de pessoas ou áreas rurais. Além de assegurar de forma eficiente o tratamento do esgoto doméstico, o sistema não polui o meio ambiente, cuida da higiene, da saúde e é econômico.

Logo, a praticidade é sua característica principal, pois só é necessária uma única peça para tratar o esgoto, assim, o biodigestor é mais eficiente do que a maioria dos sistemas de tratamento como as fossas, e por ser impermeável não deixa o esgoto contaminar o solo (MORAIS; SANTOS, 2017). A retirada do lodo é simples e econômica através do leito de secagem que deve ser construído ao lado do produto, conforme mostra a seguinte figura:

Figura 4 - Leito de secagem – utilização de biodigestor

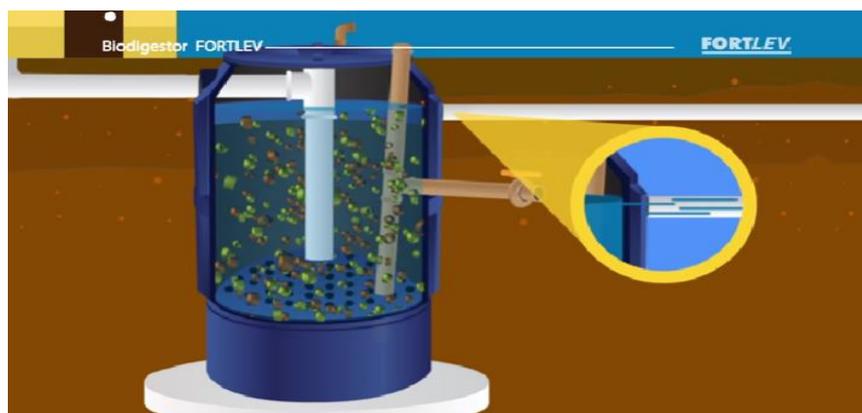


Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=574wROn3fVE> (RESOLVE, 2021).

Diante disso, o biodigestor atende a residências de até 05 (cinco) pessoas dependendo do padrão de consumo de cada família. Para atender mais pessoas, é possível interligar mais de um biodigestor, tudo funciona de forma compacta, prática, e eficiente. O esgoto doméstico é conduzido até o fundo do biodigestor, que passará por um processo de biodigestão anaeróbia que transforma a matéria orgânica em lodo estabilizado, biogás, e esgoto tratado. O lodo fica retido no fundo do recipiente e é conduzido pela tubulação de descarte do lodo até o leito de secagem (MORAIS; SANTOS, 2017).

Além disso, o biogás deve ser liberado para o exterior por meio de uma tubulação, o esgoto tratado, por sua vez, é descartado pela tubulação de saída de acordo com a imagem a seguir:

Figura 5 - O esgoto tratado e descartado pela tubulação de saída



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=574wROn3fVE> (RESOLVE, 2021).

Contudo, para que o tratamento do esgoto com o biodigestor seja eficiente e não cause quaisquer tipos de poluição ao meio ambiente é necessário fazer o descarte da forma correta, e para isso, deve ser consultado o órgão ambiental do município onde reside.

Portanto, a forma de abastecimento dos biodigestores os classifica em batelada, em que se armazena a máxima capacidade de carga, substituída somente após a digestão completa do material orgânico; e contínuos construídos para que o abastecimento de carga seja diário, existindo uma saída para material processado com volume de descarga proporcional ao de carga.

Como visto acima, o biodigestor é considerado a melhor solução prática e sustentável no tratamento de esgotos (MELIN, 2022). Por este viés, é possível vislumbrar que há uma eficiência no tratamento de esgoto; e, além disso, economia, pois, dispensa o uso do caminhão limpa-fossa. A sustentabilidade permite o reaproveitamento de água por vala de infiltração; se houver jardim com grama ou árvores frutíferas no local podem ser feita a irrigação pelas raízes e traz ainda mais vida ao local que está sendo lançado.

Deste modo, o custo benefício do biodigestor está relacionado à sua capacidade e apresenta pequena variação de acordo com as marcas do produto. Na Leroy Merlin, por exemplo, você encontra Fossa Séptica Biodigestor 600L Polietileno Acqualimp, a partir de R\$ 1.489 (mil quatrocentos e oitenta e nove), até Fossa Séptica Biodigestor 3.000L Fundo Cônico Polietileno Acqualimp, por R\$ 10.249,90 (dez mil, duzentos e quarenta e nove e noventa) (MELIN, 2022).

Assim, o custo do benefício do biodigestor varia de acordo com sua marca, capacidade, dimensão dentre outros. Ocorre que por mais que o valor do biodigestor seja variado, as vantagens trazidas por ele é bastante compensatórias, isso não há dúvidas.

Deste modo, de acordo com Figueiredo e Oliveira (2021), os principais benefícios da implantação de um biodigestor são:

- Reciclagem e redução da poluição: o uso de biodigestores permite a reciclagem dos resíduos orgânicos e reduz a poluição ambiental;
- Reciclagem dos excrementos de animais: na agropecuária os excrementos do animais recebem uma destinação ambientalmente correta, já que podem ser reaproveitados nos biodigestores;
- Obtenção de gás limpo: o biogás resultante do processo representa uma fonte de energia eficiente e econômica. A disponibilidade de biogás pode ajudar a reduzir a demanda por combustíveis fósseis;

Produção de fertilizantes: os fertilizantes têm um menor impacto ambiental e reduzem os custos da produção agrícola;
Melhoria da saúde pública: os biodigestores permitem o gerenciamento adequado de resíduos orgânicos, com isso os riscos que eles representam para a saúde são reduzidos (FIGUEIREDO; OLIVEIRA, 2021, p. 142).

Enfatiza-se que a gestão de resíduos orgânicos contribui para o desenvolvimento sustentável aumentando a vida útil de aterros sanitários, reduzindo a geração dos resíduos e os destinando de forma ambientalmente correta. Além disso, a gestão viabiliza as ações de triagem dos resíduos recicláveis e reutilizáveis, contribuindo assim para a redução dos níveis de poluição ambiental.

Por fim, fazer gestão de resíduos orgânicos significa adotar um conjunto de ações adequadas nas fases de coleta, armazenamento, transporte, tratamento, destinação final e disposição final ambientalmente adequada. Objetivando a minimização da produção de resíduos, visando à preservação da saúde pública e a qualidade do meio ambiente.

3.4 ESTUDO DE CASO

Analisa-se um estudo de caso, no qual um dos modelos de biodigestor criados no Nordeste mostra melhores resultados, que é o PE-02, elaborado pelo engenheiro agrônomo Jaime Germano do Nascimento, coordenador do Sistema Energético Integrado (SEI) do Estado de Pernambuco (daí a denominação PE-02).
Vejam-se:

O PE-02 é um projeto intermediário entre o biodigestor chinês e o indiano. Embora funcione totalmente enterrado no solo, a exemplo do biodigestor chinês, ele mantém uma pressão de gás constante, como o biodigestor indiano. Sua construção é mais simples que a do chinês, e não exige impermeabilização. A estrutura de ferro do gasômetro, utilizada no modelo indiano, foi substituída no PE-02 por uma caixa de cimento-amianto impermeabilizada. Ele pode funcionar tanto com carga contínua (diária) quanto com semicontínua ou descontínua (quando é carregado e descarregado de uma só vez). O sistema semicontínuo é útil aos produtores que possuem poucos animais, e exige uma caixa de carga pequena. No PE-02 idealizado para trabalhar em sistema descontínuo, dispensa-se, inclusive, a caixa de carga. A entrada do material é feita diretamente não 'boca' do biodigestor (GASPAR, 2013, 56).

Na sequência, analisa-se o segundo estudo de caso:

Em Chapadinha dos Corrêa, hoje conhecido apenas como Chapadinha, morava João Joaquim. Ele vivia da agricultura de subsistência e do extrativismo do coco babaçu, era casado com Maria Monteiro Lopes

(conhecida como Maria Tuníca) e tinha cinco filhos. Naquela época os proprietários tinham os encarregados que cuidavam da fiscalização das terras. E em alguns setores, havia os arrendadores, que tinha como função, arrendar parte das terras por um tempo determinado para os agricultores cultivarem, cujo a renda era de cinco por uma de tudo que produzia. Tinham também como atribuição comprar o coco babaçu dos moradores da propriedade e revender em outros mercados. Como no setor tinha apenas o arrendador, o preço do coco era muito abaixo do mercado, pois os mesmos já ganhavam encima daquele produto de forma exploratória (SANTOS, 2017, p. 112).

Em suma, os biodigestores em comunidades rurais, especialmente em regiões onde o acesso a sistemas de esgoto convencionais é limitado, os biodigestores têm sido adotados para tratar resíduos domésticos. Por exemplo, na Índia, a ONG Sulabh International instalou biodigestores em várias aldeias, proporcionando saneamento básico e produzindo biogás para uso doméstico.

Nessa perspectiva, analisa-se o terceiro caso:

O estudo foi desenvolvido na Escola Agrotécnica ETEC “Orlando Quagliato”, município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP, latitude 29°49’19”S; longitude 49°31’32”O e altitude 480 m. Segundo Köeppen, o clima da região é do tipo Cwa, mesotérmico, com chuvas concentradas no verão e verões quentes, com temperatura média anual de 22,9°C e índice pluviométrico médio anual de 1.475,3 mm (MIRANDA et al., 2009). A escola agrotécnica possui uma área de 120 ha com diversos setores, tais como bovinocultura, suinocultura, piscicultura, ovinocultura, horticultura, culturas anuais e perenes, entre outras. No estado de São Paulo, a ETEC é uma das pioneiras na instalação de um biodigestor para o tratamento de dejetos suínos e humanos. Até o ano de 2010, ou seja, antes da construção do biodigestor, todos os dejetos humanos eram enviados a fossas negras e os dejetos de suínos eram descartados no açude da unidade escolar. Utilizou-se um biodigestor de Fluxo Contínuo, modelo tipo Envelope impermeabilizado com Geomembrana EPDM (borracha de etileno-propileno-dieno) de 1,0 mm de espessura, da Firestone Building Products, com capacidade de 255,7 m³, com dimensionamento de 7,0 m de largura (no formato de trapézio: 7,0 m na borda por 4 m no fundo), por 40,0 m de comprimento e 1,7 m de profundidade, que recebe os efluentes oriundos da unidade escolar (SILVA, 2018, p. 66).

Assim, biodigestores têm sido usados para tratar esses resíduos, evitando a contaminação do meio ambiente. Um exemplo é a vinhaça, um subproduto da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar, que pode ser tratada em biodigestores para reduzir sua carga poluente.

Em áreas urbanas, os biodigestores também têm encontrado aplicações. Por exemplo, na cidade de Curitiba, no Brasil, foi implementado um sistema de biodigestores em um aterro sanitário, onde os resíduos orgânicos são tratados anaerobiamente para produzir biogás, que é utilizado para gerar eletricidade.

Portanto, muitas propriedades agrícolas têm adotado biodigestores como parte de uma abordagem sustentável de gestão de resíduos. Isso não apenas ajuda a tratar os resíduos da propriedade, mas também oferece uma fonte adicional de energia e nutrientes para a produção agrícola.

4 RESULTADOS

Dos resultados que tratavam sobre a temática em questão, foram selecionados 45 artigos científicos para a revisão bibliográfica integrativa, encontrados nos bancos BVS (total de 10 artigos, desses foram incluídos três no estudo), SCIELO (total de 15 artigos, desses foram incluídos oito no estudo), Repositório (total 15 artigos, desses foram incluídos cinco no estudo) e LILACS (total cinco artigos, desses foram incluídos três no estudo).

De acordo com os dados apresentados os biodigestores suprem a necessidade de tratamento de águas cinza (qualquer efluente gerado por uma residência, exceto esgoto sanitário) em ambientes afastados ou ausentes de rede coletora. Fornecendo como subproduto o lodo. De acordo com o uso do biodigestor o tamanho e preço chegam a variar.

Com isso, o biodigestor é uma tecnologia eficaz para o tratamento do esgoto sanitário e de baixo custo. Os efluentes são canalizados para este ambiente anaeróbico e as bactérias fermentam e degrada essa matéria orgânica consumindo até 80%. Dessa forma, segundo Atlas Esgotos, a região norte e nordeste são as últimas regiões que possui baixos níveis de saneamento. Deve-se salientar que o bom funcionamento é em função dos níveis de nutrientes, temperatura e pH.

Por fim, dos estudos incluídos nessa revisão, foram publicados entre 2002 a 2022. Importante deixar em destaque, os resultados obtidos dos autores abaixo, sobre se a utilização de biodigestores é uma solução eficaz no tratamento de esgotos.

Quadro 1 - Pesquisas que consideram o biodigestor como uma solução eficaz no tratamento de esgotos

Resultados dos autores	EFICAZ NO TRATAMENTO DE ESGOTOS?	AUTOR
Os biodigestores são alternativas eficazes ao tratamento de esgotos e produção de energia limpa, através do biogás, para comunidades carentes ou de difícil acesso da cidade de Três Rios, município localizado no interior do estado do Rio de Janeiro.	Sim.	Oliveira, 2020

<p>Os equipamentos chamados biodigestores atuam como fator de melhoria na qualidade de vida, saúde dos moradores e também na qualidade ambiental local, no qual, é uma solução de tratamento descentralizado e tem eficácia no tratamento de esgoto.</p>	<p>Sim.</p>	<p>Silva, 2021</p>
<p>Os biodigestores tanto no aspecto econômico como no tratamento de esgoto e produção de biogás, são eficazes, assim cabe ao indivíduo interessado em escolher o modelo que possui melhor custo-benefício para o local em questão. A partir dessa opção, foi realizado o projeto do biodigestor para a comunidade de Portelinha e uma estimativa de seus custos, além do mapeamento de uma possível locação para a obra.</p>	<p>Sim.</p>	<p>Oliveira, 2018</p>
<p>Como parte dos resultados encontrados destaca-se os biodigestores de modelo alemão, modelo de obtenção de fertilizantes organominerais balanceados, uso de microalgas, modelo de tratamento de dejetos, considerados como solução eficaz no tratamento de esgotos.</p>	<p>Sim.</p>	<p>Costa; Marvulli (2019)</p>

Fonte: O autor (2023).

5 CONCLUSÃO

Foi importante a realização da pesquisa bibliográfica, para um melhor entendimento dos biodigestores.

Os biodigestores são considerados como uma solução eficaz e sustentável para o tratamento de esgotos, especialmente em áreas rurais e em desenvolvimento, onde a infraestrutura convencional é limitada

É importante considerar fatores como localização, clima, disponibilidade de recursos e capacitação adequada para maximizar os benefícios dessa tecnologia.

REFERÊNCIAS

- ACQUALIMP. **Saneamento básico no Brasil: biodigestor uma solução eficiente.** Portal Acqualimp. 2021. Disponível em: <https://acqualimp.com/saneamento-basico-no-brasil-biodigestor-uma-solucao-eficiente/>. Acesso em: 25 fev. 2023.
- ALMEIDA, Jaqueline Colvara de. **Avaliação do Índice de Qualidade da Água na Lagoa dos Patos.** Publicado em Revista: UFPEL. 2013. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/esa/files/2013/10/TCC-JAQUELINE-ALMEIDA.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2023.
- ALVES, Marcelute de Oliveira; RIBEIRO, Rosa Maria. **Os benefícios do biodigestor em melhoria da qualidade de vida na zona rural.** Publicado em Revista: Produção Científica. 2021. Disponível em: http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2013/oit_mostra/Marceluci_de_Oliveira_Alves2.pdf. Acesso em: 17 jan. 2023.
- ALVES, Mariana Gardin. **Identificação de fontes de geração de resíduos sólidos em uma unidade de alimentação e nutrição.** Artigo Científico. Portal Scielo, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/PksXQQhVsHt78jTQTNFqYpb/abstract/?lang=pt#>. Acesso em: 09 ago. 2023.
- ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico.** Publicado em Revista: Repositório. Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBiog%C3%A1sRes%C3%ADduos.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2023.
- ARNAUTH, Fernando. **Biodigestor: para que serve, tipos, vantagens e desvantagens.** Portal VGR. 2021. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/biodigestor/>. Acesso em: 16 jan. 2023.
- AVELINO, Carlos. **As principais leis ambientais brasileiras.** Portal Estratégia ODS. 2016. Disponível em: <https://www.estrategiaods.org.br/as-sete-principais-leis-ambientais-brasileiras/>. Acesso em: 27 fev. 2023.
- BALMANT, Wellington. **Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica.** Artigo Científico. 2009. Google Acadêmico. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=artigo+biodigestores+s%C3%A3o+uma+solu%C3%A7%C3%A3o+eficaz+no+tratamento+de+esgotos+estudo+de+caso&btnG=. Acesso em: 10 ago. 2023.
- BARREIRA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural.** São Paulo: Ícone, 1993.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S.. **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL. Atlas Esgotamento. **A disposição final do esgoto é uma questão de saúde para o ecossistema e para a população**. Portal Atlas Esgotos Despoluição das Bacias Hidrográficas. 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 28 fev. 2023.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Promulgada no dia 05 de outubro de 1988. Brasília. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 27 fev. 2023.

BRASIL. **Decreto nº 11.043 de 13 de abril de 2022**. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/D11043.htm. Acesso em: 19 jan. 2023.

BRASIL. **Lei Federal nº 6.938 de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm#:~:text=LEI%20N%206.938%2C%20DE%2031%20DE%20AGOSTO%20DE%201981&text=Disp%20e%20sobre%20a%20Pol%20Nacional,aplica%20e%20d%20a%20outras%20provid%20ncias. Acesso em: 24 fev. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 19 jan. 2023.

BRASIL. **Portaria 2914 de 12 de Dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 23 fev. 2023.

CALSA, Lana F; LIMA, Cleber B. **Avaliação dos custos de implantação dos biodigestores e da energia produzida pelo biogás**. Portal Scielo. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/ngnkXvLLKcpYg4RM4nBZcRR/#>. Acesso em: 23 jul. 2023.

CAMPOS, Heliana Kátia Tavares. **Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil**. Artigo Científico. Portal Scielo. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/kZn74jmyqBL5GNT4yxkD8Jk/?lang=pt#>. Acesso em: 10 ago. 2023.

COSTA, Gabriela Salvador Salvador da; MARVULLI, Maria Vitória Nogueira Nogueira. **Soluções alternativas para o tratamento, disposição ou reutilização**

de dejetos animais provenientes de atividade suinícola no Brasil. ANAIS SINTAGRO, Ourinhos-SP, v. 11, n. 1, p. 398-405, 22 e 23 out. 2019.

DEGANUTTI, Roberto Pinto. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada.** Departamento de Arquitetura, Artes e Representações Gráficas, UNESP: (Universidade Estadual Paulista), Bauru, 2002.

FOGAÇA, França. **Tipos de poluição das águas.** Portal Brasil Escola. 2019. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-poluicao-das-aguas.htm>. Acesso em: 19 de fev. 2023.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR.** Google Acadêmico. 2013. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0%2C5&q=artigo+biodigestores+s%C3%A3o+uma+solu%C3%A7%C3%A3o+eficaz+no+tratamento+de+esgotos+estudo+de+caso&btnG=. Acesso em: 10 ago. 2023.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas.** Portal IBGE. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/30/84366?ano=2017>. Acesso em: 28 fev. 2023.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas.** Portal IBGE. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/30/84366?ano=2017>. Acesso em: 28 fev. 2023.

LIMA, João. **Preservar o meio ambiente é preservar a vida.** Portal Prefeitura de Várzea Paulista. 2017. Disponível em: <https://portal.varzeapaulista.sp.gov.br/2017/07/07/preservar-o-meio-ambiente-e-preservar-a-vida>. Acesso em: 27 fev. 2023.

MARIA, Ana. **Biodigestor pode solucionar parte do problema de saneamento básico no Brasil.** Portal Agência Envolverde Jornalismo. 2022. Disponível em: <https://envolverde.com.br/biodigestor-pode-solucionar-parte-do-problema-de-saneamento-basico-no-brasil/>. Acesso em: 28 de fev. 2023.

MENDES, C. G. N. **Tratamento de águas para consumo humano - Panorama mundial e ações do PROSAB.** In: PÁDUA, V. L. (Coord.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano. Rio de Janeiro: ABES. 504 p. 2006.

MORENO, Sayonara. **Brasil gera cerca de 80 milhões de toneladas de resíduos por ano.** Portal Scielo. Artigo Científico. 2023. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/meio-ambiente/audio/2023-04/brasil-gera-cerca-de-80-milhoes-de-toneladas-de-residuos-por-ano>. Acesso em: 10 ago. 2023.

OLIVEIRA, André Luiz Domingues; CANUTO, Larisse Maria de Oliveira Machado. **Utilização de biodigestor para o tratamento biológico de efluentes e geração de**

biogás como alternativa ao gás de cozinha. Publicado em Portal Tratamento de Água. 2018. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/biodigestor-tratamento-biologico-efluentes/>. Acesso em: 17 jan. 2023.

OLIVEIRA, Jéssica Clarisse de. **Utilização de um biodigestor para tratamento de esgoto e geração de energia.** Publicado em Revista: Repositório. 2018. Disponível em: <http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10025008.pdf>. Acesso em: 28 de fev. 2023.

OLIVEIRA, Sandilla Santana de. **O uso de biodigestores como alternativa ao tratamento do esgoto doméstico em comunidades carentes.** Revista portos: por um mundo mais sustentável. 2020. Disponível em: <https://portal.epitaya.com.br/index.php/ebooks/article/view/45/23>. Acesso em: 09 ago. 2023.

ORTH, Cíntia Madureira; BALDIN, Nelma. **A geração de resíduos sólidos em um processo produtivo de uma indústria automobilística:** uma contribuição para a redução. Gest. Prod., São Carlos, v. 21, n. 2, p. 447-460, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/nMMBDBxbwTvC8nPDFqh8rWj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 ago. 2023.

PACHOAL, Renan da Silva. **Usos da água e necessidades de tratamento para consumo humano.** Publicado em Revista: UFJF. 2012. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/engenhariacivil/files/2012/10/TCC-Renan-da-Silva-Paschoal.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2023.

PASSARINHO, Nathalia. **Três gráficos que mostram piora do Brasil na poluição do meio ambiente.** Portal Uol Notícias. 2022. Disponível em: <https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/bbc/2022/11/15/cop27-3-graficos-que-mostram-piora-do-brasil-em-desmatamento-queimadas-e-emissoes-de-co2.htm>. Acesso em: 27 fev. 2023.

PORTELA, Marina Dias. **Avaliação da qualidade da água de rios em bacias urbanizadas na bacia da Lagoa da Conceição.** Publicado em Revista: Repositório. Florianópolis. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/204656/TCC%20MARINA%20PORTELLA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 fev. 2023.

SANTOS, Paulo Rogério Brito dos. **Saneamento básico e os impactos socioambientais:** um estudo de caso do distrito de chapada do Pinto- Joca Marques-PI. Artigo Científico. DOI:10.55232/1082027.9. v.2. 2017. Disponível em: <https://institutoscientia.com/wp-content/uploads/2022/06/capitulo-humanas2-9.pdf>. Acesso em: 10 de ago. 2023.

SANTOS, Rubens Francisco dos et al. **Abordagem descentralizada para concepção de Sistemas de Tratamento de Esgoto Doméstico.** Google Acadêmico. Publicado na Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura, v. 1, n. 1, 2015.

SILVA JUNIOR, Mario Bueno. **Metodologia de implantação de biodigestores como solução individual de saneamento em comunidades desconectadas da rede de esgoto**. Portal Google Acadêmico. Santos, 2021. Disponível em: https://repositorio.unifesp.br/bitstream/handle/11600/62487/Dissertac%cc%a7a%cc%83o_MarioBueno_versaofinal_fichacatalografica.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 09 ago. 2023.

SOUZA, M.L. **Diagnóstico da qualidade de água de rios com níveis distintos de urbanização na bacia da Lagoa da Conceição em Florianópolis (SC)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2018.

SPLINDER, Kader Soares. **Os benefícios da utilização de biodigestores no tratamento de efluentes oriundos do esgoto doméstico: uma ferramenta para gestão ambiental**. Publicado em Revista: 23º Seminário Internacional de Educação, Tecnologia e Sociedade. 2016.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

SUÇARANA, Monik da Silveira. **Biodigestores**. Portal Infoescola. 2018. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/biodigestor/>. Acesso em: 14 de jan. 2023.

TOLEDO, Redação Gazeta. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos determina encerramento de todos os lixões até 2024**. Portal Gazeta de Toledo. 2022. Disponível em: <https://gazetadetoledo.com.br/plano-nacional-de-residuos-solidos-determina-encerramento-de-todos-lixoes-ate-2024/>. Acesso em: 19 jan. 2023.

TURDERA, Maria. YURA, Daniela. **Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de Dourados**. VI Encontro de Energia no Meio Ambiente, 2004. Disponível em: <http://146.164.33.61/termo/biogas/Campinasagrener.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2023.