
Faculdade Nilo De Stéfani
Trabalho de Graduação

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA “PAULA SOUZA”

FACULDADE NILO DE STÉFANI DE JABOTICABAL - SP (Fatec-JB)

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM TECNOLOGIA EM

BIOCOMBUSTÍVEIS

FORMAÇÃO E REMOÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO NO BIOGÁS

GABRIEL DOS SANTOS SILVA

PROFA. DRA. ROSE MARIA DUDA

JABOTICABAL, S.P.

2023

GABRIEL DOS SANTOS SILVA

FORMAÇÃO E REMOÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO NO BIOGÁS

Trabalho de graduação (TG) apresentado à Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), como parte dos requisitos para a obtenção do título de Tecnólogo em Biocombustíveis.

Orientadora: Profa. Dra. Rose Maria Duda

JABOTICABAL, S.P.

2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Silva, Gabriel dos Santos

Formação e remoção de sulfeto de hidrogênio no biogás / Gabriel dos Santos Silva — Jaboticabal: Fatec Nilo de Stéfani, 2023.

xpp.

Orientadora: Rose Maria Duda

Trabalho (graduação) – Apresentado ao Curso de Tecnologia em biocombustíveis, Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani - Jaboticabal, 2023.

1. Biogás. 2. Metano. 3. Sulfeto de Hidrogênio. 4. Renovável I. Duda, R. M. II. Formação e remoção de sulfeto de hidrogênio

GABRIEL DOS SANTOS SILVA

FORMAÇÃO E REMOÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO NO BIOGÁS

Trabalho de Graduação (TG) apresentado à Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Tecnólogo em Biocombustíveis**.

Orientador: Rose Maria Duda

Data da apresentação e aprovação: 08 / 11 / 2023.

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA

Rose Maria Duda

Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Mariana Carina Frigierie Salaro

Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Maria Benincasa Vidotti

Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Local: Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB)

Jaboticabal – SP – Brasil

FORMAÇÃO E REMOÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO NO BIOGÁS

Gabriel dos Santos Silva^I
Rose Maria Duda^{II}

RESUMO

O Brasil se beneficia de condições climáticas favoráveis que permitem o cultivo de diversas fontes de biomassa, tornando os biocombustíveis, como o etanol e o biogás, uma alternativa promissora para um futuro energético sustentável. O biogás consiste na mistura de gases como o metano, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio. No entanto, dependendo do uso é necessário remover o sulfeto de hidrogênio, principalmente de resíduos que contenham alto teor de proteínas ou que no processo industrial utilizem produtos químicos que contenham enxofre, como as águas residuárias de suinocultura e a vinhaça, respectivamente. O tratamento do biogás é fundamental para evitar danos a equipamentos, tubulações, bombas e motores. A remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás traz benefícios para seu uso como combustível renovável em aplicações industriais e domésticas, contribuindo para a sustentabilidade energética.

Palavras-chave: Biogás. Metano. Sulfeto de hidrogênio. Renovável.

ABSTRACT

Brazil benefits from favorable soil and climate conditions that allow the cultivation of diverse sources of biomass, making biofuel sources, such as ethanol and biogas, a promising alternative for a sustainable energy future. Biogas consists of a mixture of gases such as methane, carbon dioxide and hydrogen sulfide. However, depending on the use, it is necessary to remove hydrogen sulfide, especially from waste that contains a high protein content or that in the industrial process uses chemicals that contain sulfur, such as pig farming wastewater and vinasse, respectively. Biogas treatment is essential to prevent damage to equipment, pipes, pumps and engines. The removal of hydrogen sulfide from biogas brings benefits for its use as a renewable fuel in industrial and domestic applications, contributing to energy sustainability.

Keywords: Biogas. Metano. Hydrogen sulfide. Renewable.

Data de submissão:

Data de aprovação:

^I Estudante do curso superior de Tecnologia em Biocombustíveis da Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB) – São Paulo – Brasil. E-mail:

^{II} Profa. Dra. da Faculdade de Tecnologia Nilo de Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB) – São Paulo – Brasil. E-mail: rose.duda@fatec.sp.gov.br

1 INTRODUÇÃO

A diversificação da matriz energética nacional com base em fontes da biomassa, fomentando a geração distribuída e limpa, colocou a digestão anaeróbia como alternativa tecnológica com relevância estratégica, na medida em que associa tratamento de efluentes com geração de energia de fonte renovável.

O Brasil é reconhecidamente beneficiado pelas suas condições de solo e clima, que permitiram que diversas fontes de biomassa, como a cana-de-açúcar, prosperarem para produção de bioenergia. A produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil, na safra de 2021/2022 foi de aproximadamente 29,7 bilhões de litros (UNICA, 2023). No entanto é necessário que o seu cultivo deva continuar ocorrendo em áreas que respeitem a preservação das florestas nativas e que estejam de acordo com o arcabouço legal de proteção ao meio ambiente (EPE, 2020). Também existe a preocupação com os subprodutos da indústria sucroenergética brasileira, principalmente com a vinhaça, em virtude das grandes quantidades produzidas. Para cada litro de etanol da cana-de-açúcar produzido são gerados de 10 a 14 L de vinhaça (BARROS et al., 2017; BORDONAL et al., 2018).

O Brasil também é um grande produtor de grãos, o que viabiliza a produção de animais, como os suínos (MIELE; WAQUIL, 2007). No entanto, para alguns especialistas, a suinocultura pode ser enquadrada como um potencial causador de danos ambientais, por seus resíduos terem a capacidade de degradação ambiental (EMBRAPA, 2004).

A digestão anaeróbia de águas residuárias, como a vinhaça e as provenientes da suinocultura, tem sido reconhecida como uma alternativa para o tratamento e a produção de biogás. O biogás, uma fonte de energia renovável obtida a partir da decomposição anaeróbia de matéria orgânica, é composto principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). No entanto, o biogás também contém impurezas, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), um composto altamente tóxico e corrosivo (CHERNICHARO, 1997).

Para que o biogás possa ser consumido em automóveis e na produção de energia elétrica, ele deve passar por uma fase importante, que é o tratamento ou purificação. Nesse tratamento são removidos o dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e água. A retirada desses gases pode evitar prejuízos aos equipamentos, tubulações, bombas e motores.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi estudar o processo de formação do sulfeto de hidrogênio no biogás e os métodos de purificação do biogás para utilização como fonte de energia.

2. METODOLOGIA

Esse trabalho teve como finalidade a realização de uma revisão bibliográfica, em artigos, com o objetivo de compreender a importância da remoção de gases nocivos em processos de obtenção do biogás. Adicionalmente essa pesquisa buscou descrever os métodos que são utilizados para a retirada do H₂S do biogás e abranger quantitativamente a eficiência dos métodos utilizados.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Vinhaça

A vinhaça também é conhecida por vinhoto, tiborna, garapão ou restilo, e é um subproduto proveniente do processo industrial da obtenção do etanol. É uma substância que possui um cheiro desagradável, matéria orgânica elevada, possui pH ácido, tem uma aparência escura e é um líquido altamente poluente (BRITO, 2021 *apud* ARAUJO, 2017). Durante a produção de etanol, as leveduras são tratadas com ácido sulfúrico para o controle bacteriano. E esse ácido contribui para o decréscimo do pH, e é uma fonte de enxofre que irá permanecer na vinhaça e contribuir para a geração de sulfeto de hidrogênio.

A indústria sucroenergética utiliza a vinhaça como fertilizante nas plantações de cana-de-açúcar, por possuir em sua composição nutrientes que auxiliam na fertilidade do solo, mas atualmente, com novas pesquisas e tecnologias mais modernas, estuda-se a vinhaça para a produção de biogás em digestores anaeróbios.

O biogás proveniente da vinhaça é produzido pela fermentação metanogênica, que se utiliza de grupos de bactérias fermentativas para que aconteça a degradação. Segundo Costa (2014) *apud* Cruz (2019), a etapa chamada de hidrólise tem a função de quebrar polímeros mais complexos em compostos mais simples dessa forma as bactérias acetogênicas e metanogênicas conseguem desenvolver o processo até a formação de metano e dióxido de carbono. O metano é um gás com alto poder energético que poderá ser utilizado como fonte de energia em turbinas e caldeiras.

3.2. Suinocultura no Brasil: Geração de resíduos

Os maiores produtores de suínos no mundo são a China, União Européia, Estados Unidos e Brasil, com uma produção de 55; 22,6; 12,2 e 4,3 milhões de toneladas, respectivamente (EMBRAPA, 2023). Até 1970 os dejetos da suinocultura no Brasil não eram considerados um fator preocupante, pois a concentração da produção desses animais era

pequena e o solo das propriedades tinha capacidade para absorvê-los ou eram utilizados como adubo orgânico (AMBIENTE BRASIL, 2021). Porém o desenvolvimento da suinocultura trouxe a produção de grandes quantidades de dejetos, que pela falta de tratamento adequado, se transformou na maior fonte poluidora dos mananciais de água.

A partir da década de 1970 o sistema de produção da suinocultura sofreu uma modernização, levando esses animais ao confinamento e criação intensiva, o que obteve um aumento da produtividade, resultando então, em quantidades maiores de dejetos suínos produzidos (ITO *et al.*, 2016).

Os dejetos da suinocultura podem incluir os estercos, a urina, resíduos da ração e água. A quantidade dos dejetos pode variar de acordo com o manejo adotado e os fatores zootécnicos (tamanho, peso, raça), ambientais (temperatura e umidade) e dietéticos (digestibilidade e composição nutricional da ração) (ITO *et al.*, 2016).

Os suínos produzem em média 6,7 kg de dejetos/dia/100 kg de peso vivo e, estima-se que o volume de dejetos de suínos pode variar de 60 a 100 L/matriz/dia em uma granja de ciclo completo, de 35 a 60 L/matriz/dia em granjas produtoras de leite e de 4,5 a 7,5 L/cabeça/dia em granjas terminação (TRAUTENMÜLLER *et al.*, 2016).

Para que esses resíduos não causem danos ao meio ambiente é realizado o manejo dos dejetos suínos para que possam ser armazenados ou tratados. O armazenamento desses excrementos consiste em guardá-los em depósitos durante um determinado tempo, para que seja feita a fermentação dessa biomassa. Já o tratamento utiliza-se de procedimentos, sejam eles físicos ou biológicos, para que sejam aproveitados como adubo agrícola ou produção de biogás, e assim, minimizar o risco a poluição ambiental (ITO *et al.*, 2016).

3.3. Sulfeto de hidrogênio no biogás

O biogás, uma fonte de energia renovável obtida a partir da decomposição anaeróbia de matéria orgânica, é composto principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) (Figura 1).

O biogás é uma mistura gasosa, resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica, constituída por metano (50 a 80 %), dióxido de carbono (20 a 40 %) e outros elementos em quantidades reduzidas como o sulfeto de hidrogênio (1 a 3 %). O sulfeto de hidrogênio (H₂S), um composto altamente tóxico e corrosivo.

A formação do sulfeto de hidrogênio ocorre durante a degradação anaeróbia da matéria orgânica, em particular quando há a presença de compostos contendo enxofre, como aminoácidos sulfurados e sulfato (SO₄²⁻). Os microrganismos responsáveis pela degradação

de hidrogênio e, conseqüentemente, à melhoria da qualidade e segurança do biogás como fonte de energia renovável.

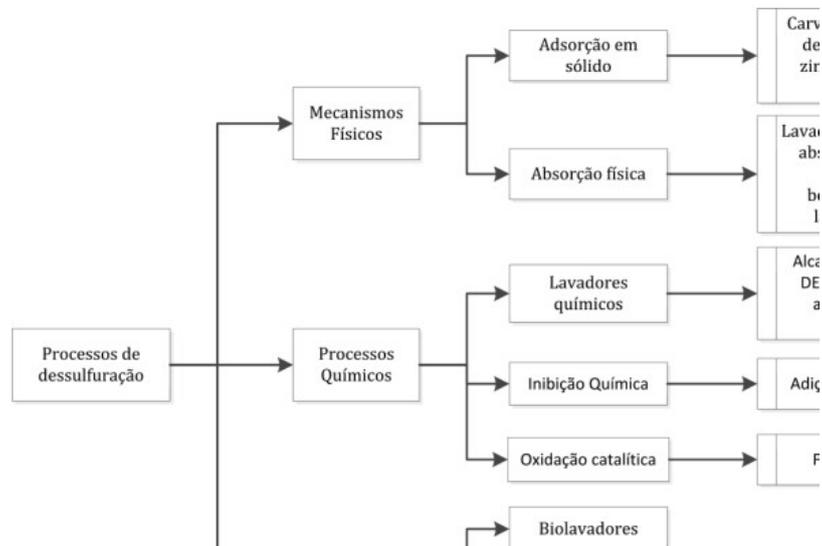
É importante notar que altos níveis de sulfeto de hidrogênio no biogás podem representar um desafio, uma vez que o H₂S é um gás tóxico, corrosivo e de odor desagradável. Portanto, é necessário implementar medidas de mitigação e tratamento adequado para remover ou reduzir a concentração de sulfeto de hidrogênio no biogás antes de sua utilização como fonte de energia renovável.

Devido aos efeitos nocivos à saúde e segurança, além da corrosão nos equipamentos e tubulações, a remoção do H₂S presente em correntes gasosas é imprescindível. O nível em que o gás deve ser processado antes de ser usado depende basicamente da aplicação desejada. Entre algumas aplicações, destacam-se o uso do biogás como gás combustível em substituição ao gás natural ou gás liquefeito de petróleo e o uso como fonte de energia térmica na produção rural. Processamentos mais rigorosos são exigidos quando o biogás é usado para alimentar uma célula de combustível ou a transformação de biogás à qualidade do gás natural (biometano) (MENEZES, 2017).

3.4. Métodos para a remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás

Os métodos de remoção do sulfeto de hidrogênio podem ser físicos, químicos e biológicos (Figura 2). Neste trabalho foram destacados apenas os principais métodos utilizados.

Figura 2 - Rotas tecnológicas para dessulfuração do biogás

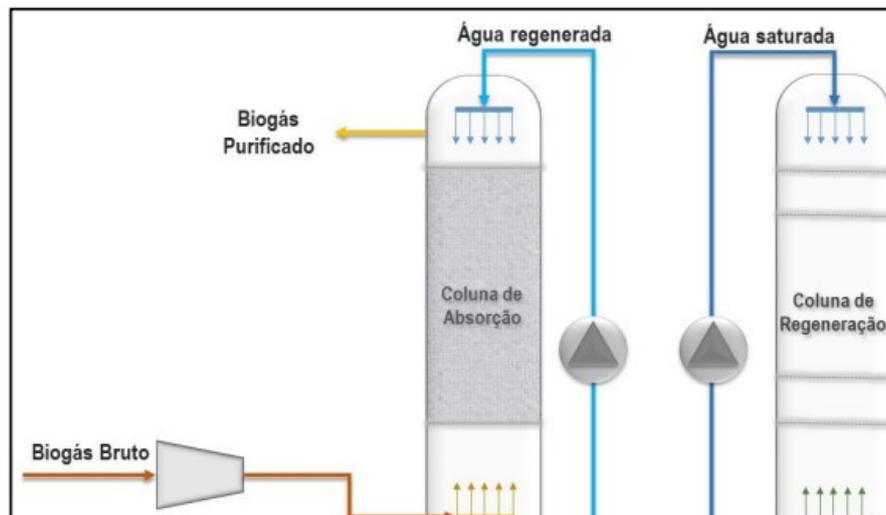


Fonte: (COLTURATO, 2015)

3.4.1. Lavagem (scrubbing)

O método de purificação do biogás conhecido como "scrubbing" ou "lavagem física" é um processo que utiliza a solubilidade dos gases para separá-los. No caso do biogás, o dióxido de carbono (CO_2) e o sulfeto de hidrogênio (H_2S) são mais solúveis do que o metano (CH_4) em certos solventes orgânicos. Pode-se utilizar a água (Figura 3), mas também uma mistura não tóxica de éteres dimetílicos e polietileno glicol.

Figura 3 - Fluxograma do processo de absorção em água (sistema water scrubbing).



Fonte: BIOGÁS BRASIL (2022).

Nesse processo, o biogás é passado por meio de um solvente orgânico sob condições controladas. O CO_2 e o H_2S , sendo mais solúveis, são adsorvidos pelo solvente, enquanto o metano, menos solúvel, permanece na fase gasosa. Este método não envolve reações químicas, o que pode simplificar o design e a operação do sistema de purificação.

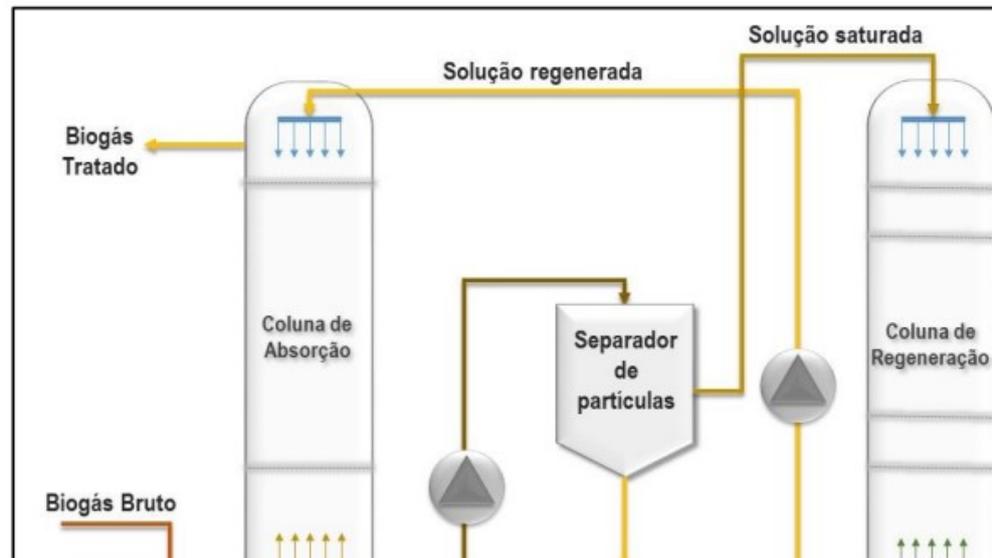
No entanto, é importante notar que a eficácia deste método pode ser influenciada por vários fatores, incluindo a composição do biogás, as condições de operação e as propriedades do solvente utilizado. Portanto, pode ser necessário otimizar esses parâmetros para cada aplicação específica (MARCELINO *et al.*, 2017).

3.4.2. Absorção química

O sulfeto de hidrogênio pode ser eliminado de correntes gasosas pelo processo de absorção com reação química em solução de Fe/EDTA. O enxofre obtido a partir do H_2S é oxidado para a sua forma elementar mais estável, o que facilita a sua remoção. Além disso, ocorre a regeneração do Fe/EDTA por injeção de ar atmosférico, em condições de

temperatura e pressão ambientes (SCHIAVON MAIA et al., 2015; DALCOLLE et al., 2015) (Figura 4).

Figura 4 - Fluxograma do processo de dessulfurização de biogás baseado em ferro quelado.



Fonte: BIOGÁS BRASIL (2022)

3.4.3. Separação por membranas

A separação por membrana é baseada na capacidade “seletiva” que alguns materiais têm de deixar passar através deles componentes dos gases a serem filtrados e reterem outros componentes (Canever, 2017). Segundo Canever (2017) *apud* Niesner et al. (2013), em uma mistura de gases (biogás) que passa por um separador de membrana, a mistura é dividida em duas porções, uma composta pela porção que consegue permear a membrana, normalmente dióxido de carbono e outra que é retida, composta principalmente por metano.

Existem duas técnicas de separação por membrana: separação de gases a alta pressão e adsorção gás – líquido.

a) O processo de alta pressão separa seletivamente H_2S e CO_2 do CH_4 . Geralmente esse processo é feito em três estágios e chega-se a uma pureza de 96% de CH_4 .

b) A adsorção gás – líquido é um processo recente que usa membranas micro porosas hidrofóbicas como uma interface entre gás e líquidos. CO_2 e H_2S dissolvem na parte líquida enquanto o CH_4 é removido (CANEVER, 2017 *apud* ZHAO et al., 2010).

3.4.4. Aeração

Segundo Canever (2017), o método se baseia na injeção de ar dentro do biodigestor para que bactérias que consomem sulfeto de hidrogênio em uma reação aeróbia oxidem o sulfeto em enxofre elementar. As bactérias utilizadas nesse processo são as *Thiobacilos*, que por serem autotróficas usam o CO₂ presente no biogás para cobrir sua necessidade de carbono (Canever, 2017 *apud* Ryckebosch et al., 2011). Há cuidados a serem tomados ao se utilizar desse processo, como a alta injeção de oxigênio que pode inibir o processo anaeróbio além de, em determinadas concentrações, a mistura ar/metano entre 6% e 12% pode ser explosiva (CANEVER, 2017 *apud* RYCKEBOSCH et al., 2011; KAPDI et al., 2005).

3.4.5. Biofiltração

A remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás por meio da biofiltração, conforme descrito por AITA (2014), é um processo biotecnológico eficaz que se baseia na utilização de microorganismos aeróbios para converter o H₂S em enxofre elementar e ácido sulfúrico. Este método é uma alternativa sustentável e economicamente viável para a dessulfurização do biogás, uma vez que não requer o uso de produtos químicos caros e consome menos energia em comparação com outros processos.

O processo de biofiltração é geralmente conduzido em um dispositivo chamado reator de biofiltro (Figura 5). Este reator é projetado para abrigar o processo biológico de remoção do H₂S e é composto por um leito de suporte, geralmente preenchido com um material poroso. Esse material poroso, como cascas de madeira, pedras ou espumas de poliuretano, serve como superfície de contato para os microorganismos (AITA, 2014).

Figura 5 – Materiais suportes prontos para serem inseridos no biofiltro (da esquerda para direita: espuma de poliuretano, bagaço de cana e fibra de coco).



Antes do início do processo, os microorganismos aeróbios apropriados, como as bactérias do gênero *Thiobacillus*, são introduzidos no reator de biofiltro. Esses microorganismos possuem a capacidade de metabolizar o H_2S , usando-o como fonte de energia. Durante esse processo, o H_2S é convertido em enxofre elementar (S) e ácido sulfúrico (H_2SO_4) como produtos. O enxofre elementar frequentemente se acumula no leito de suporte na forma de partículas sólidas. À medida que o enxofre elementar se acumula no leito de suporte, é necessário realizar a manutenção periódica do reator. Isso envolve a remoção do enxofre acumulado para evitar obstruções no reator de biofiltro e manter a eficiência contínua do processo. A remoção pode ser feita por meio da limpeza do leito ou pela substituição do material do leito de suporte (AITA, 2014).

4. Considerações finais

Com a realização desta revisão foi possível verificar que a escolha do método pode depender de vários fatores, como a concentração de H_2S no biogás, os regulamentos ambientais locais, a disponibilidade de produtos químicos e a viabilidade econômica. Além disso, após a remoção do H_2S , o enxofre elementar ou os produtos de enxofre resultantes podem ser recuperados e vendidos, tornando o processo mais sustentável e rentável.

Os métodos mostram que a dessulfurização do biogás pode trazer vantagens para o seu uso, como por exemplo, ser utilizado sem preocupação sem existir chances de obstruir ou danificar componente ou materiais que possam armazenar ou transportá-los.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fatec-JB, gestores, professores e funcionários que contribuíram de alguma maneira para a realização desse trabalho.

Agradeço a professora Profa. Dra. Rose Maria Duda pelas orientações sobre o tema e pelo auxílio na produção deste trabalho.

Agradeço a minha mãe, Maria Selma dos Santos, e ao meu Pai, Cicero Lopes Silva, e também aos meus irmãos, Elisângela Silva Gonzales e Wesley Luciano do Santos Silva por me incentivarem e me apoiarem aos meus estudos, e por estarem ao meu lado em toda a minha trajetória.

REFERÊNCIAS

AITA, Bruno Carlesso et al. **Uso de biofiltração na remoção do sulfeto de hidrogênio presente no biogás**. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7976>. Acesso em: 13 out 2023.

AMBIENTE BRASIL. **Dejetos de Suinocultura - Aspectos Ambientais e Soluções Sustentáveis**. Disponível em: https://ambientes.ambientebrasil.com.br/agropecuaria/dejetos_de_suinocultura/dejetos_de_suinocultura.htmlhttps://ambientes.ambientebrasil.com.br/agropecuaria/dejetos_de_suinocultura/dejetos_de_suinocultura.html. Acesso em: 08 jun 2023.

BIOGÁS BRASIL. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL; CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. Guia técnico: tecnologias para dessulfurização de biogás. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2022. E-book. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

BRITO, Sabrina Sobrinho de et al. **Produção de biogás a partir da vinhaça**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/24319>. Acesso em: 09 jun 2023.

CANEVER, Víctor Bruno et al. **Estudo de filtragem de biogás para fins energéticos utilizando como método de filtragem lavador de gases de baixo custo**. 2017. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/2968>. Acesso em: 13 out 2023.

CAVALER, Jadiane Paola et al. **Remoção de sulfeto de hidrogênio de biogás a partir de soluções de ferro III produzidas por eletrólise: avaliação da cinética química de purificação e regeneração**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/25468/1/remocaosulfetobiogascinetica.pdf>. Acesso em: 09 jun 2023.

CHERNICHARO, C.A. de L., 2007. Anaerobic Reactors, 2nd ed. ed. DESA/UFMG; 2007, Belo Horizonte. COSTA, Renata Funchal da Silva. **Produção de Biogás a partir de vinhaça**. Fundação Educacional do Município de Assis Produção De Biogás a Partir De Vinhaça, p. 62, 2014. Disponível em: <https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/1111360461.pdf>. Acesso em: 09 jun 2023.

DALCOLLE, J. C.; Pires, R. L.; Crispim, M. P.; MAIA, D. C. S.; Frare, L. M.; Gimenes, M. L.; PEREIRA, N. C.; **"ABSORÇÃO DE H₂S E CO₂ NA PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS PARA FINS ENERGÉTICOS"**, p. 816-821 . In: Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica [=Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n.3]. ISSN Impresso: 2446-8711. São Paulo: Blucher, 2015.

FREDDO, Alessandra et al. **Estudo da remoção de dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio de biogás utilizando soluções absorvedoras**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2950>. Acesso em: 13 out 2023.

ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeqic2015-206-32815-249964. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/absoro-de-h2s-e-co2-na-purificao-de-biogs-para-fins-energticos-19735>. Acesso em: 13 out 2023.

ITO, Minoru; GUIMARÃES, Diego Duque; AMARAL, Gisele Ferreira. **Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades**. 2016. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9974/2/BS%2044%20Impactos%20ambien tais%20da%20suinocultura_P.pdf. Acesso em: 08 jun 2023.

MACHADO, Neiton Silva. **Remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás produzido na fermentação de dejetos de suínos para utilização em motores de combustão interna para geração de energia elétrica**. 2010. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/10450/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 09 jun 2023.

MAIA, DJEINE CRISTINA SCHIAVON et al. **ESTUDO DA PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS PARA USO ENERGÉTICO PELA ABSORÇÃO DE H₂S E CO₂**. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 2, n. 1, p. 1221-1229, 2015. Disponível em: <https://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/estudo-da-purificao-de-biogs-para-uso-energtico-pela-absoro-de-h2s-e-co2-20724>. Acesso em: 13 out 2023.

MARCELINO, Thamires Ohana Araujo De Carvalho et al.. **Modelagem e simulação do processo para purificação de biogás pelo método de lavagem física com solventes orgânicos**. Anais II CONIDIS... Campina Grande: Realize Editora, 2017. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/33645>. Acesso em: 13 out 2023.

MENEGALI, William. **Avaliação da remoção de sulfeto de hidrogênio de biogás provindo da digestão de efluentes suínolas utilizando biofiltro em escala ampliada**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7083/1/remocaosulfetohidrogeniobiogas.pdf>. Acesso em: 09 jun 2023.

MENEZES, R. L. C. B. **Estudo do desempenho de carbonos ativados para a remoção de H₂S do biogás**. 2017. 85 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade Federal do Ceará. 217. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/22537/1/2017_dis_rlcbmenezes.pdf. Acesso em: 08 jun 2023.

TRAUTENMÜLLER, Andréia Vanize. **Diagnóstico da geração e disposição final dos dejetos suínolas no município de Três Passos/RS**. 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/1661>. Acesso em: 08 jun 2023.

APÊNDICE A – TERMO DE ORIGINALIDADE

TERMO DE ORIGINALIDADE

Eu, Gabriel dos Santos Silva, RG 57220460-7, CPF 464.483.268-55, aluno regularmente matriculado no **Curso Superior de Tecnologia em Biocombustíveis**, da Faculdade de Tecnologia Nilo De Stéfani de Jaboticabal (Fatec-JB), declaro que meu trabalho de graduação intitulado **FORMAÇÃO de Remoção de Sulfeto de Hidrogênio no Biogás é ORIGINAL**.

Declaro que recebi orientação sobre as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que tenho conhecimento sobre as Normas do Trabalho de Graduação da Fatec-JB e que fui orientado sobre a questão do plágio.

Portanto, estou ciente das consequências legais cabíveis em caso de detectado PLÁGIO (Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais, publicada no D.O.U. de 20 de fevereiro de 1998, Seção I, pág. 3) e assumo integralmente quaisquer tipos de consequências, em quaisquer âmbitos, oriundas de meu Trabalho de Graduação, objeto desse termo de originalidade.

Jaboticabal/SP, [inserir dia, mês e ano].

Gabriel dos Santos Silva