



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DO CABO DE SANTO AGOSTINHO
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

DAMERSON VINÍCIUS SANTANA DOS SANTOS

Levantamento da liberdade de operação atual de biodigestores domésticos no Brasil

Cabo de Santo Agostinho – PE

2024

DAMERSON VINÍCIUS SANTANA DOS SANTOS

Levantamento da liberdade de operação atual de biodigestores domésticos no Brasil

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Dr. Felipe Orlando Centeno González

Cabo de Santo Agostinho – PE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

S2371 Santos, Damerson Vinícius Santana dos.
Levantamento da liberdade de operação atual de biodigestores domésticos no Brasil / Damerson Vinícius Santana dos Santos. – Cabo de Santo Agostinho, 2024.
62 f.; il.

Orientador(a): Felipe Orlando Centeno González.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica Cabo de Santo Agostinho - UACSA, Bacharelado em Engenharia Mecânica, Cabo de Santo Agostinho, BR-PE, 2024.

Inclui referências.

1. Biodigestores. 2. Biodigestor - Construção. 3. Resíduos orgânicos - Purificação. 4. Patentes 5. Engenharia mecânica. I. González, Felipe Orlando Centeno, orient. II. Título

CDD 620.1

DAMERSON VINÍCIUS SANTANA DOS SANTOS

Levantamento da liberdade de operação atual de Biodigestores Domésticos no Brasil

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho da Universidade Federal Rural de Pernambuco para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 22 de maio de 2024.

Banca examinadora

Prof. Dr. Felipe Orlando Centeno González
Orientador – UFRPE / UACSA

Prof. Me. Alexandre Douglas Araújo de Moura
Examinador 1 – UFRPE / UACSA

Prof. Dr. Álisson Castro do Nascimento
Examinador 2 – UFRPE / UACSA

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Manoel Clementino e Maria Betânia pelo amor incondicional em toda minha vida. Pelos ensinamentos, contribuindo todos os dias em meu crescimento pessoal e profissional. Agradeço por cada momento de orientação, por cada palavra de incentivo. Pelos sacrifícios realizados para me proporcionar sempre o melhor.

Ao meu irmão, David Emanuel pelo companheirismo e por sempre estar ao meu lado nos momentos de dificuldade.

Aos meus amigos, Mateus Albuquerque e Pedro Arthur por todos os momentos compartilhados, ajuda durante as dificuldades e comemorações nas alegrias.

Aos meus amigos de graduação, cujo apoio foi fundamental durante toda a minha jornada acadêmica. Agradeço por estarem ao meu lado, compartilhando não apenas o conhecimento, mas também as alegrias e dificuldades que encontramos ao longo do caminho.

Ao Prof. Dr. Felipe Centeno pelos ensinamentos e orientações durante a graduação e também oportunidades proporcionadas.

Por fim, aos meus demais amigos que estiveram comigo durante esta jornada.

RESUMO

O crescimento da população em conjunto do desenvolvimento econômico tem aumentado a produção de resíduos, entretanto, os meios de tratamento destes resíduos não evoluíram na mesma proporção. Devido à alta demanda de tratamento de resíduos produzidos em residências nos dias atuais, os biodigestores estão se tornando cada vez mais relevantes como uma possível tecnologia capaz de realizar o correto tratamento, além de gerar biogás e biofertilizante como subproduto. Porém este conhecimento ainda é limitado, então um levantamento de modelos domésticos capazes de atender estas demandas é essencial para difundir esta tecnologia para o público. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivos fazer um levantamento de liberdade de operação de modelos de biodigestores domésticos e do estado da técnica desta área, classificar os modelos pesquisados, assim como revisar os mecanismos de pesquisa patentária. Para tal, foi realizado um estudo acerca das técnicas de buscas que são utilizadas para fazer filtros adequados, de modo a reduzir a quantidade de informação e focar no tema em questão. Em sequência, uma abordagem dos tipos de buscas que são feitas em bancos dados de patentes, para reduzir o número de patentes e focar apenas nos modelos de biodigestores domésticos. Embasado nos métodos de pesquisa foi possível encontrar um conjunto diversificado de modelos de biodigestores domésticos, projetados para atender tanto às necessidades de uma residência de pequeno porte, conforme exemplificado pelo modelo da Homebiogas, quanto às exigências de uma comunidade de 100 pessoas, como no caso do modelo Plug Flow. Foi possível verificar que a liberdade de operação varia conforme a fonte pesquisada, sendo as pesquisas científicas com maior liberdade de operação e os modelos patentários com menor. A combinação desses conhecimentos resultou na proposição de potenciais soluções para o tratamento dos resíduos produzidos em residências, desempenhando um papel importante na promoção de práticas sustentáveis e no avanço do desenvolvimento ambiental e social.

Palavras-chave: Patentes - prospecção; biodigestor doméstico; resíduos orgânicos; patentes.

ABSTRACT

The population growth along with economic development has increased waste Production, however, waste treatment methods have not evolved at the same pace. Due to the high demand for waste treatment from households nowadays, biodigesters are becoming increasingly relevant as a potential technology capable of proper treatment, in addition to generating biogas and biofertilizer as by-products. However, this knowledge is still limited, so a survey of domestic biodigester models capable of meeting these demands is essential to disseminate this technology to the public. Therefore, the present work aims to survey the operational freedom of domestic biodigester models and the state of the art in this area, classify the researched models, and review patent research mechanisms. For this purpose, a study was conducted on search techniques used to apply appropriate filters, thereby reducing the amount of information and focusing on the subject at hand. Subsequently, an approach to the types of searches made in patent databases was conducted to reduce the number of patents and focus only on domestic biodigester models. Based on the research methods, a diverse set of domestic biodigester models was found, designed to meet the needs of both small households, as exemplified by the HomeBiogas model, and the requirements of a community of 100 people, as in the case of the Plug Flow model. It was observed that operational freedom varies depending on the information source, with scientific research having greater operational freedom and patent models having less. The combination of this knowledge resulted in the proposition of potential solutions for the treatment of waste produced in households, playing an important role in promoting sustainable practices and advancing environmental and social development.

Keywords: Patents - prospecting; household biodigester; organic waste; patents.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Biodigestor tipo Batelada.	21
Figura 2 - Biodigestor Indiano.....	23
Figura 3 - Modelo 2D do biodigestor Indiano.....	23
Figura 4 - Modelo 2D do biodigestor chinês.....	24
Figura 5 - Modelo 3D em corte do biodigestor chinês.....	24
Figura 6 - Modelo canadense.	25
Figura 7 - Biodigestor Recolast.....	26
Figura 8 - Operadores Booleanos.	31
Figura 9 - Organização hierárquica do código IPC.....	34
Figura 10 - Biodigestor Plug Flow.....	37
Figura 11 - Parte interna do biodigestor.....	37
Figura 12 - Biodigestor de Tambor.....	38
Figura 13 - Estrutura para agitação.....	39
Figura 14 - Biodigestor Homebiogas.....	40
Figura 15 - Biodigestor Acqualimp.....	40
Figura 16 - Funcionamento do biodigestor Acqualimp.....	41
Figura 17 - Biodigestor referente a patente MU 8900341-1 U2.....	42
Figura 18 - Biodigestor referente a patente BR 20 2012 021339-2 U2.....	43
Figura 19 - Biodigestor referente a patente BR 10 2014 006872-4 A2.....	43
Figura 20 - Biodigestor referente a patente WO 2022/120505 A1.....	44
Figura 21 - Resumo dos modelos comerciais.....	50
Figura 22 - Resumo dos modelos científicos.....	51
Figura 23 - Resumo dos modelos patentários.....	51

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	11
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral	15
1.3.2	Objetivos Específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	BIOGÁS	16
2.2	BIODIGESTÃO	18
2.2.1	Temperatura	19
2.2.2	Alcalinidade e pH	19
2.2.3	Nutrientes	20
2.3	BIODIGESTORES	20
2.3.1	Tipos de Alimentação	21
2.3.2	Biodigestores Domésticos	25
2.4	RESÍDUOS SÓLIDOS.....	26
2.4.1	Resíduos Alimentares	27
2.4.2	Esgoto Doméstico	28
2.5	PATENTES	28
2.6	LIBERDADE DE OPERAÇÃO.....	29
3	METODOLOGIA.....	31
3.1	TÉCNICAS DE BUSCAS.....	31
3.1.1	Lógica Booleana.....	31
3.1.2	Truncamento.....	32
3.2	TIPOS DE BUSCAS	32
3.2.1	Buscas do estado da técnica	32

3.2.2 Buscas da validade.....	33
3.2.4 Buscas pelo nome	33
3.2.5 Buscas pelo Código IPC	33
3.2.6 Buscas por Liberdade de Operação	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
4.1 LEVANTAMENTO DO ESTADO DA TÉCNICA	36
4.1.1 Modelo Plug Flow	36
4.1.2 Modelo em Tambor	38
4.1.3 Homebiogas	39
4.1.4 Acqualimp	40
4.2 MODELOS DE PATENTES	41
4.2.1 MU 8900341-1 U2	41
4.2.2 BR 20 2012 021339-2 U2	42
4.2.3 BR 10 2014 006872-4 A2	43
4.2.4 WO 2022/120505 A1	44
4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE BIODIGESTORES DOMÉSTICOS	44
4.3.1 Resumo da Classificação de Biodigestores Domésticos.....	50
5. CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O aumento populacional brasileiro aliado ao crescimento econômico tem levado a um aumento significativo da produção de resíduos (Frésca, 2007). Em contrapartida, este crescimento não é acompanhado do desenvolvimento de mecanismos para o manejo dos resíduos. Segundo Assis (2012) a questão dos resíduos sólidos urbanos, em tempos atuais, atinge todos os países, especialmente aqueles em desenvolvimento, como é o caso do Brasil que, apesar de possuir grande extensão territorial, ainda tem problemas na busca de áreas adequadas para a disposição final dos seus resíduos sólidos urbanos.

A falta de acesso à água tratada afeta quase 35 milhões de pessoas e 100 milhões de brasileiros não têm acesso à coleta de esgoto, o que se reflete em centenas de pessoas hospitalizadas por doenças transmitidas pela água (Instituto Trata Brasil, 2022). Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (2021) o Brasil ainda enfrenta dificuldades no tratamento de esgoto, dos quais 50,8% do volume gerado é tratado e 79,8% do volume coletado é tratado. As redes de esgotos abrangem 55% da população total (114,6 milhões de habitantes) e 63,2% da população urbana (112,4 milhões habitantes).

O Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), popularmente conhecido como gás de cozinha, é um combustível obtido através do petróleo e que é formado pela mistura dos gases propano e butano. Atualmente o GLP tem maior difusão em território nacional do que a energia elétrica, a coleta de esgoto e a água encanada. São mais de 66 milhões de residências que representam 91% do total de domicílios do Brasil e mais de 150 mil empresas regularmente atendidas por uma ampla e eficiente rede de distribuição do GLP, garantindo a presença em todos os municípios brasileiros, conforme apresenta o Sindicato das Empresas Distribuidoras de Gás no Brasil (SINDIGÁS) (2021). Todavia, o custo para aquisição do GLP P13 (botijão de 13 kg) tem apresentado um crescimento significativo. Segundo dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (2022) o preço médio no Brasil para o consumidor final subiu de R\$ 76,86 para R\$ 102,41 entre janeiro de 2021 e janeiro de 2022, representando um aumento de mais de 30%.

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, atrás apenas da China, da Índia e dos Estados Unidos (EUA), com um consumo em 2016 na ordem de 34 milhões de toneladas (Péra; Caixeta Filho, 2018). Segundo a GlobalFert (2020) esses quatro países concentram 58% da demanda global, com influência direta na dinâmica do mercado mundial. Nos últimos vinte anos no Brasil houve um aumento de 300% na demanda por fertilizantes

como reflexo do crescimento da produção agrícola. No entanto, no mesmo período, a produção nacional de fertilizantes diminuiu quase 30%, tornando o país cada vez mais dependente das importações, chegando a 90% dos fertilizantes utilizados em 2021 (Nastari, 2022). A utilização e importação de fertilizantes é parte importante da complexa rede de ações que integram o agronegócio, desde a compra de equipamentos e produtos que são utilizados internacionalmente no campo, cultivo do solo e produção da cultura até o armazenamento e distribuição para entrega aos clientes finais. A falta de fertilizantes produzidos no mercado brasileiro e a forte demanda mundial pela compra de produtos para tratamento do solo causam o problema dos recursos limitados utilizados no Brasil e a real necessidade de importação (Pinheiro *et al.*, 2022).

O mercado internacional de commodities enfrenta crises periódicas que podem representar altos riscos ao agronegócio brasileiro. A pandemia da COVID-19 causou interrupções no setor de transporte de suprimentos internacionais, aumentando os tempos e os custos de envio. Algumas cadeias de suprimentos foram severamente interrompidas devido à alta demanda por produtos. Como resultado, a inflação dos preços ao consumidor aumentou em muitos países. Em 2021, o fornecimento de fertilizantes foi caracterizado por problemas de disponibilidade devido a interrupções e altos preços das matérias-primas (Fernandes, 2022). Segundo Caligaris *et al.* (2022) o Brasil acelerou a implementação de medidas para solucionar o problema da falta de fertilizantes devido à crise gerada pelo conflito entre a Rússia e a Ucrânia, na qual impacta no mercado interno, devido ao fato do Brasil ser dependente dos fertilizantes russos.

Um biodigestor, de modo geral, pode ser definido como sendo um aparato onde ocorre o processo de degradação, transformação ou decomposição de matéria orgânica, na ausência de oxigênio, passando de moléculas mais complexas para aquelas com estruturas mais simples, convertendo os resíduos orgânicos num gás combustível conhecido como biogás e biofertilizante líquido (Reis, 2012). A utilização de biodigestores domésticos surge como alternativa para a redução do resíduo sólido orgânico residencial, responsável por cerca de 60% do volume do lixo produzido nas residências brasileiras (Oliveira *et al.*, 2005).

O uso de pequenos biodigestores não está difundido no Brasil, mesmo não sendo uma tecnologia nova. Com alta aplicabilidade, esta tecnologia pode ser utilizada para tratar diferentes tipos de resíduos: resíduos vegetais, resíduos animais, resíduos sólidos urbanos orgânicos, entre outros. Essa opção atende às necessidades de limpeza urbana tratando os resíduos localmente, evitando impactos ambientais como emissões de gases de efeito estufa (GEE), a poluição dos lençóis freáticos e águas superficiais, além de aumentar a produção

energética a partir do biogás e a produção de biofertilizantes (Nazaro, 2016). Embora não seja altamente difundida, existem tecnologias voltadas ao biodigestor doméstico no mundo e também existem empresas que atuam no mercado nacional atendendo esse setor, como é o caso da Homebiogas, uma empresa que atua em diversos países e que oferece modelos capazes de transformar os resíduos domésticos em energia renovável. No Brasil, algumas empresas atuam neste segmento, como a Biogrid, BGS e Recolast, que possuem modelos de baixo custo, portátil, capazes de tratar os resíduos orgânicos residenciais e também de produzir o biogás e biofertilizante.

Um dos motivos para os biodigestores não estarem difundidos pode ser a proteção por patentes. Segundo o Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI) (2020) patente é um título de propriedade temporária sobre uma invenção, concedido pelo Estado aos responsáveis pela invenção ou autoria. De posse deste direito, o inventor ou o detentor da patente tem a permissão de impedir que terceiros utilizem a patente sem o seu consentimento. Em vista disso, a chamada busca por “liberdade de operação” (também conhecidas na literatura lusófona como buscas de autorização, ou buscas de violação, ou na literatura inglesa “*freedom to operate*”) precisa ser realizada para determinar se para um novo interessado é comercialmente “seguro” fabricar ou vender um produto no país, sem infringir os direitos de terceiros existentes.

A elaboração de qualquer levantamento da liberdade de operação demanda a utilização de conhecimentos específicos de pesquisa patentária, bem como conhecimentos técnicos específicos do assunto. No caso do levantamento de liberdade de operação de biodigestores domésticos, do responsável pela pesquisa serão requeridos conhecimentos em assuntos diversos, típicos da formação em engenharia como materiais, processos de fabricação, mecânica dos fluidos, termodinâmica, projeto de máquinas, manutenção, controle, entre outros.

1.2 JUSTIFICATIVA

A pertinência do projeto pode ser observada no fato de que o assunto abordado está diretamente ligado a diversas políticas públicas acerca do desenvolvimento sustentável e na solução para o tratamento dos resíduos sólidos, estas políticas serão mencionadas a seguir.

Atualmente, a grande maioria dos governos e grandes corporações possuem políticas ambientais, essas políticas ambientais ajudam a reduzir o impacto ambiental do crescimento econômico e da urbanização. Diante disso, a Cúpula das Nações Unidas assinou um pacto global que visa superar os principais desafios de desenvolvimento enfrentados no Brasil e no mundo. Foram elaborados 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (2015) dos quais este trabalho tem ligação com 6 deles: 1) Erradicação da Pobreza; 2) Fome Zero e

Agricultura Sustentável; 3) Água Potável e Saneamento; 4) Energia Limpa e Acessível; 5) Cidades e Comunidades Sustentáveis; e 6) Ação Contra a Mudança Global do Clima.

O Brasil tem traçado medidas para combater os efeitos ambientais causados pelo crescimento econômico, como o Decreto nº 11.003, que incentiva o uso sustentável do biogás como programa para redução na emissão de metano e como fonte renovável de energia e combustível, o decreto tem algumas diretrizes como: incentivar o mercado de créditos de carbono; promover a implantação de biodigestores, sistemas de purificação de biogás e sistemas de produção e compressão de biometano; promover o uso do biometano como combustível veicular; promover o desenvolvimento de pesquisas para difundir as tecnologias orientadas a mitigar as emissões por fontes de metano; e promover medidas que estimulem a redução das emissões de metano (Brasil, 2022).

Um dos instrumentos da estratégia federal de incentivo ao uso sustentável das fontes energéticas renováveis é a RenovaBio (Brasil, 2019a), que reconhece o papel estratégico de todos os biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano, bioquerosene, segunda geração, etc.) na matriz energética do Brasil no que se refere à sua contribuição para a segurança energética, a previsibilidade do mercado e a mitigação de emissões dos gases causadores do efeito estufa no setor de combustíveis. A RenovaBio é composta por três eixos estratégicos: metas de descarbonização; certificação da produção de biocombustíveis; e crédito de descarbonização.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) foi elaborada com objetivo de melhorar o cenário problemático dos resíduos sólidos urbanos. A PNRS foi instituída pela Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 e regulamentada atualmente pelo decreto 10.936/22, estabelece princípios, objetivos e ferramentas, bem como diretrizes relativas à gestão e tratamento integrado de resíduos sólidos, incluindo resíduos nocivos, as responsabilidades dos geradores e do poder público e os instrumentos econômicos aplicáveis. A PNRS define uma sequência para priorizar o gerenciamento de resíduos: não gerar, reduzir, reutilizar, reciclar, tratar os resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. A última opção sendo a disposição em aterros sanitários (Brasil, 2010).

Neste contexto, sob uma perspectiva mais ampla, os resultados deste trabalho podem auxiliar no conhecimento em relação aos modelos de biodigestores domésticos, assim como para contribuir com um melhor aproveitamento dos resíduos orgânicos urbanos para produção de biogás e biofertilizante, colaborando com a redução nas emissões de gases de efeito estufa.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Fazer um levantamento de liberdade de operação de modelos de biodigestores domésticos no Brasil.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Fazer uma revisão dos mecanismos de pesquisa relacionado a patentes;
- Fazer um levantamento de estado da técnica de modelos de biodigestores domésticos incluindo bibliografia patentária e não patentária, nacional e internacional;
- Classificar os modelos de biodigestores domésticos, inclusive em relação a sua liberdade de operação no Brasil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 BIOGÁS

O biogás é um gás natural resultante do processo de digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos, tais como dejetos animais, resíduos vegetais e lixo industrial ou residencial, tem como característica ser composto por uma mistura de gases, em especial o metano e dióxido de carbono, os quais têm sua concentração influenciada pelas propriedades do resíduo e as condições ambientais nas quais ocorre o processo de digestão (Coldebella *et al.*, 2006). Segundo Pellizzer (2017) o biogás é o resultado de processo biológico, referente à decomposição de matéria orgânica em meio ausente de oxigênio e que ocorre naturalmente em lagos, pântanos e esterqueiras por intermédio da atividade de microrganismos.

De acordo com Nogueira (1986), conforme citado por Oliveira (2012) ainda que o biogás tenha sido descoberto anteriormente, a geração do biogás através da degradação de resíduos orgânicos foi pesquisada e aprimorada pelos estudos de Alessandro Volta em meados de 1776, o qual foi responsável pela difusão do uso deste tipo de fonte de energia.

Há evidências de que o biogás foi usado para aquecer banhos na Assíria já no século 10 a.C., mas a digestão anaeróbica pode ter sido aplicada a resíduos sólidos na China antiga. Na província de Guangdong, na China, o uso comercial do biogás foi atribuído a Guorui Luo, que em 1921, construiu um tanque de biogás alimentado com resíduos doméstico e posteriormente naquela década fundou uma empresa para popularizar a tecnologia (He, 2010).

O biogás é composto por uma mistura de gases e geralmente apresenta em torno de 65% de metano, o restante é composto na maior parte por dióxido de carbono e alguns outros gases como nitrogênio, hidrogênio, monóxido de carbono entre outros, porém, em menor composição (Coldebella *et al.*, 2006).

Segundo o estudo de Arthur e Baidoo (2011), que analisou a composição dos gases presentes no biogás, foi possível identificar as concentrações típicas de cada componente. A pesquisa envolveu uma série de medições, possibilitando uma compreensão mais detalhada da variação na composição do biogás. Com base nesses resultados, foi elaborada a Tabela 1 que apresenta de maneira sistematizada os valores de concentrações obtidos para cada um dos principais gases encontrados na mistura. Essa tabela serve como referência para futuras pesquisas e aplicações práticas no uso de biogás como fonte de energia renovável.

Tabela 1 - Média da composição do biogás através de diferentes resíduos orgânicos.

Gases	Fração Volumétrica (%)
Metano (CH ₄)	40 – 75
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 – 40
Nitrogênio (N)	0,5 – 2,5
Oxigênio (O)	0,1 – 1
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	0,1 – 0,5
Amônia (NH ₄)	0,1 – 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 – 0,1
Hidrogênio (H ₂)	1 – 3

Fonte: Arthur e Baidoo (2011).

O fato de ser possível utilizar o biogás como fonte energética é devido principalmente a parcela de metano que é produzida, quando puro e em Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP), tem um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m³. O biogás com composição de metano entre 50 e 80% possui um PCI entre 4,95 e 7,92 kWh/m³ (Coldebella *et al.*, 2006). A Tabela 2, relaciona a equivalência energética do biogás quando comparada a outras fontes de energia.

Tabela 2 - Equivalência energética do biogás em comparação com outras fontes.

Fontes Energéticas	Quantidade
Gasolina (L)	0,6 – 0,613
Querosene (L)	0,579 – 0,62
Diesel (L)	0,553 – 0,6
GLP (kg)	0,45 – 1,43
Álcool (L)	0,79 – 0,8
Carvão Mineral (kg)	0,735 – 0,74
Lenha (kg)	1,538 – 3,5
Eletricidade (kWh)	1,428 – 6,5

Fonte: Adaptado de Coldebella (2006).

Além do aproveitamento do biogás como fonte de energia, a utilização dos resíduos sólidos orgânicos como fonte de biogás apresenta grande importância na redução dos impactos ambientais visto que os resíduos ao serem despejados sem o correto tratamento liberam o gás metano na atmosfera, que é 24 vezes mais poluente que o gás carbônico, no que se refere ao efeito estufa (Coelho *et al.*, 2009).

2.2 BIODIGESTÃO

A digestão anaeróbica é um processo metabólico complexo que requer a ausência de oxigênio e depende da combinação de microrganismos para converter a matéria orgânica em dióxido de carbono e metano (Kunz, 2019). Esse processo pode ser dividido em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Cada processo é realizado por diferentes grupos de microrganismos, podendo requerer condições ambientais distintas.

a) Hidrólise:

A etapa de hidrólise é responsável pela degradação dos compostos de massa molecular elevada, como lipídios, polissacarídeos e proteínas em substâncias orgânicas mais simples e solúveis. Esse processo ocorre pela ação de enzimas extracelulares excretadas por bactérias hidrolíticas. A importância da etapa de hidrólise na taxa de degradação depende das características da matéria orgânica que compõem o sistema. Quando a matéria orgânica presente é complexa, existe a dificuldade de degradar o material, então a hidrólise é de grande importância na taxa global de degradação e pode ser considerada uma fase limitante da digestão anaeróbia. A duração da fase de hidrólise varia de acordo com as características do substrato, desde algumas horas para carboidratos até alguns dias para proteínas e lipídios. A lignocelulose e a lignina hidrolisam mais lentamente, muitas vezes de forma incompleta (Kunz, 2019).

b) Acidogênese:

Os produtos solúveis da etapa de hidrólise são metabolizados dentro das células das bactérias fermentativas em compostos mais simples que são então excretados por um grupo heterogêneo de bactérias, a maioria das quais são anaeróbias obrigatórias. Os compostos produzidos incluem ácidos graxos voláteis (AGV) de cadeia curta, álcoois, ácido lático, dióxido de carbono, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, bem como novas células bacterianas (Reis, 2012).

c) Acetogênese:

A terceira etapa da digestão anaeróbica é considerada crítica para o processo, sendo realizada por um grupo de bactérias denominadas bactérias acetogênicas. Bactérias acetogênicas estabelecem uma relação sintrófica com arqueas metanogênicas e bactérias homoacetogênicas. Nesta fase os ácidos de cadeia longa são transformados em ácidos com apenas um ou dois átomos de carbono (fórmico e acético), com a produção simultânea de hidrogênio e dióxido de carbono. As bactérias homoacetogênicas controlam o equilíbrio da direção da reação do consumo de hidrogênio e dióxido de carbono para produzir acetato. Para que a formação de ácidos de cadeia curta seja termodinamicamente favorável, ela deve ocorrer

em associação com o consumo de gás hidrogênio pelas arqueias metanogênicas. A sintrofia entre organismos de diferentes grupos microbianos permite que ambos cresçam, garantindo a viabilidade da produção de acetato a partir de ácidos orgânicos (Kunz, 2019).

d) Metanogênese:

A metanogênese ocorre sob condições estritamente anaeróbicas. Desta forma, o carbono contido na biomassa é convertido em dióxido de carbono e metano pela ação das arqueias metanogênicas. As arqueias metanogênicas são divididas de acordo com suas vias metabólicas em acetoclásticas e hidrogenotróficas. Arqueias metanogênicas acetoclásticas (*Methanosarcina*) convertem acetato em metano, e arqueias metanogênicas hidrogenotróficas (*Methanobacterium* e *Methanospirillum*) convertem hidrogênio e dióxido de carbono em metano (Kunz, 2019).

Pelo fato de ser um processo biológico, existem diversos fatores que podem influenciar o comportamento da digestão anaeróbia, visto que o ambiente deve fornecer condições necessárias para que os micro-organismos realizem as reações de conversão da matéria orgânica. Alguns fatores serão discutidos a seguir.

2.2.1 Temperatura

A temperatura é um dos fatores ambientais mais importantes na digestão anaeróbica, pois afeta os processos biológicos. Esse parâmetro afeta a velocidade da reação enzimática e a desnaturação dessas enzimas ou a destruição da capacidade dos microrganismos de produzir essas enzimas, prejudicando a eficiência do processo de bioestabilização de materiais orgânicos. (Reis, 2012).

De forma geral, o acréscimo na temperatura de um meio atua como catalisador, acelerando a velocidade de reações químicas. Porém, essa regra nem sempre se aplica aos processos biológicos de transformação e degradação, pelo fato de que cada microrganismo presente nos processos metabólicos tem a sua própria faixa ideal de temperatura. Segundo Makamure *et al.* (2021), o emprego do aquecimento no biodigestor contribui com o aumento na produção de metano, assim como na redução do tempo de retenção hidráulica e também na eliminação dos patógenos que podem estar presente no biofertilizante.

2.2.2 Alcalinidade e pH

A maioria dos processos biológicos são regidos pelo pH do meio. A faixa de pH ideal para a formação do gás metano é bem restrita e fica entre 6,7 e 7,5 (Kunz, 2019), porém ainda há formação de gás em valores levemente acima ou abaixo dessa faixa. O pH controla o equilíbrio de dissociação de importantes produtos metabólicos como a amônia, ácidos

orgânicos e sulfeto de hidrogênio. A capacidade de tamponamento do meio normalmente garante que o sistema permaneça com valor do pH estável. Se, no entanto, o pH sofrer grandes variações e se deslocar da faixa ideal, isso é geralmente um indicativo de desregulação grave do meio, que exigem medidas de correção urgentes, conforme sugere o Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás No Brasil (PROBIOGÁS) (2013).

2.2.3 Nutrientes

Para o processo de digestão anaeróbia são necessárias relações de 700:5:1 de demanda biológica de oxigênio, nitrogênio e fósforo, respectivamente. Os íons de enxofre, potássio, cálcio, magnésio, cloro e sulfato são necessários para o bom funcionamento da digestão anaeróbia. Elementos traços como ferro, cobre, zinco, magnésio, molibdênio e vanádio são importantes para o crescimento celular (Kunz, 2019).

Em relação aos macronutrientes carbono (C), nitrogênio (N) e fósforo (P), recomenda-se as seguintes proporções: C:N:P = 150:5:1. Se a razão C/N dos resíduos for muito alta é verificado uma carência de nitrogênio fundamental à síntese celular. Por outro lado, se esta razão é baixa, poderá ocasionar na degradação do substrato e na formação de amônia em quantidades elevadas, o que poderá ter um efeito tóxico. (Reis, 2012).

2.3 BIODIGESTORES

Os biodigestores podem ser definidos como um reservatório fechado, com seu interior totalmente separado com o ar atmosférico, para que toda matéria orgânica inserida no seu interior, passe pelo processo de fermentação anaeróbica através da atividade de bactérias. Os produtos resultantes da digestão anaeróbia dessa biomassa serão o biogás e também o biofertilizante (Kunz, 2019).

Há diversos tipos de biodigestores e cada um possui vantagens e desvantagens e características próprias de operação. O tipo de modelo a ser utilizado depende de características funcionais desejadas e condições ambientais, como: local a ser instalado, tipo de matéria orgânica utilizada, facilidade construtiva, periodicidade de manutenção. Contudo, todos eles levarão aos mesmos produtos resultantes.

A seguir será apresentado os modelos comumente utilizados atualmente e suas principais características.

2.3.1 Tipos de Alimentação

2.3.1.1 Alimentação Descontínua

A alimentação descontínua, também conhecida como alimentação do tipo batelada, consiste em um sistema simples e que possui baixa exigência operacional. Pode ser constituído por um tanque anaeróbio, como mostra a Figura 1, ou por diversos tanques dispostos em série. Esse tipo de biodigestor se difere dos demais pelo fato de sua alimentação ser feita uma única vez, apenas sendo reabastecido quando todo material orgânico for completamente digerido. Segundo Deganutti (2002), o modelo em batelada adapta-se melhor quando a disponibilidade da biomassa ocorre em períodos mais longos, como ocorre em granjas avícolas de corte, cuja a biomassa fica à disposição após a venda dos animais e limpeza do galpão.

Figura 1 - Biodigestor tipo Batelada.



Fonte: Deganutti (2002).

2.3.1.2 Alimentação Contínua

Nos sistemas de alimentação contínua, a matéria orgânica a ser digerida é inserida de forma constante e regular aos digestores, ao decorrer do processo de digestão em que é removida uma quantidade igual de resíduos já digeridos. Este tipo de alimentação resulta numa produção de biogás contínua. Por outro lado, os sistemas contínuos apresentam a desvantagem do risco de parte do resíduo que é removido continuamente do digestor não se encontrar completamente digerido e/ou estabilizado (Reis, 2012).

Os biodigestores contínuos são divididos em horizontais e verticais, de acordo com seu posicionamento no solo. Os modelos verticais são comumente constituídos por um tanque cilíndrico de alvenaria e na maioria das vezes com maior proporção do seu tamanho instalada

no subsolo. A alimentação desse tipo de biodigestor é feita pela parte inferior, através de uma tubulação, enquanto o biogás sai pela parte superior. Os biodigestores contínuos horizontais têm sua altura menor que seu comprimento e largura. Eles podem ou não estarem submersos, o que faz com que os mesmos sejam recomendados em áreas onde existem lençóis freáticos, com baixos riscos de contaminação. A alimentação de biomassa é realizada pela lateral do biodigestor, enquanto no lado oposto é obtido o biofertilizante (Junqueira, 2014).

Os modelos mais utilizados de biodigestores contínuos são o Indiano, o Chinês e o Canadense. Esses três tipos de biodigestores serão apresentados a seguir.

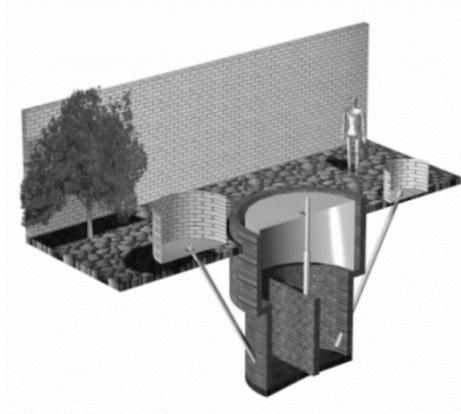
a) Modelo Indiano

O modelo indiano é caracterizado por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar submersa sobre a mistura orgânica em fermentação, ou num selo d'água externo, e por possuir uma divisão central, como mostra a Figura 2, que separa o tanque de fermentação em duas câmaras. A função dessa parede divisória é para que promova a circulação do material orgânico por todo o interior da câmara de fermentação, a Figura 3 ilustra um modelo 2D de biodigestor indiano. Este tipo de modelo opera em pressão constante, ou seja, à medida o biogás é produzido e não é consumido na mesma proporção, o gasômetro se desloca verticalmente, aumentando o volume do biodigestor, de forma a manter a pressão no interior deste constante (Deganutti, 2002).

A necessidade de se utilizar uma campânula aumenta os custos do modelo devido sua construção, geralmente feita de metal ou fibra, podendo até tornar inviável a implantação do biodigestor. O efeito da oxidação da campânula, quando esta é feita em material metálico, exige manutenção constante. A proteção da campânula deve ser feita regularmente com o uso de tintas para evitar a oxidação conforme sugere a Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (2021).

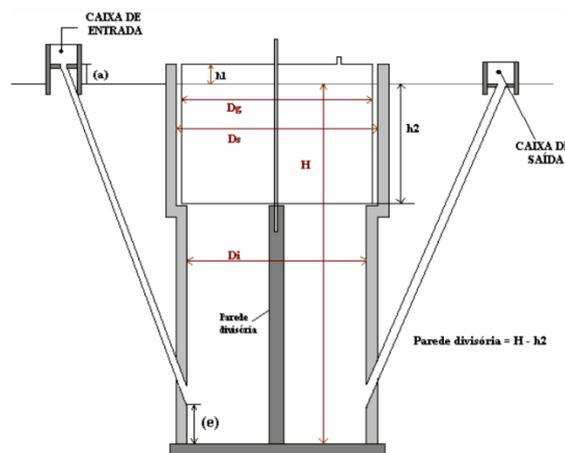
Ainda segundo Deganutti (2002), a matéria orgânica que é alimentada no biodigestor, deve apresentar uma concentração de sólidos totais (ST) menor ou igual a 8%, para que seja facilitado a circulação do resíduo no interior da câmara de fermentação e também prevenir a obstrução da tubulação de entrada e saída do material.

Figura 2 - Biodigestor Indiano.



Fonte: Deganutti (2002).

Figura 3 - Modelo 2D do biodigestor Indiano.



Fonte: Deganutti (2002).

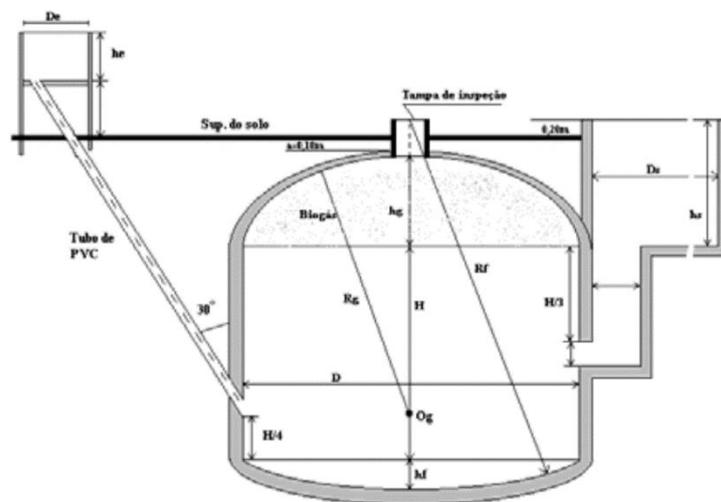
b) Modelo Chines

Este tipo de modelo é constituído por um tanque cilíndrico, geralmente feito em alvenaria, para a fermentação da biomassa, com teto abobado, impermeável, com a finalidade de armazenar o biogás. Este biodigestor possui funcionamento embasado no princípio de uma prensa hidráulica, de modo que conforme aumenta a pressão em seu interior, pelo acúmulo de biogás, resulta no deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e no sentido oposto quando ocorre descompressão. Como o modelo Chinês é constituído quase

que totalmente em alvenaria, resulta na redução dos custos por conta de não haver mais necessidade do gasômetro em metal, todavia pode ocorrer problemas com vazamento do biogás caso a vedação da estrutura não seja bem feita e impermeabilizada (Deganutti, 2002).

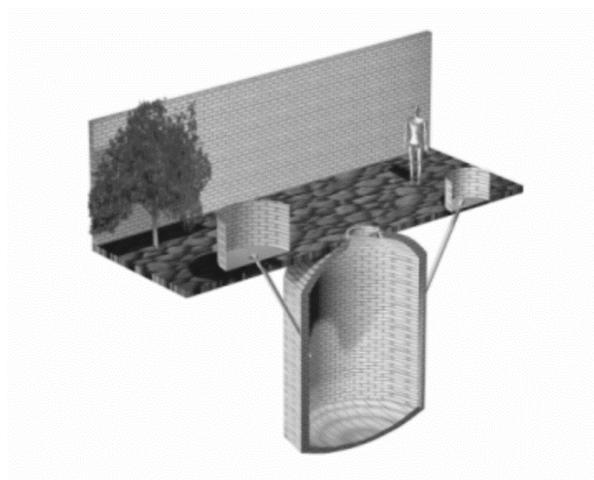
Semelhante ao modelo indiano, conforme Deganutti (2012), o substrato deve ser alimentado de maneira contínua e com concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material. A Figura 4 mostra a vista frontal em corte do biodigestor e a Figura 5 a representação tridimensional em corte, para ilustrar o interior do biodigestor.

Figura 4 - Modelo 2D do biodigestor chinês.



Fonte: Deganutti (2002).

Figura 5 - Modelo 3D em corte do biodigestor chinês.

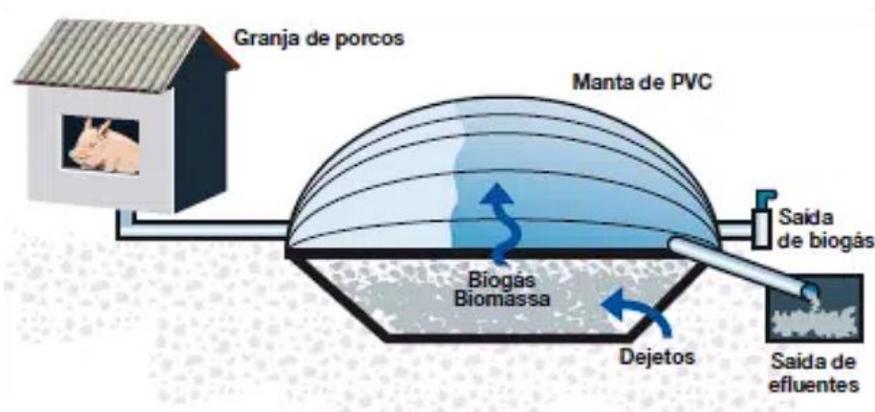


Fonte: Deganutti (2002).

c) Modelo Canadense

O biodigestor Canadense, comumente denominado de biodigestor de fluxo tubular, apresenta uma tecnologia mais moderna e atual, ainda que possua uma construção simplificada, possui câmara de biodigestão escavada no solo e um gasômetro inflável feito de material polimérico, como mostrado na Figura 6. Segundo Castanho e Arruda (2008) esse biodigestor é do tipo horizontal, com uma caixa de entrada em alvenaria, onde a profundidade é menor que a largura, para que o substrato tenha maior exposição ao sol com a finalidade de aumentar a produção de biogás e evitar o entupimento da tubulação de entrada. Durante a produção de biogás, a cúpula de material plástico maleável infla, acumulando o biogás. Nesse tipo de biodigestor, pode-se ainda enviar o biogás para um gasômetro separado para obter um maior controle.

Figura 6 - Modelo canadense.



Fonte: Blog Sansuy¹ (2019).

2.3.2 Biodigestores Domésticos

Com foco em residências, os biodigestores domésticos (tanque digestivo de até 50 m³) é capaz de produzir biogás para utilização em variadas finalidades, tal qual: cozimento (em fogões apropriados para biogás), aquecimento de água ou de ambientes e iluminação (em lâmpadas a gás). A alternativa do aproveitamento energético do biogás para geração de eletricidade geralmente apresenta viabilidade em biodigestores de grande porte. Por conta das vantagens ambientais que a utilização do biogás como fonte energética em alternativa aos combustíveis fósseis, e a ampla disponibilidade de matéria prima proveniente da biomassa

¹ Blog Sansuy. Biodigestor da Sansuy oferece soluções para o pecuarista. Embu (SP): Sansuy, 2019. Disponível em: <https://blog.sansuy.com.br/biodigestor-da-sansuy-oferece-solucoes-para-o-pecuarista/>. Acesso em: 05 abr. 2024.

residual produzida nas variadas atividades, a tecnologia dos biodigestores vem ganhando evidência como uma fonte de energia renovável e competitiva em diversos países (Nazaro, 2016).

Ainda segundo Nazaro (2016), diversos modelos de biodigestores residenciais, como mostra a Figura 7, são usados pelo mundo, de modo geral, estes biodigestores utilizados em países em desenvolvimento tem seu projeto voltado para digestão de resíduos orgânicos residenciais. Estes biodigestores são, geralmente, desprovidos de sistemas de aquecimento, podem ou não possuir sistemas de agitação e foram projetados com o objetivo de desenvolver um produto acessível e capaz de solucionar os problemas de fornecimento energético existentes.

Figura 7 - Biodigestor Recolast.



Fonte: Recolast Ambiental² (2022).

2.4 RESÍDUOS SÓLIDOS

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT - NBR 10.004, 2004), os resíduos sólidos são definidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

² RECOLAST AMBIENTAL. Biodigestor Residencial. Guarulhos (SP), 2024. Disponível em: <https://www.recolastambiental.com.br/img/biodigestor-residencial.jpg>. Acesso em: 25 mar. 2024.

Ainda segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT - NBR 10.004, 2004), os resíduos sólidos são classificados em função da periculosidade em:

a) Resíduos classe I – Perigosos: São todos os resíduos que podem apresentar riscos à saúde pública provocando mortalidade ou doenças e ao meio ambiente quando gerenciado de forma inadequada;

b) Resíduos classe II – Não perigosos: Os resíduos, classe II, são ainda subdivididos em duas classes:

- Resíduos classe II A – Não inertes: São todos os resíduos que não se enquadram na classe I – Perigosos ou classe II B – Inertes e que podem apresentar propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
- Resíduos classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos que submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados.

2.4.1 Resíduos Alimentares

Os resíduos alimentares são resíduos orgânicos que são gerados através da preparação da alimentação humana, pode ser na cozinha domiciliar ou em qualquer outro tipo de estabelecimento. Esses resíduos são comumente encontrados nos resíduos sólidos domiciliares, em proporções de até 65% dos orgânicos totais. Com frequência é percebido a predominância dos resíduos orgânicos com relação às questões ambientais e de saúde da pública que causam problemas, quando dispostos a céu aberto, como é o caso dos lixões que se tornam focos de criação de vetores de doenças como ratos e insetos (Viana *et al.*, 2015).

Outro ponto a ser considerado são os custos de limpeza dos recicláveis quando em contato com os resíduos orgânicos e a redução do tempo de vida útil de aterros sanitários, que deveriam ser utilizados apenas pelos resíduos que não há possibilidade de fazer a reciclagem. Segundo Viana *et al.* (2015), somente a reciclagem da fração orgânica já proporciona uma redução de pelo menos 50% dos resíduos destinados a tais métodos de disposição. Em contrapartida, a reciclagem da fração orgânica do lixo conta, com variados métodos, com maior ou menor grau de execução, porém que tem potencial de solucionar melhor esta questão. Além do uso em biodigestores, outras soluções como a compostagem trata da produção do composto em que a composição de nutrientes desse tipo de componente serve para o cultivo de plantas; outra alternativa é o uso de tais resíduos orgânicos na alimentação de animais em forma de “lavagem”.

2.4.2 Esgoto Doméstico

O esgoto doméstico é originado principalmente de moradias, lojas, escritórios ou qualquer tipo de construção equipada com banheiros, lavanderias e cozinhas. Segundo o Manual de saneamento da Funasa (Brasil, 2019b) a composição das águas residuais domésticas é majoritariamente orgânica, incluindo águas contendo materiais provenientes de dejetos humanos no esgotamento dos sanitários e águas residuais de atividades domésticas, como banhos, lavagem de pisos, utensílios e roupas. Incluem também os efluentes das instalações sanitárias de estabelecimentos comerciais, empresas e instituições. Seu volume depende apenas do número de pessoas atendidas. O esgoto doméstico pode ser classificado em dois tipos:

- Águas negras: parte oriunda das instalações sanitárias, contendo fezes e urina;
- Águas cinzas: parte oriunda de banhos, lavagens e demais usos domésticos.

Os componentes das águas residuárias podem ser representados pelos valores médios de alguns parâmetros diretos ou indiretos, divididos em três categorias: físicas, químicas e biológicas. Conforme apresenta o Manual de saneamento da Funasa (Brasil) (2019) as principais características físicas relacionadas com as águas residuais domésticas são: matéria sólida, temperatura, odor, cor e turbidez e variação de vazão; os principais elementos químicos das águas residuais domésticas são: matéria orgânica e matéria inorgânica. Cerca de 70% dos sólidos nas águas residuais são orgânicos, geralmente esses compostos são uma combinação de carbono, hidrogênio e oxigênio e algumas vezes nitrogênio; e as principais características biológicas das águas residuais domésticas são: microrganismos e indicadores de poluição.

2.5 PATENTES

O Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI) (2020) define uma patente como um título de propriedade temporária sobre uma invenção, concedido pelo Estado aos responsáveis pela invenção ou autoria. Ao deter este direito, o inventor ou possuidor da patente concedida tem a garantia de impedir que terceiros utilizem de qualquer forma o produto objeto de sua patente sem o seu consentimento. Em contrapartida, é necessário que o inventor apresente o conteúdo técnico da patente de forma detalhada.

Existe a possibilidade de proteger invenções por outros meios, ou seja, além de obter uma patente. Dessa forma, O INPI sugere outros tipos de proteção, como:

- a) Modelo de utilidade: é um tipo de patente de menor custo de aquisição, com maior facilidade de obtenção quando comparado a patente de invenção (PI). De forma geral, os requisitos para se obter o modelo de utilidade (MU) são menos rigorosos do que para a PI. Todavia, o MU não é tão seguro quanto a PI e pode não possuir o mesmo período

de proteção. Além disso, a proteção conferida pelo MU só pode ser obtida para determinadas áreas tecnológicas, e nem todos os países concedem esse direito.

- b) Desenho industrial: fornece proteção sobre os aspectos ornamentais ou estéticos do produto, ou seja, a forma ou aparência do objeto. Geralmente utilizado em produtos como: joalheria, vestuário, veículos, mobiliário, eletrodomésticos. No Brasil, a proteção do Desenho Industrial não é feita por uma patente, mas sim por um registro no INPI.
- c) Programas de computador: podem ser protegidos via direitos autorais. Porém, aqueles em forma de invenções implementadas por programas de computador podem também ser patenteáveis. No Brasil, a proteção dos programas de computador não é feita pela patente, mas sim por Direito Autoral por meio de um registro no INPI.
- d) Marca: símbolo que distingue os bens ou serviços de uma empresa das demais. A proteção por marca é adequada para evitar que outras pessoas utilizem o nome e a reputação da sua empresa para comercializar outros bens ou serviços.

2.6 LIBERDADE DE OPERAÇÃO

A liberdade de operação, da expressão em inglês “*freedom to operate*” (FTO), é uma situação jurídica que está relacionada à possibilidade de se realizar atividades comerciais ou desenvolver produtos sem que haja violação dos direitos de propriedade intelectual do detentor da inovação, conforme Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI) (2014). Contudo, a situação jurídica de um pedido de patente assim como uma patente que já teve seu parecer deferido pode ser alterado a qualquer momento durante a duração da patente. Os direitos de patentes são territoriais e é um direito concedido pelo País ao solicitante da patente, então a pesquisa de liberdade de operação é específica para cada país. Dessa forma, um estudo sobre liberdade de operação necessita de buscas em fontes de dados nos países na qual há interesse em utilizar a tecnologia envolvida. A busca deve ser ampla, alcançando as patentes que já foram concedidas, assim como os pedidos de patente que ainda não teve seu parecer deferido.

A relevância da Análise de liberdade de operação não pode ser ignorada, principalmente em setores comerciais extremamente competitivos e inovadores. Antes de introduzir um novo produto, tecnologia ou procedimento, é fundamental realizar uma investigação minuciosa para garantir que não existam barreiras legais que possam resultar em disputas que gerem altos custos. A Análise da FTO propicia certas vantagens no setor empresarial, tais como: mitigação de riscos, já que ao identificar potenciais problemas antes do lançamento de um produto ou tecnologia, as empresas podem tomar medida preventivas, minimizando a possibilidade de

litígios; incentivo à inovações, permitindo que as empresas desenvolvam novas tecnologias sem o receio recorrente de infringir propriedade intelectual existente, oferecendo uma base sólida para a inovação e o desenvolvimento sustentável; contribui no rastreio de patentes que não estão mais protegidas e que podem ser utilizadas (Paranhos; Ribeiro, 2018).

3 METODOLOGIA

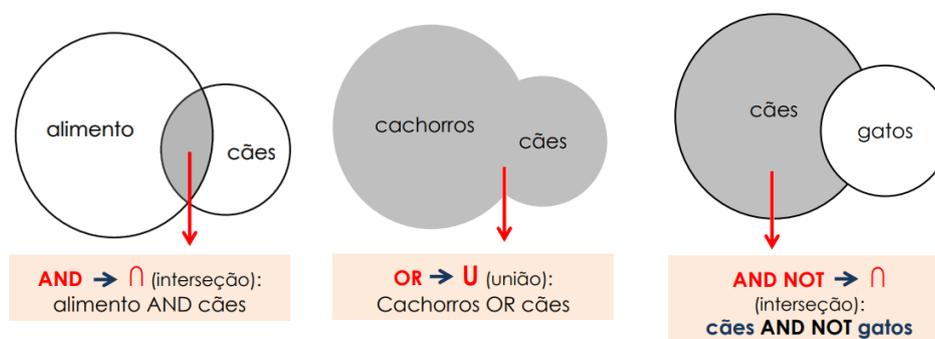
Aqui será descrito técnicas de pesquisa que são comumente utilizadas para realizar buscas e selecionar filtros adequados ao que se deseja obter como resultado, assim como os tipos de buscas que são voltados à pesquisa de patentes.

3.1 TÉCNICAS DE BUSCAS

3.1.1 Lógica Booleana

A Lógica Booleana é assim denominada, de acordo com George Boole (1815- 1864), matemático e lógico britânico que desenvolveu a teoria da lógica binária, na qual consiste num sistema binário de dados, admitindo apenas dois valores possíveis 0 ou 1, em outra forma, verdadeiro ou falso. Conforme Saks (2005), a busca booleana é uma aplicação da lógica booleana, é um tipo de sistema de recuperação de informação, que é utilizado para combinar duas ou mais palavras, conectando-as por operadores lógicos, o que torna a busca mais restrita. A estratégia de busca é baseada na combinação entre as informações de determinados documentos e a correspondente consulta de busca, feita pelo usuário do sistema. Os operadores booleanos são fundamentados na álgebra de Boole e permitem efetuar operações de caráter lógico-matemático. O operador E (*AND*) faz uma interseção entre duas palavras, o operador OU (*OR*) faz uma união entre as palavras pesquisadas e o operador NÃO (*NOT*) faz uma interseção entre palavras, porém diferentemente do *AND*, ele não pega documentos que possuem a palavra após o *NOT*. A Figura 8 auxilia no entendimento dos operadores, na qual o resultado da busca está em cinza escuro.

Figura 8 - Operadores Booleanos.



Fonte: Adaptado de Operadores Lógicos (INPI) (2023).

3.1.2 Truncamento

O operador booleano conhecido como operador de truncamento é um recurso utilizado em mecanismos de busca em bancos de dados para expandir ou restringir a pesquisa por meio de termos parciais ou incompletos. Ele é representado, geralmente, pelo símbolo de asterisco (*) e desempenha um papel importante na recuperação de informações relevantes.

Segundo o Módulo Básico Complementar II do Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI) (2023), existem três variações comuns para utilizar o operador truncamento. No truncamento à direita, é possível pesquisar um termo com um prefixo comum e obter todas as palavras que começam com essa sequência de caracteres. Por exemplo, pesquisando por “comp*” em um mecanismo de busca, pode encontrar palavras como “computador”, “compressor”, “compacto” e assim por diante. O truncamento à esquerda consiste em utilizar o símbolo antes da palavra pesquisada, ou seja, como um sufixo. Por exemplo, uma busca por “*idade”, terá resultados do tipo “felicidade”, “obesidade”, “fertilidade”. E, por fim, a união das duas formas anteriores. Como exemplo a pesquisa por “*solar*” pode trazer resultados como “isolar”, “ensolarado” e “consolar”.

O truncamento é especialmente útil quando deseja-se fazer uma pesquisa amplificada e flexível, permitindo que você encontre diversas variações de uma palavra-chave ou no intuito de expandir os resultados de pesquisa. No entanto, é importante ter em mente algumas considerações ao usar o operador de truncamento. O operador pode levar a resultados fora do esperado se não for utilizado adequadamente. Por exemplo, ao pesquisar "comp*" você pode obter resultados relacionados a "computador" e "compilar", mas também pode obter resultados irrelevantes, como "comprar" ou "composição". Portanto, é importante refinar a pesquisa conforme necessário para evitar resultados indesejados.

3.2 TIPOS DE BUSCAS

3.2.1 Buscas do estado da técnica

A Lei Nº 9.279 define o estado da técnica por tudo aquilo tornado acessível ao público antes da data de depósito do pedido de patente, por descrição escrita ou oral, por uso ou qualquer outro meio, no Brasil ou no exterior (Brasil, 1996). Uma busca de estado da técnica é feita quando se deseja avaliar o nível de desenvolvimento em uma área específica da tecnologia. Seu objetivo é mostrar que pode ser encontrada uma solução para o problema técnico em patentes. Também é uma opção fazer uma busca do estado da técnica antes de considerar o licenciamento ou a aquisição de uma tecnologia específica. É uma pesquisa para ver quais outras soluções

estão disponíveis neste campo, como elas evoluíram com o tempo e se ainda estão protegidas por patente.

3.2.2 Buscas da validade

Os detentores das patentes têm direito legal de proibir qualquer utilização, fabricação, venda, importação de suas invenções sem que haja um consentimento prévio, podendo processar a pessoa ou empresa na justiça por violação dos direitos. De forma a evitar tais problemas é necessário parar de realizar a ilegalidade, contudo também é possível mediar uma negociação ou um contrato de licença com o proprietário da patente, ou ainda contestar a validade da patente. A primeira etapa do processo para refutar a patente consiste em verificar a situação jurídica da patente. Deve ser avaliado se a patente está em vigor no país em questão, ou com prazo vencido, ou se foi revogada.

Caso haja uma patente pertinente vigente, então precisa-se verificar se a invenção é nova e inventiva. Numa busca da validade, não se trata de uma invenção proposta, mas de uma patente real que é necessário demonstrar não ser válida. Se for possível encontrar documentos mostrando que a invenção reivindicada não parece ser nova ou, pelo menos, que não parece ser inventiva, pode-se obter uma suspensão da ação confrontada na justiça ou condições muito melhores para uma licença.

3.2.4 Buscas pelo nome

As buscas pelo nome são utilizadas para obter informações sobre documentos de patente que envolvem empresas ou pessoas específicas, depositantes, concessionários, titulares de patente ou inventores. Pode ser o caso para descobrir como funciona uma invenção específica, quando o único elemento que você conhece é o nome do inventor. Há, contudo, outras razões para que sejam realizadas buscas do nome: para descobrir, por exemplo, a área da tecnologia na qual trabalham os seus concorrentes. Também é possível descobrir em que países estão depositando pedidos de patentes e, provavelmente, comercializando seus novos produtos. Da mesma forma, é possível encontrar em que países eles não estão depositando pedidos de patentes e onde a utilização da invenção é livre.

3.2.5 Buscas pelo Código IPC

A Classificação Internacional de Patentes (*International Patent Classification – IPC*) é um sistema de classificação que utiliza de uma hierarquia de dados, utilizado para classificar e pesquisar documentos de patentes conforme as áreas técnicas às quais os documentos

pertencem. O código atua como ferramenta para uma disposição de organização dos documentos de patentes, conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9 - Organização hierárquica do código IPC.

Código IPC: A 22 C 29/02 (exemplo)

Seção	Classe	Subclasse	Grupo	Subgrupo
A	22	C	29	02

Seção A - Necessidades Humanas

Seção B - Operações de Processamento; Transporte

Seção C - Química e Metalurgia

Seção D - Têxteis e Papel

Seção E - Construções Fixas

Seção F - Eng. Mecânica; Iluminação; Aquecimento; Armas; Explosão

Seção G - Física

Seção H - Eletricidade

Fonte: O autor.

Para fazer uma busca pelo código IPC é necessário primeiramente acessar o catálogo de códigos IPC, definir quais códigos fazem sentido de ser utilizado para a pesquisa realizada, e posteriormente acessar um banco de dados de patentes ou um site de escritório de patentes, inserindo nos campos de buscas os códigos que foram definidos.

3.2.6 Buscas por Liberdade de Operação

As buscas da liberdade de operação é a pesquisa que tem como objetivo analisar se uma invenção pode ser utilizada sem que haja violação dos direitos que envolve uma patente, isto é, poder usufruir do conhecimento para quaisquer fins sem ser penalizado judicialmente.

Uma etapa essencial na busca da liberdade de operação consiste em conhecer a situação jurídica atual do modelo ou patente no local onde deseja-se utilizar a invenção. O parecer da situação jurídica pode ser alterado em qualquer momento durante o tempo de validade da patente. Alguns países exigem o pagamento de taxas anuais de renovação de pedido, ou seja, caso o detentor não cumpra com este requisito poderá ter seu pedido extinto, o mesmo vale para uma patente já concedida, onde é necessário o pagamento da taxa de renovação correspondente a cada ano que a patente está protegida.

Outra forma de garantir a liberdade de operação é através da busca do estado da técnica, na qual consiste em encontrar alguma referência existente em que sua publicação seja anterior ao depósito do pedido da patente, ou seja, comprovando que a invenção não é de fato uma novidade tecnológica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente foi realizado o levantamento das informações para desenvolver a busca de liberdade de operação. Com base no catálogo de códigos IPC, foi possível definir quais códigos são relevantes para a pesquisa abordada. Os códigos que foram definidos conforme o catálogo, estão apresentados a seguir:

- a) C02F: Tratamento de água, de águas residuais, de esgotos ou de lamas e lodos.
- C02F 3/28: Tratamento biológico de água, águas residuais, ou esgotos (Processo de digestão anaeróbica);
 - C02F 9/14: pelo menos uma etapa sendo um tratamento biológico;
 - C02F 11/04: Tratamento de lamas e lodos; seus dispositivos (Tratamento anaeróbico; Produção de metano por tais processos);
 - C02F 101/30: Natureza do contaminante (Compostos orgânicos);
 - C02F 103/20: Natureza da água, água residual, esgoto ou lodo a ser tratado (da criação de animais).
- b) C05F: Fertilizantes orgânicos não abrangidos pelas subclasses C05B, C05C.
- C05F 3/06: Fertilizantes feitos de excremento humano ou de animais, p. ex. estrume (Aparelhos para sua manufatura);
 - C05F 9/02: Fertilizantes feitos com refugos domésticos ou de cidades (Aparelhos para sua manufatura);
 - C05F 9/04: Fertilizantes feitos com refugos domésticos ou de cidades (Composto biológico);
 - C05F 17/00: Preparação de fertilizantes caracterizada por etapas de tratamento biológico ou bioquímico, p. ex. compostagem ou fermentação;
 - C05F 17/907: Dispositivos de pequena escala sem meios mecânicos para alimentar ou descarregar o material, p. ex. caixas de compostagem de jardim;
 - C05F 17/993: Dispositivos para a medição de parâmetros de processo, p. ex. temperatura, pressão ou umidade.
- c) C05G: Misturas de fertilizantes pertencendo individualmente a diversas subclasses da classe C05; misturas de um ou mais fertilizantes com aditivos que não possuem atividade especificamente fertilizante.

- C05G 3/00: Misturas de um ou mais fertilizantes com aditivos sem atividades especificamente fertilizantes.

d) C12M: Aparelhos para enzimologia ou microbiologia.

- C12M 1/00: Aparelhos para enzimologia ou microbiologia;
- C12M 1/12: com meios de esterilização, filtração ou diálise;
- C12M 1/107: com meios para recolher os gases de fermentação, p. ex. metano (produção de metano por tratamento anaeróbico de lodos C02F 11/04).

e) E03F: Esgotos; fossas.

- E03F 5/18: Tanques para desinfetar, neutralizar ou resfriar águas de esgotos (disposições em tanques, quanto ao aspecto biológico ou químico C02F).

Outro grupo de informações que foram definidos são as palavras-chave. A escolha de palavras-chave relevantes e adequadas contribui no aumento da eficácia das pesquisas, garantindo resultados mais pertinentes. Dessa forma, foram definidas as seguintes palavras-chaves:

- a) Pesquisas Nacionais: Biodigestor; biogás; biofertilizante; metano; biometano; doméstico; geração; resíduos; orgânicos.
- b) Pesquisas Internacionais: Household; home; domestic; organic; garbage; trash; waste; gas; biogas; methane; fertilizer; production; generation.

4.1 LEVANTAMENTO DO ESTADO DA TÉCNICA

O levantamento do estado da técnica foi realizado através da pesquisa em fontes de acesso público, com base nos tipos de modelos de biodigestores abordados anteriormente e dos dados levantados, fazendo uma busca em artigos científicos e por meio dos sites de empresas que atuam neste setor. É possível notar a variedade de modelos disponíveis e a abrangência de diversos tipos de demandas. A seguir, alguns desses modelos de biodigestores foram detalhados de forma a mostrar suas características e funcionalidades técnicas, entretanto a abordagem limita-se às informações contidas nos manuais, artigos de cada modelo e nos dados gerais das patentes.

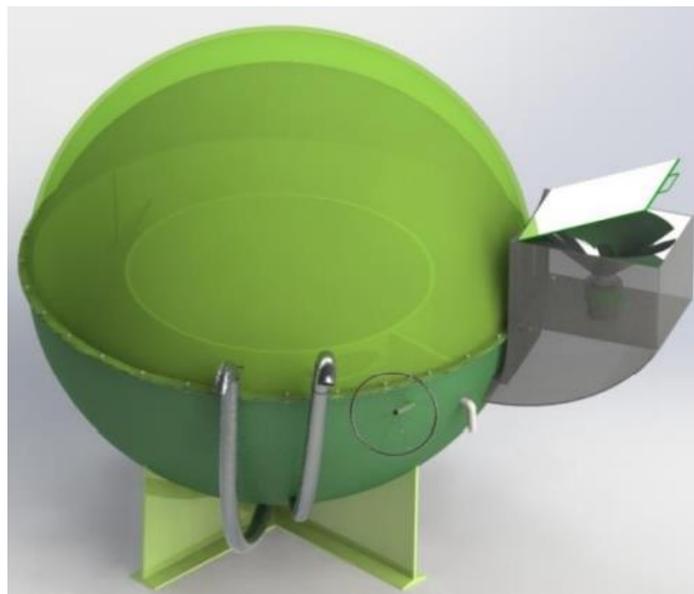
4.1.1 Modelo Plug Flow

O modelo proposto por Nazaro (2016) teve seu desenvolvimento baseado no cumprimento de algumas premissas propostas, tais como: tratar a parcela sólida e líquida de resíduos orgânicos residenciais; não haja entupimento nas tubulações; baixa manutenção;

volume do biodigestor variável; não necessita de aquecimento, bombeamento ou agitação; possuir inércia térmica elevada; e possuir design agradável para os usuários.

O biodigestor foi dimensionado para atender uma demanda de 100 pessoas, ele possui 5,71 m³ de volume, com alimentação do tipo contínua e construído em polietileno de alta densidade (PEAD). O modelo visa a fácil instalação, já que não necessita de obras no local, a Figura 10 ilustra o modelo desenvolvido e a Figura 11 apresenta a parte interna do biodigestor.

Figura 10 - Biodigestor Plug Flow.



Fonte: Nazaro (2016).

Figura 11 - Parte interna do biodigestor.



Fonte: Nazaro (2016).

Segundo Nazaro (2016), este biodigestor seria capaz de abastecer 24 unidades de fogão (01 boca) durante 3 horas por dia ou 17 unidades de lamparina a gás por 8 horas em cada dia.

4.1.2 Modelo em Tambor

O modelo proposto por Metz (2013) foi elaborado visando a aplicação educacional e em caráter multidisciplinar de forma a aumentar a visibilidade das fontes geradoras de energia limpa e renovável para que este assunto esteja presente em escolas na região urbana.

A seleção dos materiais que compõem o biodigestor foi determinada na facilidade de obtenção e com intuito de reduzir os custos. Um tambor de PEAD, com volume de 250L, foi utilizado como reservatório do biodigestor, onde ocorre a digestão anaeróbia, e foi utilizado também conexões em PVC para as tubulações e ligações necessárias, o modelo final pode ser visualizado na Figura 12. Foi confeccionado um sistema para agitação da biomassa com tubos de PVC, conforme mostra a Figura 13, e cola apropriada para PVC de forma a garantir a vedação do sistema. A alimentação do biodigestor foi feita com restos de alimento e com esterco bovino como inóculo, operando em batelada.

Figura 12 - Biodigestor de Tambor.



Fonte: Metz (2013).

Figura 13 - Estrutura para agitação.



Fonte: Metz (2013).

Conforme Metz (2013) o biodigestor foi estudado pelo período de 90 dias, durante o experimento foi possível observar que a produção de biogás neste modelo foi influenciada pela temperatura do ambiente, na qual os dias mais quentes otimizaram a produção de biogás.

4.1.3 Homebiogas

A Homebiogas é uma empresa com mais de 10 anos de experiência em construção de biodigestores domésticos. O grande diferencial nos modelos oferecidos por ela está na facilidade de transporte, instalação e utilização, já que o equipamento é inteiramente construído em lona, o que torna extremamente leve quando comparado aos demais modelos existentes.

A Homebiogas possui modelos com 2,1 e 4,3 m³ de volume de digestão, com capacidade de digerir, respectivamente, 4 e 10kg de resíduos orgânicos por dia. Ele conta com um sistema próprio de gasômetro, que fica acoplado ao biodigestor e utiliza pesos para fazer a pressurização do biogás. Os modelos também produzem diariamente biofertilizante, 4L para modelo menor e 10L para o maior. Junto ao biodigestor é entregue um kit com fogão para utilizar o biogás produzido e um sistema de purificação para que contenha apenas o gás metano na queima. A manutenção do equipamento é feita a cada 5 anos, para remoção do lodo que se deposita no fundo do biodigestor. A Figura 14 ilustra o modelo da Homebiogas.

Figura 14 - Biodigestor Homebiogas.



Fonte: Homebiogas (2023).

4.1.4 Acqualimp

O biodigestor oferecido pela empresa Acqualimp possui uma finalidade diferente dos modelos anteriores, onde se tinha um objetivo de utilizar o biogás produzido através da digestão dos resíduos orgânicos, o biodigestor da Acqualimp é uma miniestação de tratamento de esgoto com funcionamento de um reator de fluxo ascendente, na qual o efluente é inserido na parte inferior do biodigestor e o material tratado sobe em fluxo ascendente. Este modelo surge como alternativa a tanques sépticos e filtros anaeróbios. A Figura 15 ilustra o modelo oferecido pela Acqualimp.

Figura 15 - Biodigestor Acqualimp.

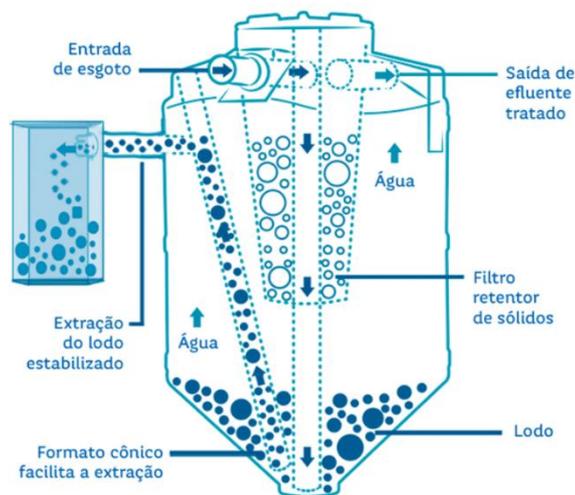


Fonte: Acqualimp (2024).

O sistema de esgoto da residência é direcionado para o biodigestor e as bactérias presentes no resíduo líquido atuam na decomposição da matéria orgânica. O lodo já estabilizado vai para o fundo cônico por gravidade e o efluente passa pelo filtro biológico sendo direcionado para o sistema de infiltração, os gases formados durante o processo saem pelo sistema de

ventilação da tubulação de esgoto do domicílio. A instalação deste modelo requer uma escavação para que o mesmo seja enterrado ou semienterrado, também é necessário que o efluente passe por uma caixa de gordura antes de entrar no biodigestor. A extração do lodo deve ser realizada entre 12 e 18 meses e o destino final do lodo deve respeitar as resoluções vigentes em cada localidade. A Figura 16 resume o funcionamento do modelo de biodigestor Acqualimp.

Figura 16 - Funcionamento do biodigestor Acqualimp.



Fonte: Acqualimp (2024).

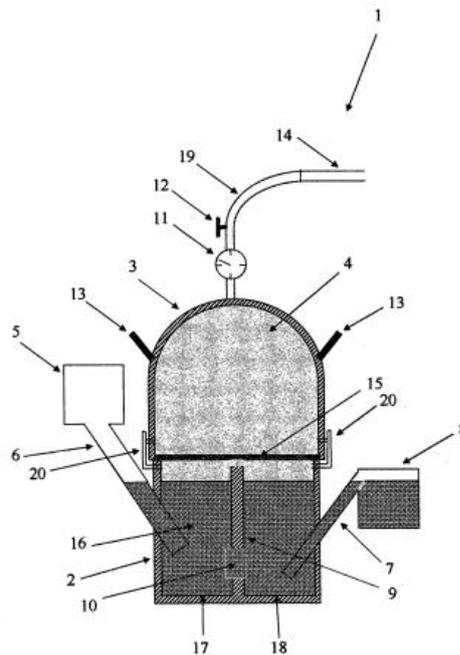
4.2 MODELOS DE PATENTES

Após realizar a busca de modelos de biodigestores domésticos em bancos de dados patentários, utilizando as técnicas abordadas anteriormente, assim como os dados levantados, foram encontrados modelos de biodigestores domésticos, alguns destes modelos foram descritos para mostrar suas características com maiores detalhes.

4.2.1 MU 8900341-1 U2

O Modelo de Utilidade refere-se a um biodigestor doméstico que foi construído para produzir biogás através da digestão de matérias orgânicas. Seu uso destina-se a residências e restaurantes, isto é, pode ser utilizado em locais urbanos onde exista produção de resíduos sólidos orgânicos. Conforme a patente, o modelo é eficiente e versátil, além de ser de baixo custo, podendo ser construído de aço, latão ou plásticos de grande resistência. Suas vantagens estão na produção do biogás e no quesito ambiental devido a redução dos resíduos gerados. A Figura 17 ilustra o modelo desenvolvido.

Figura 17 - Biodigestor referente a patente MU 8900341-1 U2.



Fonte: Patente MU 8900341-1 U2 (2009).

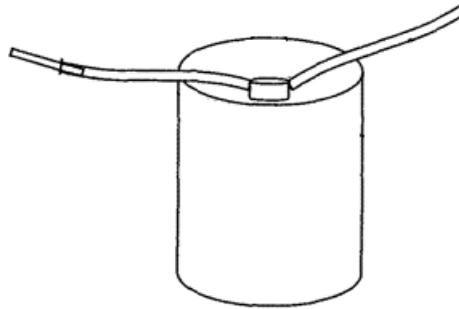
onde,

(1) - Biodigestor doméstico; (2) - Compartimento digestor; (3) - Tampa reservatório; (4) – Reservatório de gás; (5) - Recipiente de entrada; (6) - Tubo de entrada; (7) - Tubo de saída; (8) - Recipiente de Saída; (9) - Divisória; (10) - Passagem; (11) Manômetro; (12) - Registro; (13); Alça de manuseio; (14) - Mangueira; (15) - Anel de vedação; (16) - Matéria prima; (17) - Semi compartimento A; (18) - Semi compartimento B; (19) - Tubo; (20) - Presilhas.

4.2.2 BR 20 2012 021339-2 U2

Este Modelo de Utilidade refere-se a um biodigestor que visa aproveitar os resíduos orgânicos produzidos no ambiente doméstico como fonte de alimentação do biodigestor para produzir biogás e biofertilizante. O biodigestor é composto por recipientes interligados por tubos, nas quais possuem conectores para facilitar a operação do modelo, já que dessa forma cada recipiente pode ser abastecido isoladamente. Cada recipiente comporta um volume de 20 L, a Figura 18 ilustra o modelo.

Figura 18 - Biodigestor referente a patente BR 20 2012 021339-2 U2.

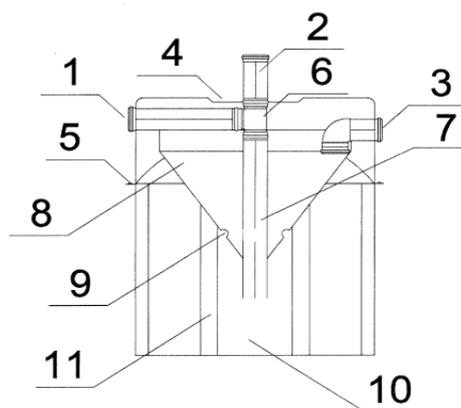


Fonte: Patente BR 20 2012 021339-2 U2 (2012).

4.2.3 BR 10 2014 006872-4 A2

Este modelo trata-se de um pedido de patente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente. Tem como objetivo a melhoria do descarte de esgoto doméstico. Ele é composto por uma câmara hermética interligada a um cone côncavo, através de um fluxo ascendente, que por sua vez é responsável por reter o material orgânico até sua completa estabilização. O processo de digestão ocorre em duas etapas sucessivas, que são estabelecidas pelo gradiente de densidade formado pelo esgoto, na qual, o material novo movimentado o que já estava presente. O efluente gerado no biodigestor pode ser utilizado como fertilizante na adubação e irrigação de plantas em geral. Este modelo busca ser ecologicamente correto, tendo em vista que, não há contato do esgoto com o solo, evitando poluir os lençóis freáticos. A Figura 19 ilustra o modelo desenvolvido.

Figura 19 - Biodigestor referente a patente BR 10 2014 006872-4 A2.



Fonte: Patente BR 10 2014 006872-4 A2 (2014).

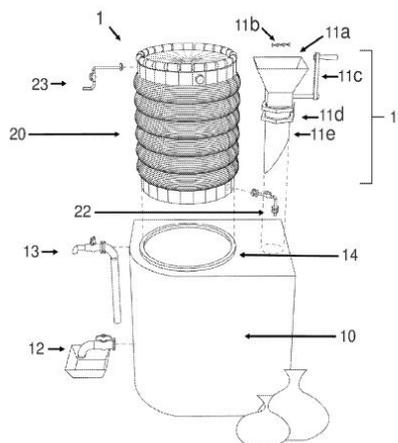
onde,

(1) - Tubo de entrada; (2) - Tubo superior de inspeção; (3) - Joelho de saída; (4) – Equipamento (reator anaeróbico); (5) – Encaixe da parte superior e inferior; (6) - Tê; (7) - Tubo ligado ao cone separador; (8) - Cone separador; (9) - Válvula de refluxo; (10) - Parte inferior do reator anaeróbico; (11) - Colunas meia calhas (reforço estrutural).

4.2.4 WO 2022/120505 A1

Este modelo trata-se de um pedido de patente internacional, na qual consiste em um biodigestor compacto capaz de gerar biogás e biofertilizante a partir do uso de resíduos domésticos orgânicos. Ele é composto por um recipiente estrutural, um bocal para abastecimento e trituração dos resíduos orgânicos instalado na parte superior e uma saída para efluente na parte inferior. O modelo possui um sistema acoplado para armazenamento do biogás gerado. A Figura 20 ilustra o modelo desenvolvido.

Figura 20 - Biodigestor referente a patente WO 2022/120505 A1



Fonte: Patente WO 2022/120505 A1 (2022).

onde,

(1) - Biodigestor compacto; (10) - Estrutura do biodigestor; (11) - Sistema de entrada dos resíduos orgânico; (11a) - Depósito de resíduo orgânico; (11b) - Triturador de resíduo orgânico; (11c) - Manivela; (11d) - Peças de fixação; (11e) - Tubo de condução; (12) - Saída inferior do efluente; (13) - Saída superior do efluente; (14) - Anel fixador; (20) - Tanque de acumulação; (20) - Duto de conexão para entrada de biogás no biodigestor; (23) - Duto de saída do biogás.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS DE BIODIGESTORES DOMÉSTICOS

Além dos modelos detalhados nesta seção, outras configurações de biodigestores domésticos foram encontradas nas fontes de pesquisa e classificadas segundo critérios técnicos

de funcionalidade. Estes modelos foram organizados de acordo com o tipo de fonte pesquisada. Conforme as referências: Homebiogas (2024); Turtle Biogas (2024); BGS (2019); Sistema.bio (2024); Puxin (2015); ACME Agro Group (2022); Rotosis (2024); Luxtel (2021); Fortlev (2024); Acqualimp (2024); Tecnipar Ambiental(2019); Ecopet (2021); Bakof Tec (2024); B-Sustain (2013); Agama Biogas (2023); Flycatcher Technologies (2023); Laufer (2008); Ajay *et al.* (2021); Jyothilakshmi *et al.* (2016); Rupf *et al.* (2016); Santos *et al.* (2017); Metz (2013); Santos (2017); Nazaro (2016); Oliveira *et al.* (2017); Freitas (2020); Oliveira *et al.* (2019); Mutungwazi *et al.* (2018); Nwankwo *et al.* (2017); Nkoi *et al.* (2018); Bhandari *et al.* (2017); Singh *et al.* (2019); Braun (1996); Weidele (2006); Cavasin (2006); Gantefort e Beck (2011); Negri (2009); Santos (2010); Machado (2010); Teodoro (2010); Costa (2012); Saka (2013); Matias (2013); Porto (2014); Morejon *et al.* (2014); Magalhães e Barcelos (2014); Schleder (2016); Amorim *et al.* (2017); Martorano Filho (2018); Coassin e Pesce (2018); Silva Junior (2018); Efrati *et al.* (2018); Brenner (2019); Sakuma *et al.* (2020) foi possível compor os Quadro 1 ao Quadro 6, que sintetizam todos os modelos de biodigestores domésticos pesquisados, com potencial para o tratamento de resíduos orgânicos.

Quadro 1 - Funções dos modelos comerciais.

Modelos Comerciais					
Empresa	Tipo do Modelo	Produz Biogás	Produz Biofertilizante	Trata Resíduos Sólidos	Trata Esgoto
Homebiogás	Em lona	Sim	Sim	Sim	Não
Turtle Biogas	Em lona	Sim	Sim	Sim	Não
BGS	Em lona	Sim	Sim	Sim	Não
Sistema.bio	Em lona	Sim	Sim	Sim	Não
Puxin	Em lona	Sim	Sim	Sim	Não
ACME Agro Group	Em lona	Sim	Sim	Sim	Não
Rotosis	Fluxo Ascendente	Não	Não	Não	Sim
Luxtel	Fluxo Ascendente	Não	Não	Não	Sim
Fortlev	Fluxo Ascendente	Não	Não	Não	Sim
Acqualimp	Fluxo Ascendente	Não	Não	Não	Sim
Tecnipar Ambiental	Fluxo Ascendente	Não	Não	Não	Sim
Ecopet	Fluxo Ascendente	Não	Não	Não	Sim
Bakof Tec	Fluxo Ascendente	Não	Não	Não	Sim
B-Sustain	Fluxo Ascendente	Sim	Sim	Sim	Sim
Agama Biogas	Fluxo Ascendente	Sim	Sim	Sim	Não
Flycatcher Technologies	Fluxo Ascendente	Sim	Sim	Sim	Não

Fonte: O autor.

Quadro 2 - Detalhes técnicos dos modelos comerciais.

Modelos Comerciais						
Empresa	Volume	Material de Fabricação	Tipo de Alimentação	Tipo de Instalação	Existe no Brasil	Liberdade de Operação
Homebiogas	1,2 e 4,3 m ³	Lona	Contínua	Sobre o solo	Sim	Não
Turtle Biogas	1,2 a 6 m ³	Lona	Contínua	Sobre o solo	Não	Sim
BGS	1 a 20m ³	Lona com estrutura metálica	Contínua	Sobre o solo	Sim	Sim
Sistema.bio	6 a 200 m ³	Lona	Contínua	Subsolo	Não	Sim
Puxin	3,4 m ³	Lona com estrutura metálica	Contínua	sobre o solo	Não	Sim
ACME Agro Group	3 a 300 m ³	Lona com estrutura metálica	Contínua	Sobre o solo	Não	Sim
Rotosis	0,6 e 1,3 m ³	Polietileno	Contínua	Subsolo	Sim	Não
Luxtel	0,6 e 1,3 m ³	PEAD	Contínua	Subsolo	Sim	Não
Fortlev	0,5 a 1,5 m ³	PEAD	Contínua	Subsolo	Sim	Não
Acqualimp	0,6 a 3 m ³	PEAD	Contínua	Subsolo	Sim	Não
Tecnipar Ambiental	0,75 e 1,5 m ³	PEAD	Contínua	Subsolo	Sim	Não
Ecopet	0,7 a 10 m ³	PEAD	Contínua	Subsolo	Sim	Não
Bakof Tec	0,7 a 1,85 m ³	PEAD	Contínua	Subsolo	Sim	Não
B-Sustain	0,5 a 6 m ³	Fibra de vidro	Contínua	Sobre o solo	Não	Sim
Agama Biogas	3 m ³	PEAD	Contínua	Sobre o solo	Não	Sim
Flycatcher Technologies	6 a 38 m ³	PEAD	Contínua	Sobre o solo	Não	Sim

Fonte: O autor.

Os modelos comerciais possuem grande variedade de funções, abrange variações de volume capazes de suprir as necessidades de uma residência comum, tratando os resíduos orgânicos domésticos e são adequados ambientalmente para tratamento do esgoto gerado, levando em consideração que pouco mais da metade da população do Brasil possui esgoto tratado.

Os biodigestores que produzem biogás, tem potencial para contribuir para a sustentabilidade energética em locais afastados dos centros urbanos, na qual o biogás gerado pode ser utilizado para cozinhar alimentos e o biofertilizante em plantações de agricultura familiar. A liberdade de operação dos modelos comerciais está fortemente ligada ao país na qual o modelo foi desenvolvido. Os que são idealizados e comercializados por empresas brasileiras, em sua grande maioria não possuem liberdade de operação. De forma análoga, os modelos que não são brasileiros, em sua maioria, possuem liberdade de operação, pois ainda não foram patenteados no Brasil.

Quadro 3 - Funções dos modelos científicos.

Modelos Científicos					
Autor(es)	Tipo do Modelo	Produz Biogás	Produz Biofertilizante	Trata Resíduos Sólidos	Trata Esgoto
Laufer	Tambor	Sim	Sim	Sim	Não
AJAY <i>et al.</i>	AGET portátil	Sim	Sim	Sim	Não
Jyothilakshmi <i>et al.</i>	Tambor	Sim	Sim	Sim	Não
Rupf <i>et al.</i>	Indiano	Sim	Sim	Sim	Sim
Santos <i>et al.</i>	Tambor	Sim	Sim	Sim	Não
Metz	Tambor	Sim	Sim	Sim	Não
Santos	Tambor	Sim	Sim	Sim	Não
Nazaro	Plug Flow	Sim	Sim	Sim	Não
Oliveira <i>et al.</i>	Chinês	Sim	Não	Não	Sim
Freitas	Tambor	Sim	Sim	Sim	Não
Oliveira <i>et al.</i>	Tambor	Sim	Sim	Sim	Não
Mutungwazi <i>et al.</i>	EZ portátil	Sim	Sim	Sim	Não
Nwankwo <i>et al.</i>	-	Sim	Sim	Sim	Não
Nkoi <i>et al.</i>	CSTR	Sim	Não	Sim	Não
Bhandari <i>et al.</i>	Tambor	Sim	Sim	Sim	Não
Singh <i>et al.</i>	Tambor	Sim	Sim	Sim	Não

Fonte: O autor.

Quadro 4 - Detalhes técnicos dos modelos científicos.

Modelos Científicos						
Autor(es)	Volume	Material de Fabricação	Tipo de Alimentação	Tipo de Instalação	Existe no Brasil	Liberdade de Operação
Laufer	0,2 m ³	PEAD	Batelada	Sobre o solo	Sim	Sim
Ajay <i>et al.</i>	2,5 m ³	-	Contínua	Subsolo	Não	Sim
Jyothilakshmi <i>et al.</i>	0,03 m ³	PVC	Contínua	Sobre o solo	Não	Sim
Rupf <i>et al.</i>	-	Alvenaria	Semicontínua	Subsolo	Não	Sim
Santos <i>et al.</i>	0,1 m ³	PVC	Contínua	Sobre o Solo	Sim	Sim
Metz	0,25 m ³	PEAD	Batelada	Sobre o Solo	Sim	Sim
Santos	0,08 m ³	PEAD	Batelada	Sobre o Solo	Sim	Sim
Nazaro	5,71 m ³	PEAD	Contínua	Sobre o Solo	Sim	Sim
Oliveira <i>et al.</i>	1 m ³	Alvenaria	Contínua	Subsolo	Sim	Sim
Freitas	0,05 m ³	PEAD	Batelada	Sobre o Solo	Sim	Sim
Oliveira <i>et al.</i>	0,025 m ³	Polipropileno	Batelada	Sobre o Solo	Sim	Sim
Mutungwazi <i>et al.</i>	1,5 m ³	Plástico moldado	Contínua	Subsolo	Não	Sim
Nwankwo <i>et al.</i>	3,6 m ³	PEAD	Contínua	Sobre o solo	Não	Sim
Nkoi <i>et al.</i>	-	Aço	Contínua	Sobre o solo	Não	Sim
Bhandari <i>et al.</i>	0,2 m ³	PVC	Contínua	Sobre o solo	Não	Sim
Singh <i>et al.</i>	0,05 m ³	PEAD	Contínua	Sobre o solo	Não	Sim

Fonte: O autor.

Os biodigestores domésticos propostos pelos autores pesquisados têm maior foco em modelos que possam gerar biogás e biofertilizante. O quesito ambiental está fortemente ligado ao desenvolvimento de novas tecnologias capazes de suprir a demanda energética. Transformar resíduos em fontes de energia e, com isso, diminuir o volume de materiais descartados no meio ambiente. Dessa forma, estes trabalhos contribuem na disseminação do conhecimento neste sentido e na apresentação de possíveis soluções para o tratamento adequado dos resíduos sólidos orgânicos. Como estes modelos são apresentados em artigos científicos, todos eles estão no estado da técnica, isto é, possuem liberdade de operação.

Quadro 5 - Funções dos modelos patentários.

Modelos Patentários					
Nº da Patente	Tipo do Modelo	Produz Biogás	Produz Biofertilizante	Trata Resíduos Sólidos	Trata Esgoto
PI 9608306-9 B1	-	Sim	Sim	Sim	Sim
PI 0617206-7 A2	-	Sim	Não	Sim	Não
PI 0605348-3 B1	-	Sim	Sim	Sim	Não
PI 0812152-4 B1	-	Sim	Sim	Sim	Não
MU 8900341-1 U2	-	Sim	Sim	Sim	Não
PI 1000529-3 A2	-	Não	Sim	Sim	Não
PI 1002372-0 A2	-	Sim	Sim	Sim	Sim
MU 9002526-1 U2	-	Sim	Sim	Sim	Não
BR 20 2012 021339-2 U2	-	Sim	Sim	Sim	Não
BR 10 2013 021110-9 B1	-	Sim	Sim	Sim	Não
BR 10 2013 026732-5 A2	-	Não	Não	Não	Sim
BR 10 2014 006872-4 A2	Fluxo Ascendente	Não	Sim	Não	Sim
BR 20 2014 006888-6 U2	Fluxo Ascendente	Não	Sim	Não	Sim
BR 20 2014 013398-0 U2	-	Sim	Sim	Sim	Não
BR 20 2014 014511-2 Y1	-	Não	Não	Não	Sim
BR 10 2014 017043-0 B1	-	Não	Não	Não	Sim
BR 10 2016 005713-2 A2	-	Não	Não	Sim	Não
BR 10 2016 013034-4 A2	-	Não	Não	Sim	Não
BR 10 2017 007228-2 A2	-	Sim	Sim	Sim	Não
BR 20 2018 001662-3 U2	-	Sim	Sim	Não	Sim
BR 10 2018 015929-1 A2	-	Sim	Não	Sim	Não
BR 10 2018 073327-3 A2	-	Sim	Não	Sim	Não
BR 11 2019 026774-3 B1	Fluxo Descendente	Sim	Sim	Sim	Não
BR 10 2019 020070-7 A2	-	Sim	Sim	Sim	Sim
BR 20 2020 008951-5 U2	CSTR	Sim	Não	Sim	Não

Fonte: O autor.

Quadro 6 - Detalhes técnicos dos modelos patentários.

Modelos Patentários						
Nº da Patente	Volume	Material de Fabricação	Tipo de Alimentação	Tipo de Instalação	Existe no Brasil	Liberdade de Operação
PI 9608306-9 B1	-	-	Contínua	Subsolo	Sim	Sim
PI 0617206-7 A2	10320 m ³	-	Batelada	Subsolo	Sim	Não
PI 0605348-3 B1	-	-	Batelada, contínuo	Subsolo	Sim	Não
PI 0812152-4 B1	-	-	-	-	Sim	Não
MU 8900341-1 U2	-	Aço, PEAD	Contínua	Subsolo	Sim	Não
PI 1000529-3 A2	-	-	-	-	Sim	Sim
PI 1002372-0 A2	-	-	Contínua	Sobre o solo	Sim	Não
MU 9002526-1 U2	-	-	Contínua	Sobre o solo	Sim	Sim
BR 20 2012 021339-2 U2	0,02 m ³	-	Batelada	Sobre o solo	Sim	Não
BR 10 2013021110-9 B1	-	Lonas	Contínua	Subsolo	Sim	Não
BR 10 2013 026732-5 A2	-	-	-	-	Sim	Não
BR 10 2014 006872-4 A2	-	Fibra de vidro	Contínua	Subsolo	Sim	Sim
BR 20 2014 006888-6 U2	-	Fibra de vidro	Contínua	Subsolo	Sim	Não
BR 20 2014 013398-0 U2	-	Componentes metálicos	Contínua	Subsolo	Sim	Não
BR 20 2014 014511-2 Y1	-	-	Contínua	Subsolo	Sim	Não
BR 10 2014 017043-0 B1	-	-	-	Subsolo	Sim	Não
BR 10 2016 005713-2 A2	-	-	Contínua	-	Sim	Sim
BR 10 2016 013034-4 A2	-	-	Contínua	-	Sim	Não
BR 10 2017 007228-2 A2	-	Fibra, metal, concreto	Batelada	Subsolo	Sim	Não
BR 20 2018 001662-3 U2	-	-	Contínua	-	Sim	Não
BR 10 2018 015929-1 A2	-	-	Contínua	Subsolo	Sim	Não
BR 10 2018 073327-3 A2	-	-	-	-	Sim	Não
BR 11 2019 026774-3 B1	-	Lonas	Contínua	Sobre o solo	Sim	Não
BR 10 2019 020070-7 A2	-	-	Contínua	Subsolo	Sim	Não
BR 20 2020 008951-5 U2	4908,7 m ³	-	Contínua	Subsolo	Sim	Sim

Fonte: O autor.

Os modelos que envolvem patentes não seguem o padrão existente de modelos de biodigestores, como há uma necessidade de ser uma invenção, ou seja, uma novidade, os modelos encontrados são, em sua grande maioria, não convencionais. Os inventores têm que

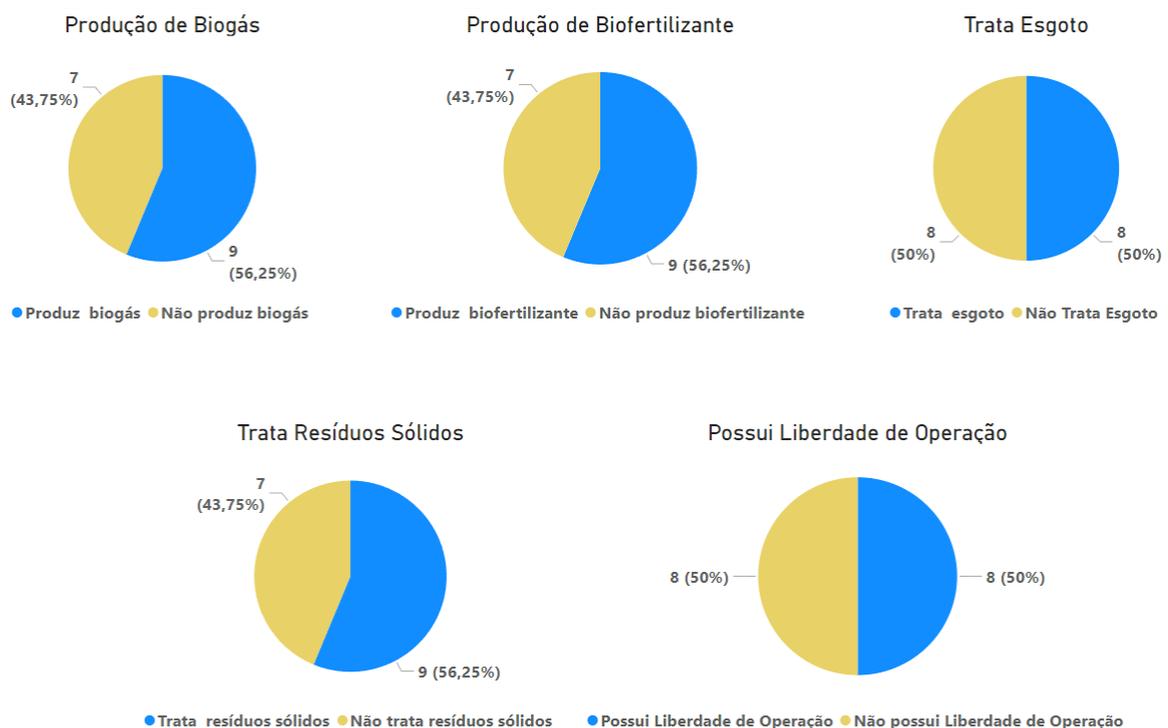
trazer alguma modificação que faça com que seu projeto seja diferente dos demais, todavia estes modelos têm a capacidade de atender e cumprir seus objetivos.

Alguns destes modelos possuem liberdade de operação devido ao tempo do início do processo de patentear o dispositivo, mas a grande maioria das patentes encontradas no INPI estão em processamento, isto é, enquanto não for definido o parecer final pelo INPI, os modelos não podem ser utilizados ou comercializado sem o consentimento do autor.

4.3.1 Resumo da Classificação de Biodigestores Domésticos

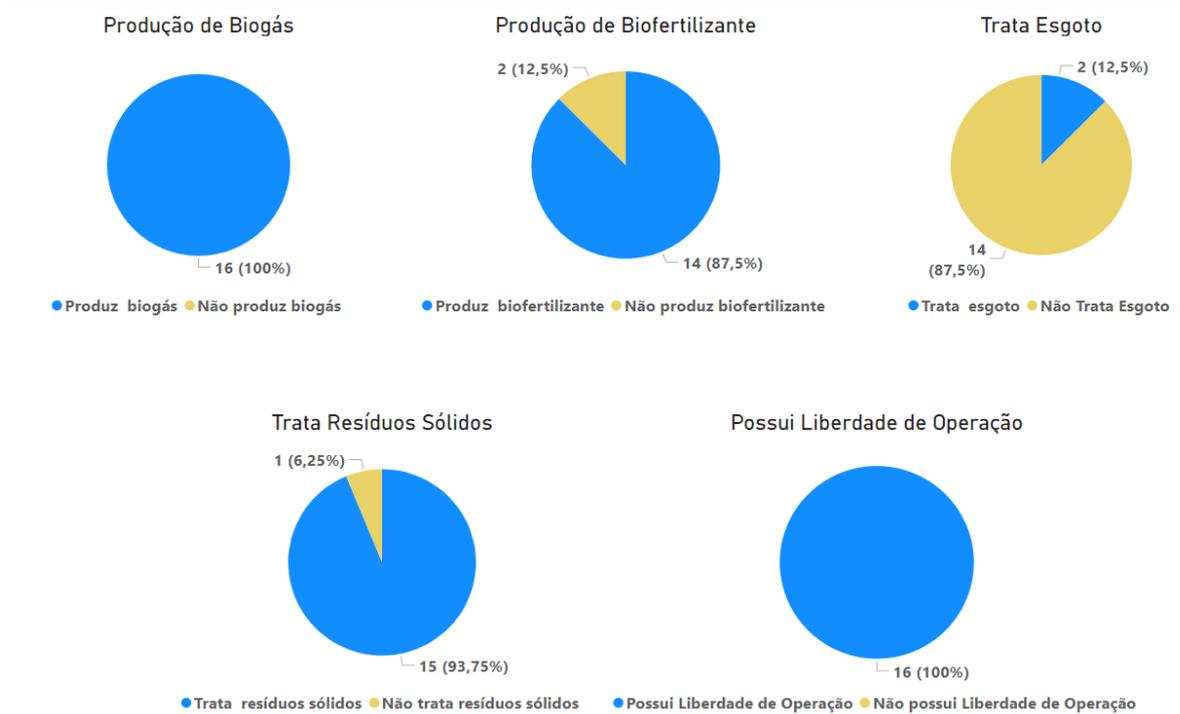
De forma a resumir todas as informações obtidas através das pesquisas em bases de dados patentários, fontes acadêmicas e em sites de empresas, foram elaborados gráficos para apresentar em números o comportamento das classificações em função da fonte de pesquisa. A Figura 21, Figura 22 e Figura 23 apresentam os dados obtidos.

Figura 21 - Resumo dos modelos comerciais.



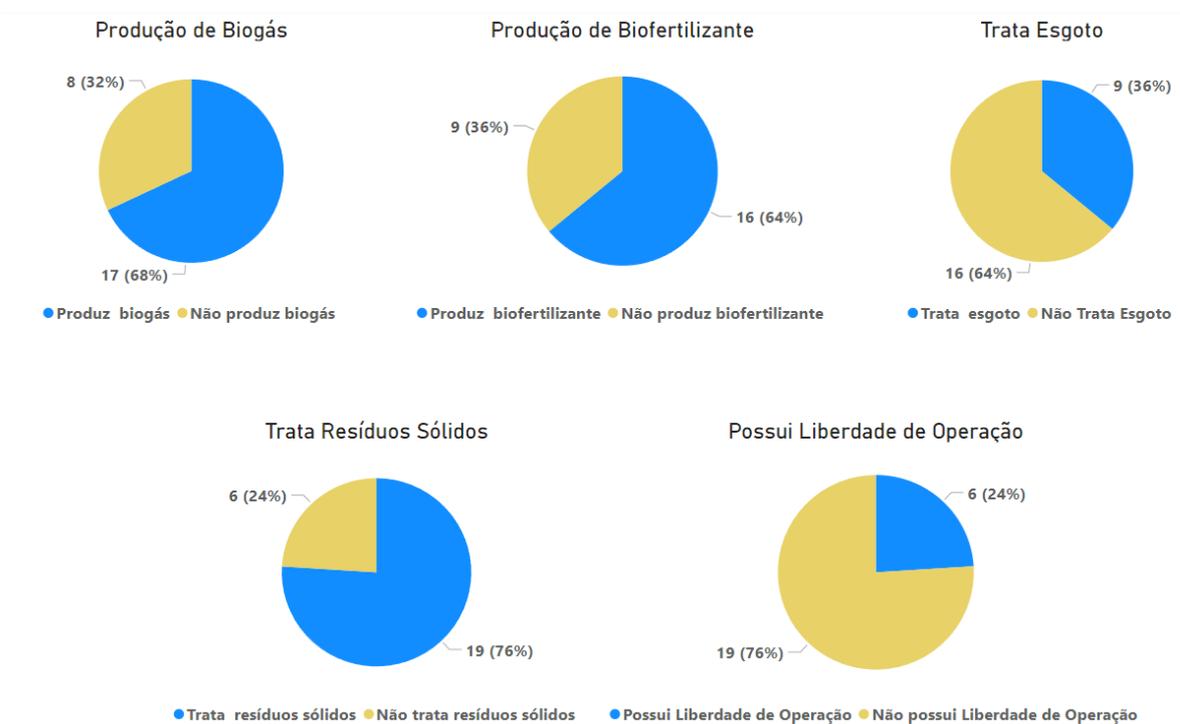
Fonte: O autor.

Figura 22 - Resumo dos modelos científicos.



Fonte: O autor.

Figura 23 - Resumo dos modelos patentários.



Fonte: O autor.

5. CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi proposto fazer um levantamento de liberdade de operação de modelos de biodigestores domésticos no Brasil, de forma a elucidar o conhecimento desta tecnologia para compreensão do seu potencial como uma solução sustentável para o tratamento de resíduos sólidos e no desenvolvimento de uma fonte energética limpa e renovável.

Como resultados deste trabalho, foi obtido um conjunto de diferentes tipos de modelos de biodigestores domésticos capazes de atender desde uma pequena residência como o modelo proposto pela Homebiogas, assim como, atender uma demanda de 100 pessoas como no modelo Plug Flow. Os biodigestores de menor porte trazem consigo uma grande vantagem em relação ao espaço necessário para instalação, como no modelo de tambor de 250L, que devido ao tipo de tambor proposto, ocupa uma área menor que 1m², o que é um espaço relativamente acessível às residências urbanas.

Como medida alternativa ao uso do gás GLP, a produção do biogás dos biodigestores domésticos se mostrou uma solução eficaz para o uso em residências, uma vez que implementado, os custos de uso são relativamente baixos quando comparado ao valor do GLP P13. Além disso, o biofertilizante produzido pode ser uma fonte de renda através da venda como um produto ou com a venda de alimentos que foram adubados com o biofertilizante. Todas as fontes pesquisadas possuem modelos capazes de produzir biogás e biofertilizante, contudo os modelos científicos possuem uma maior ênfase nestas características.

Outro ponto relevante são os modelos que visam tratar os resíduos sólidos e o esgoto doméstico, como o Acqualimp. Levando em consideração a falta de saneamento básico em diversas localidades do Brasil e para regiões afastadas dos centros urbanos onde este tipo de tratamento também não é fornecido, os modelos comerciais se mostram uma solução viável para evitar a contaminação do meio ambiente, com o tratamento adequado dos resíduos domésticos que são gerados. Estes modelos necessitam de um esforço maior para iniciar o uso, devido a necessidade de uma escavação para a instalação, logo é uma condição que deve ser analisada antes da aquisição do produto.

Os mecanismos de pesquisas abordados foram essenciais para obtenção dos resultados encontrados, a correta definição das palavras-chave, as técnicas de truncamento e de operadores lógicos facilita a descoberta de informações em um vasto banco de dados. Para as pesquisas de patentes os códigos IPC definidos, especialmente os códigos “C02F” e “C05F”, foram fundamentais para se obter modelos específicos de biodigestores domésticos, tendo em vista que não são tão difundidos quanto os modelos de grande escala.

A liberdade de operação dos biodigestores domésticos varia bastante em relação ao objetivo do responsável pelo desenvolvimento. Quando se trata de biodigestores comerciais é possível verificar que a grande maioria não possui liberdade de operação, pois estas empresas possuem marcas registradas e impedem a cópia exata da tecnologia, apenas sendo possível utilizar os modelos estrangeiros que não possuem proteção da propriedade intelectual no Brasil. O mesmo vale para os modelos obtidos em base de dados patentários, como o objetivo é lançar um produto novo no mercado e obter lucros daquela tecnologia, os modelos patentários, em sua maioria, não possuem liberdade de operação. Em contrapartida, os modelos obtidos através de fontes científicas, como artigos e monografias, possuem liberdade de operação. Isso se deve ao diferente foco do trabalho, na qual, o interesse maior é a disseminação de conhecimento, propostas de melhoria na qualidade de vida e também apresentar fontes de energia limpa e renovável acessível para todos os públicos.

Por fim, com o desenvolvimento desta pesquisa sobre a liberdade de operação de biodigestores domésticos, foi possível aplicar conceitos abordados em assuntos típicos da formação em engenharia como materiais, processos de fabricação, geração energética através de fontes limpas, manutenção e termodinâmica. A elaboração deste trabalho permitiu não apenas compreender os princípios fundamentais por trás do funcionamento dos biodigestores, mas também explorar aspectos relacionados a processos químicos e biológicos. A integração desses conhecimentos resultou na apresentação de possíveis soluções para o tratamento dos resíduos gerados em residências, contribuindo significativamente para a promoção de práticas sustentáveis e de desenvolvimento ambiental e social.

REFERÊNCIAS

- ACME AGRO GROUP. **Agricultural solar biogas digester 3-300 cubic meters of manure water treatment equipment for farms, biogas digester, biogas storage tank**. 2022. Disponível em: <http://en.acmeagro.org/productinfo/925683.html>. Acesso em: 05 abr. 2024.
- ACQUALIMP. Biodigestor. 2024. Disponível em: <https://acqualimp.com/biodigestor/>. Acesso em: 05 abr. 2024.
- AGAMA BIOGAS. **Agama BiogasPro 6**. 2023. Disponível em: <https://www.agamabiogas.co.za/biogaspro-6/>. Acesso em: 05 de abr. 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Preços de GLP ao consumidor consolidados**. GOV.BR – Ministério de Minas e Energia. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-ao-consumidor-consolidados-glp>. Acesso em: 19 set. 2022.
- AJAY, C. M.; MOHAN, S.; DINESHA, P. Decentralized energy from portable biogas digesters using domestic kitchen waste: A review. **Waste Management**, v. 125, p. 10–26, 2021. DOI:10.1016/j.wasman.2021.02.031. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X21001008>. Acesso em: 05 abr. 2024.
- AMORIM, E. L. C.; BARBOSA, J. H.; SANTOS, E. L. **Aspectos construtivos e disposição de um biosistema integrado para geração de gás metano e biofertilizante**. Depositante: Universidade Federal de Alagoas. BR n. BR 10 2017 007228-2 A2. Depósito: 07 abr. 2017. Concessão: 02 jan. 2024.
- ARTHUR, Richard; BAIDOO, Martina Francisca. Harnessing methane generated from livestock manure in Ghana, Nigeria, Mali and Burkina Faso. **Biomass and bioenergy**, v. 35, n. 11, p. 4648-4656, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0961953411004636>. Acesso em: 05 abr. 2024.
- ASSIS, Camila Moreira de. **Avaliação da gestão integrada de resíduos sólidos da região metropolitana de Belo Horizonte**. 2012. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT – NBR 10.004 Resíduos Sólidos – Classificação**. 2004. Disponível em: <https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.
- BAKOF TEC. **Multi biodigestores**. 2024. Disponível em: <https://www.bakof.com.br/produtos/5>. Acesso em: 05 abr. 2024.
- BGS. **Biodigestor Urbano: conheça o Lavoisier**. 2019. Disponível em: <https://www.bgsequipamentos.com.br/biodigestor-urbano-lavoisier/>. Acesso em: 05 abr. 2024.

BHANDARI, Jeetendra; PRADHAN, Premendra Mani; CHOUDHARY, Rohit Kumar. Experimental investigation and fabrication of biogas digester. In: **Advances in Smart Grid and Renewable Energy: Proceedings of ETAEERE-2016**. Springer Singapore, 2018. p. 485-493. DOI: 10.1007/978-981-10-4286-7_48. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-4286-7_48. Acesso em: 05 abr. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 11.003, de 21 de março de 2022**. Institui a Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano. Diário Oficial da União [2022]. Disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-11.003-de-21-de-marco-de-2022-387357085>. Acesso em: 22 set. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996**. Regula direitos e obrigações relativos à propriedade industrial. Brasília, DF: Presidência da República, [1996]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19279.htm. Acesso em 05 de abr. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República, [2010]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 18 set. 2022.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **RenovaBio**. 2019a. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/renovabio-1>. Acesso em: 05 abr. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 5. ed. Brasília: Funasa, 2019b. 545 p.: il. ISBN 978-85-7346-060-5.

BRAUN, Ulrich. **Método e dispositivo para um tratamento de efluente doméstico e lixo biodegradável doméstico**. Depositante: Ulrich Braun. BR n. PI 9608306-9 B1. Depósito: 02 mai. 1996. Concessão: 07 jan. 2003.

BRENNER, C. G. B. **Sistema e processo para tratamento de efluente e produção de biogás por meio de reator microbiológico e físico-químico**. Depositante: Carla Geane Brandenburg Brenner. BR n. BR 10 2019 020070-7 A2. Depósito: 25 set. 2019.

B-SUSTAIN. **Commercial biogas plants**. 2013. Disponível em: <http://www.bsustain.in/commercial.html>. Acesso em: 05 abr. 2024.

CALIGARIS, Bruno Santos Abreu *et al.* A importância do Plano Nacional de Fertilizantes para o futuro do agronegócio e do Brasil. 2022. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1142514/1/A-importancia-do-PNF.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2024.

CASTANHO, Diego Solak; ARRUDA, Heder Jobbins. Biodigestores. In: SEMANA DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS, 06., 2008, Ponta Grossa. **Anais[...]**. Ponta Grossa: UTFPR, 2008

CAVASIN, Júlio César. **Kit de peças para montagem de reator de bioconversão**. Depositante: Júlio César Cavasin. BR n. PI 0605348-3 B1. Depósito: 12 dez. 2006. Concessão: 13 mar. 2018.

COASSIN, G.; PESCE, L. **Digestor anaeróbio horizontal com sedimentador para a fração orgânica dos 5 resíduos sólidos urbanos e relativo processo**. Depositante: G-Meta Consultoria Participações E Serviços LTDA. BR n. BR 10 2018 015929-1 A2. Depósito: 03 ago. 2018. Concessão: 02 jan. 2024.

COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; PECORA, V.; ABREU, F. C. Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. *In*: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Proceedings** [...]. Campinas: UNICAMP, 2006. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100070&script=sci_arttext. Acesso em: 05 abr. 2024.

COLDEBELLA, Anderson; SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; SOUZA, Juliano de; KOHELER, Ana Carolina. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bonivocultura de leite. *In*: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Proceedings** [...]. Campinas: UNICAMP, 2006. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000200053&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 05 abr. 2024.

COSTA, V. P. **Biodigestor de recipientes interligados para resíduos orgânicos domésticos**. Depositante: 3A Locações Serviços e Inovações Tecnológicas LTDA. BR n. BR 20 2012 021339-2 U2. Depósito: 09 ago. 2012.

DEGANUTTI, Roberto; PALHACI, Maria do Carmo Jampaulo Plácido; ROSSI, Marco; TAVARES, Roberto; SANTOS, Claudemilson dos. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. *In*: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, São Paulo. **Proceedings** [...]. São Paulo: UNESP, 2002. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100031. Acesso em: 05 abr. 2024.

ECOPET AMBIENTAL. **Fossas sépticas**. 2021. Disponível em: <https://ecopetambiental.com.br/catalogo/>. Acesso em: 05 de abr. 2024.

EFRATI, O. M.; TELLER, Y.; LANZER, E.; AK, S. **Dispositivo montável para reciclar resíduos orgânicos em biogás e adubo líquido e conjunto de peças para montar dito dispositivo**. Depositante: Home Biogas LTD. BR n. BR 11 2019 026774-3 B1. Depósito: 25 jun. 2018. Concessão: 28 nov. 2023.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Biodigestores indianos**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas/biodigestores/indiano>. Acesso em: 05 abr. 2024.

FERNANDES, Mariana Cristina Santos. **Estudo da indústria de fertilizantes nitrogenados: fontes, produção, mercado e impacto ambiental**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022.

FLYCATCHER TECHNOLOGIES. **The versatile rhino digester**. 2023. Disponível em: <https://flycatchertech.com/products/>. Acesso em: 05 abr. 2024.

FORTLEV. **Biodigestores**. 2024. Disponível em: <https://www.fortlev.com.br/categorias/meio-ambiente/biodigestores/>. Acesso em: 05 abr. 2024.

FREITAS, L. R. *et al.* Construção de experimento de baixo custo e de alto interesse social: montagem de biodigestor caseiro. **Brazilian Journal of Development**, [s. l.], v 6, n. 5, p. 30099-30106, Mai. 2020. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/10469>. Acesso em: 05 abr. 2024.

FRÉSCA, Fábio Rogério Carvalho. **Estudo da geração de resíduos sólidos domiciliares no município de São Carlos, SP, a partir da caracterização física**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

GANTEFORT, W.; BECK, J. **Fermentador para a geração de biogás a partir de material orgânico bombeável**. Depositante: Wilhelm Ganteford; Jürgen Beck. BR n. PI 0812152-4 B1. Depósito: 16 ago. 2011. Concessão: 21 fev. 2017.

GLOBALFERT. **China, Índia, Estados Unidos e Brasil concentram 58% da demanda global de fertilizantes**. 2022. Disponível em: <https://globalfert.com.br/boletins/china-india-estados-unidos-e-brasil-concentram-58-da-demanda-global-de-fertilizantes/>. Acesso em: 19 set. 2022.

HE, Pin Jing. Anaerobic digestion: an intriguing long history in China. *Waste Management*, v. 30, p. 549-550, 2010. DOI: 10.1016/j.wasman.2010.01.002. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010WaMan..30..549H/abstract>. Acesso em: 05 abr. 2024.

HOMEBIOGAS. Homebiogas 7.0 São Paulo (SP), 2024. Disponível em: <https://www.homebiogas.com.br/product-page/homebiogas-7-0-biodigestor-autonomo>. Acesso em: 28 mar. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Curso avançado de busca de informações de patentes a distância (DL 318P BR)**. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Operadores Lógicos: Módulo Básico Complementar II**. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/uso-estrategico-da-pi/estudos-e-informacao-tecnologica/OPERADORESLogicos_MduloBsicoComplementarII_Tutorialdebusca_ago2023.pdf. Acesso em: 05 abr. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Patentes**. 2020. GOV.BR – Ministério da Economia. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/perguntas-frequentes/patentes>. Acesso em: 20 set. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL (INPI). **Radar Tecnológico**. 2014. Disponível em: https://www.gov.br/inpi/pt-br/assuntos/arquivos-cepit/N02_radartecnologicocompletoantihipertensivo18052015_versao_estendida.pdf. Acesso em: 29 mar. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Ranking do saneamento 2022**. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Resumo_Executivo_-_Ranking_22.pdf. Acesso em: 03 out. 2022.

JUNQUEIRA, S. L. C. D. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

JYOTHILAKSHMI, R.; PRAKASH, S. V. Design, Fabrication and Experimentation of a Small Scale Anaerobic Biodigester for Domestic Biodegradable Solid Waste with Energy Recovery and Sizing Calculations. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 749–755, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029616301748>. Acesso em: 05 abr. 2024.

KUNZ, Airton *et al.* **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 1. ed. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. ISBN 978-85-93823-01-5.

LAUFER, A. **Avaliação de processo alternativo de biodigestão para tratamento de resíduos sólidos orgânicos domésticos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

LUXTEL. **Luxtel biodigester**. 2021. Disponível em: <https://casadobiodigester.com.br/wp-content/uploads/2021/06/Biodigester-Luxtel-2021.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2024.

MACHADO, F. W. **Sistema biodigester com retroalimentação de energia térmica, agitação otimizada e eliminação de sedimentos e disposição**. Depositante: Fernando Weigert Machado. BR n. PI 1002372-0 A2. Depósito: 27 jul. 2010.

MAGALHÃES, F. M.; BARCELOS, E. C. M. **Disposição construtiva aplicada a biodigester compacto para tratamento de esgotos domésticos**. Depositante: Fabrício Miranda de Magalhães; Emilson Custódio Melo Barcelos. BR n. BR 20 2014 014511-2 Y1. Depósito: 13 jun. 2014. Concessão: 19 jun. 2018.

MAGALHÃES, F. M.; BARCELOS, E. C. M. **Sistema de tratamento de esgotos domésticos por biodigestão**. Depositante: Fabrício Miranda de Magalhães; Emilson Custódio Melo Barcelos. BR n. BR 10 2014 017043-0 B1. Depósito: 10 jul. 2014. Concessão: 12 jul. 2016.

MAKAMURE, Francis *et al.* An analysis of bio-digester substrate heating methods: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 137, 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110432. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403212030719X>. Acesso em: 05 abr. 2024.

MARTORANO FILHO; N. I. **Conjunto integrado de tecnologias para o tratamento de efluentes com produção de biometano por biodigestão da matéria orgânica**. Depositante: Nicola Isidoro Martorano Filho. BR n. BR 20 2018 001662-3 U2. Depósito: 26 jan. 2018.

MATIAS, W. J. **Caixa séptica compacta biodigestora de tratamento de esgostos domésticos**. Depositante: Wellington José Matias. BR n. BR 10 2013 026732-5 A2. Depósito: 17 out. 2013.

METZ, H. L. **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos**. 2013. Monografia (Pós Graduação de Energia para obtenção do título de Especialista em Formas Alternativas de Energia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MOREJON, C. F. M.; SILVA, D. F.; MENDOZA, A. S. **Equipamento modular compacto para tratamento de efluentes domésticos**. Depositante: Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste. BR n. BR 20 2014 013398-0 U2. Depósito: 03 jun. 2014.

MUTUNGWAZI A.; MUKUMBA, P.; MAKAKA, G. Biogas digester types installed in South Africa: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v 81, p. 172-180, 2018. DOI: doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.051. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117311176>. Acesso em: 05 abr. 2024.

NASTARI, Plínio Mário. A crise na Ucrânia e a dependência da importação de fertilizantes. **Mercado & Negócios**, v. 42, n. 5, p. 16-17, 2022.

NAZARO, Mariane Scheffer. **Desenvolvimento de um biodigestor residencial para processamento de resíduos sólidos orgânicos**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

NEGRI, M. A. **Biodigestor doméstico**. Depositante: Marcos Antônio Negri. BR n. MU 8900341-1 U2. Depósito: 13 mar. 2009.

NKOI, Barinyima; LEBELE-ALAWA, Barinadaa Thaddeus; ODOBEATU, Benedict. Design and fabrication of a modified portable biogas digester for renewable cooking-gas production. **European Journal of Engineering and Technology Research**, v. 3, n. 3, p. 21-29, 2018. DOI:<https://doi.org/10.24018/ejeng.2018.3.3.647>. Disponível em: <https://www.ej-eng.org/index.php/ejeng/article/view/647>. Acesso em: 05 abr. 2024.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo, SP: Nobel, 1986. x, 93 p. ISBN 8521304226.

NWANKWO, C. S.; EZE, J. I.; OKOYEUZU, C. Design and fabrication of 3.60 m³ household plastic bio digester loaded with kitchen waste and cow dung for biogas generation. **Scientific Research and Essays**, v. 12, n. 14, p. 130-141, 2017. DOI: doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.031. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/SRE/article-full-text-pdf/446F19A65558.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2024

OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS). **Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. GOV.BR. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/>. Acesso em: 03 out. 2022.

OLIVEIRA, A. J. S. *et al.* Biodigestor Caseiro Aplicado à Produção de Biofertilizante a Partir de Biomassa Bovina. **Scientia Amazonia**, v. 8, n. 1, E14-E19, 2019. Disponível em: <https://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2018/12/v.-8-n.1-E14-E19-2019.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2024.

OLIVEIRA, A. L. D.; CUNTO, L. M. O. M. Utilização de biodigestor para o tratamento biológico de efluentes e geração de biogás como alternativa ao gás de cozinha (glp) em eco parque infantil situado em Cotia-SP. **Congresso Abes Fenasan**, 2017. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/12/II-578.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2024.

OLIVEIRA, A. M. G.; AQUINO, A. M.; NETO, M. T. Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico. **Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, 2005 6 p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Circular Técnica, 76). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1022380>. Acesso em: 05 abr. 2024.

OLIVEIRA, Matias Marchesan. **Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

PARANHOS, R. C. S.; RIBEIRO, N. M. Importância da Prospecção Tecnológica em Base de Patentes e seus Objetivos da Busca. **Cadernos de Prospecção – Salvador**, v. 11, n. 5, Edição Especial - VIII ProspeCT&I, p. 1274-1292, dezembro, 2018. DOI: <https://doi.org/10.9771/cp.v11i5.28190>. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/28190>. Acesso em: 28 mar. 2024.

PELLIZZER, Eder Luiz. **Otimização da produção de biogás utilizando aquecimento e agitação com automação de biodigestores**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia e Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

PÉRA, Thiago Guilherme e CAIXETA FILHO, José Vicente. Logística de transporte no Brasil: desafios nos fertilizantes. **Agroanalysis**, v. 38, n. 7, p. 28-29, 2018. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/article/view/78349/75036>. Acesso em: 05 abr. 2024.

PINHEIRO, Y. A.; KONDA, S.T.; BONINI, L. M. M. Impactos da pandemia Covid-19 na importação de fertilizantes para o agronegócio brasileiro. **Implicações Socioeconômicas da COVID-19 no Brasil e no Mundo**, p. 147-156, 2022. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/211006353.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2024.

PORTO, Humberto. **Reator anaeróbio de fluxo ascendente cone inverso**. Depositante: Humberto Porto. BR n. BR 10 2014 006872-4 A2. Depósito: 21 mar. 2014.

PORTO, Humberto. **Reator anaeróbio de fluxo ascendente lateral**. Depositante: Humberto Porto. BR n. BR 20 2014 006888-6 U2. Depósito: 21 mar. 2014.

PROJETO BRASIL-ALEMANHA DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL (PROBIOGÁS). **Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização**. Gülzow-prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e V., 2013.

PUXIN. **Domestic biogas plant**. 2015. Disponível em: <http://en.puxintech.com/pxabs15>. Acesso em: 05 abr. 2024.

REIS, Alexsandro dos Santos. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

ROTOSIS. **Tratamento de esgoto - Biodigestor**. 2024. Disponível em: <https://www.rotosis.com.br/tratamento-de-esgoto--biodigestor.html>. Acesso em: 05 abr. 2024.

RUPF, G. V. *et al.* Broadening the potential of biogas in Sub-Saharan Africa: An assessment of feasible technologies and feedstocks. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 61, p. 556-571, 2016. DOI: doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116300405>. Acesso em: 05 abr. 2024.

SAKA, Valter. **Biodigestor Compacto**. Depositante: Sansuy S/A Indústria de Plásticos. BR n. BR 10 2013 021110-9 B1. Depósito: 19 ago. 2013. Concessão: 15 abr. 2014.

SAKS, Flavia do Canto. **Busca Booleana: Teoria e Prática**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Gestão da Informação), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SAKUMA, A. C. *et al.* **Biorreator anaeróbio contínuo de tanque agitado modificado com estruturas para realização de mistura homogênea com baixa velocidade do fluido para tratamento de resíduos sólidos urbanos**. Depositante: Apolo Lab Energia Renovável LTDA. BR n. BR 20 2020 008951-5 U2. Depósito: 05 mai. 2020.

SANTOS, R. P. **Processo de produção de biofertilizante, biogás e adubo orgânico**. Depositante: Raimundo Pereira dos Santos. BR n. PI 1000529-3 A2. Depósito: 25 fev. 2010.

SANTOS, S. J. *et al.* Construção de um biodigestor caseiro como uma tecnologia acessível a suinocultores da agricultura familiar. **Pubvet**, v. 11, n. 03, p. 290-297, 2017. Disponível em: <https://ojs.pubvet.com.br/index.php/revista/article/view/1361>. Acesso em: 05 abr. 2024.

SANTOS, V. L. **Estudo da produção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos de um restaurante universitário com biodigestor anaeróbio doméstico**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

SCHLEDER, ALESSANDER. **Máquina para gestão de resíduos orgânicos com processo contínuo automatizado**. Depositante: Schleder Engenharia - Máquinas e Soluções Ambientais LTDA - ME. BR n. BR 10 2016 005713-2 A2. Depósito: 16 mar. 2016.

SCHLEDER, ALESSANDER. **Máquina para gestão de resíduos orgânicos semi automatizada**. Depositante: Schleder Engenharia - Máquinas e Soluções Ambientais LTDA - ME. BR n. BR 10 2016 013034-4 A2. Depósito: 07 jun. 2016.

SILVA JUNIOR, M. J. **Sistemas e métodos para o tratamento e processamento de resíduos urbanos orgânicos para a produção de gás, energia elétrica e água para uso geral**. Depositante: Maurílio José da Silva Junior *et al.* BR n. BR 10 2018 073327-3 A2. Depósito: 12 nov. 2018.

SINDICATO DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE GÁS NO BRASIL (SINDIGÁS). **GLP**. 2021. Disponível em: https://www.sindigas.org.br/?page_id=12. Acesso em: 19 set. 2022.

SINGH, A. K. *et al.* Fabrication and design of self pressurised portable biogas plant for kitchen waste. **International Journal of Applied Engineering Research**, v. 14, n. 10, 2019. Disponível em: https://www.ripublication.com/ijaerspl2019/ijaerv14n10spl_27.pdf. Acesso em: 05 abr. 2024.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto: Visão Geral**. GOV.BR - Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 03 out. 2022.

SISTEMA.BIO. **The reliable biodigester solution**. 2024. Disponível em: <https://sistema.bio/#solution>. Acesso em: 05 de abr. 2024.

TECNIPAR AMBIENTAL. **Biodigester**. 2019. Disponível em: <https://www.tecnipar.com.br/produtos/biodigester/>. Acesso em: 05 de abr. 2024.

TEODORO, C. R. **Disposição construtiva aplicada em biodigester orgânico residencial para geração de gás metano e fertilizantes**. Depositante: Carlos Roberto Teodoro. BR n. MU 9002526-1 U2. Depósito: 02 dez. 2010.

TURTLE BIOGAS. **Low cost and quick install home biogás plant**. 2024. Disponível em: <https://www.turtlebiogas.com/index.php/store/>. Acesso em: 05 de abr. 2024.

VIANA, E. *et al.* Resíduos alimentares do lixo domiciliar: Estudo do uso na alimentação de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.10, n.1, p.203–211, 2006**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/W9b69Xd7ZKh6WjyDtJdyNjL/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 05 de abr. 2024.

WEIDELE, Thomas. **Processo para uso de biomassa em um processo de geração de biogás**. Depositante: KWR GBR (DE). BR n. PI 0617206-7 A2. Depósito: 15 set. 2006.