

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, n° 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

**METODOLOGIAS PARA REMOÇÃO DE H<sub>2</sub>S DO BIOGÁS: UMA REVISÃO  
BIBLIOGRÁFICA SOBRE OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS EM TRATAMENTOS  
FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS.**

**METHODOLOGIES FOR H<sub>2</sub>S REMOVAL FROM BIOGAS: A BIBLIOGRAPHIC  
REVIEW ON TECHNOLOGICAL ADVANCES IN PHYSICAL, CHEMICAL AND  
BIOLOGICAL TREATMENTS.**

**Jadiane Paola Cavaler;**

Doutoranda em Engenharia Agrícola - PGEAGRI - Campus Cascavel  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
[jadiane.cavalier@unioeste.br](mailto:jadiane.cavalier@unioeste.br)  
(45) 9 9994-7038

**Eduardo Eyng**

Professor Adjunto ao PPGTAMB  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Medianeira  
[eduardoeyng@utfpr.edu.br](mailto:eduardoeyng@utfpr.edu.br)

**Laercio Mantovani Frare**

Professor Adjunto ao PPGTAMB  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Medianeira  
[laercio@utfpr.edu.br](mailto:laercio@utfpr.edu.br)

**Alexssander Juliano Tavares**

Mestrando em Tecnologias Ambientais - PPGTAMB - Campus Medianeira  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
[alexs.sander\\_j@hotmail.com](mailto:alexs.sander_j@hotmail.com)

## **RESUMO**

O biogás é uma excelente fonte de energia renovável que pode ser transformada em energia térmica, energia elétrica ou combustível veicular. Este gás é constituído basicamente por metano (CH<sub>4</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>), mas pode conter quantidades significativas de contaminantes, como o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), que possui potencial tóxico ao ser humano, e corrosivo para máquinas e equipamentos utilizados nos processos envolvendo o biogás. Devido a este e outros contaminantes, é imprescindível a purificação do biogás antes de qualquer outro processo. Esta revisão visa apresentar pesquisas dos últimos 20 anos sobre os principais processos físicos, químicos e biológicos empregados para a purificação de biogás, visando a remoção de gás sulfídrico e reunir informações acerca do tema

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

para contribuição científica.

**Palavras-chave:** Sulfeto de Hidrogênio; Digestão Anaeróbia; Purificação.

## **ABSTRACT**

Biogas is an excellent source of renewable energy that can be transformed into thermal energy, electrical energy or vehicle fuel. This gas basically consists of methane (CH<sub>4</sub>) and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), but it can contain significant amounts of contaminants, such as hydrogen sulfide (H<sub>2</sub>S), which has a toxic potential for humans, and corrosive to machinery and equipment used in processes involving biogas. Waiting for this and other contaminants, it is essential to purify the biogas before any other process. This review aims to present research from the last 20 years on the main physical, chemical and biological processes used for the purification of biogas, cleaning the removal of hydrogen sulphide and gathering information on the topic for scientific contribution.

**Keywords:** Hydrogen Sulphide. Anaerobic Digestion. Purification.

## **1. INTRODUÇÃO**

A crescente preocupação mundial com as limitadas reservas de combustíveis fósseis impulsionou pesquisas para a obtenção de fontes alternativas de energia, implantando ações práticas que objetivam o desenvolvimento sustentável. Analisando a matriz energética brasileira é possível destacar sua diversificação quanto ao crescente emprego de fontes renováveis de energia, ampliando o leque de possibilidades de aumento da demanda energética. Dentre as alternativas encontradas, destacam-se as fontes limpas que além de geração de energia, ainda contribuem com a minimização de aspectos e impactos ambientais.

Uma das alternativas possíveis para o alcance de uma matriz energética renovável é a produção de biogás, oriundo do processo de biodigestão anaeróbia, que além de proporcionar um descarte correto dos resíduos provenientes de atividades agropecuárias, agroindustriais e efluentes urbanos, ainda contribui com a expansão do agronegócio e diversas outras vantagens, como a geração de energia elétrica, energia térmica e produção de biometano.

Para um melhor aproveitamento energético do biogás, é vantajosa e necessária a aplicação de métodos que visam a remoção de constituintes indesejáveis. Dentre estes constituintes está o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), também conhecido como sulfeto de hidrogênio, considerado o mais prejudicial por conta de seu grande potencial tóxico e corrosivo.

A purificação do biogás é um dos fatores mais importantes para torná-lo uma fonte viável de energia renovável, devido aos custos causados pela corrosão dos equipamentos pela presença do H<sub>2</sub>S e ao baixo rendimento da combustão pela alta concentração do CO<sub>2</sub>. Portanto, um sistema de

purificação deve possuir, como característica principal, um baixo custo de implantação e operação e uma alta eficiência de remoção dos contaminantes apresentados.

O presente trabalho busca explicar sobre processos de remoção de H<sub>2</sub>S visando a purificação do biogás a partir de uma revisão da literatura, reunindo informações sobre pesquisas já desenvolvidas, além da aplicação de uma análise cienciométrica utilizando a plataforma *Scopus*® sobre os avanços científicos do tema nos últimos vinte anos.

## 2. BIOGÁS

Biogás é o nome designado ao composto gasoso resultante do processo de biodigestão da matéria orgânica, por diversos grupos de microrganismos que não necessitam de oxigênio para seu crescimento. É constituído predominantemente por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e com baixas concentrações de outros gases, denominados gases traço, destacando entre estes o sulfeto de hidrogênio ou gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e hidrogênio (H<sub>2</sub>) (BLEY Jr., 2015), como representado na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais gases que compõem o biogás.

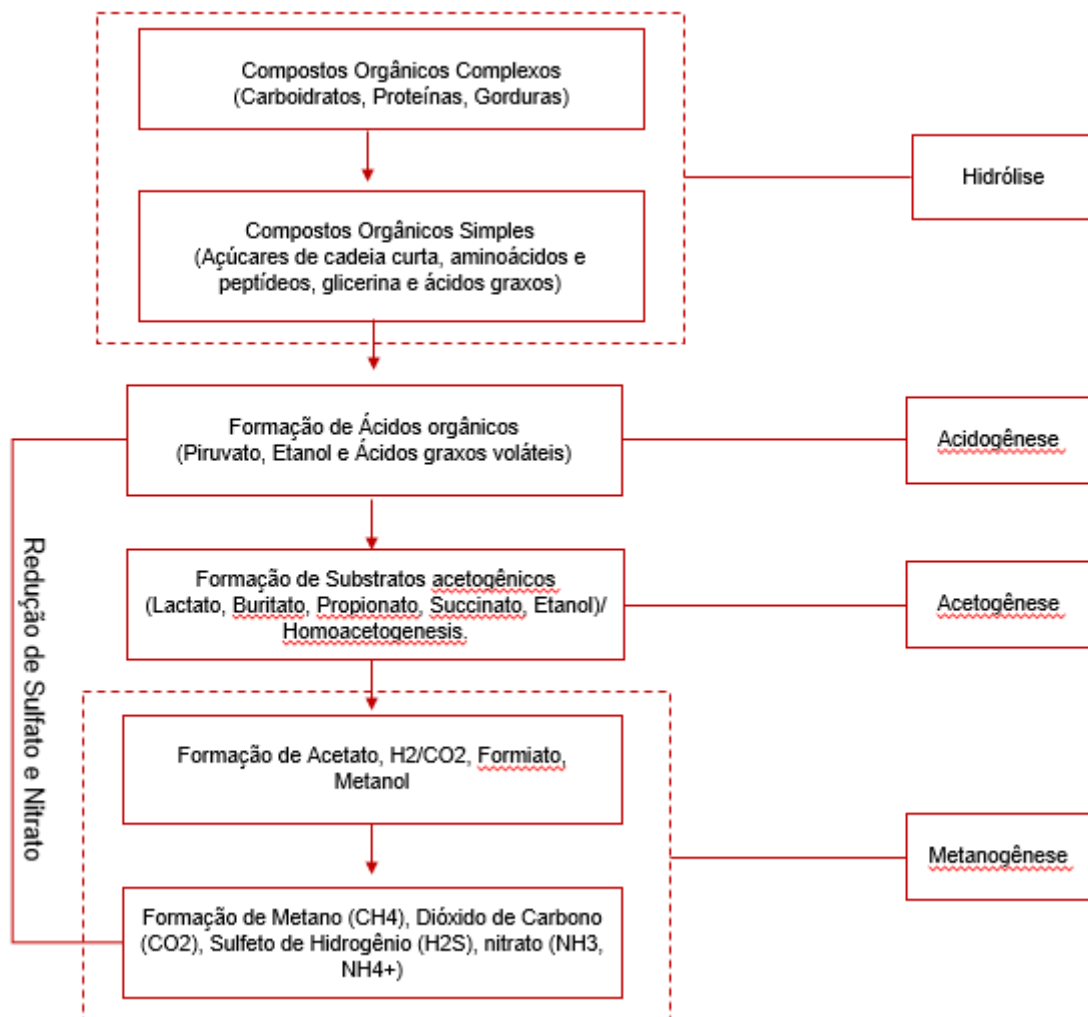
Gás	Sigla	Concentração no Biogás (%)	Poder Calorífico (kWh.kg <sup>-1</sup> )	
			Inferior	Superior
Metano	CH <sub>4</sub>	50 - 80	13,88	15,40
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	20 - 40	-	-
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	1 - 3	33,29	39,40
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	0,5 - 0,3	-	-
Sulfeto de	H <sub>2</sub> S, CO e	1 - 5	4,22; 2,8 e	4,58; 2,8 e
Hidrogênio e outros	NH <sub>3</sub>		5,16	6,23

Fonte: COLDEBELLA, 2006; REGO, 2006.

Sua composição varia conforme o tipo de biomassa a ser utilizada e das condições físico-químicas no biodigestor (pH, temperatura, alcalinidade), além da presença de ânions como sulfatos e nitratos (NOYOLA et al., 2006). O processo de produção do biogás pode ser dividido em 4 fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, todas realizadas por ações de microrganismos (SILVA, 2013).

Na hidrólise há a quebra de carboidratos, proteínas e lipídios em açúcares, aminoácidos e ácidos graxos. Na acidogênese, os compostos simples são transformados em ácidos orgânicos, e na acetogênese estes são convertidos em acetato, hidrogênio e gás carbônico. Na metanogênese, então há a formação de metano. Ao final do processo, podem ocorrer a formação de nitrato e sulfatos juntamente com a produção de biogás, ocasionando uma nova etapa no processo, denominada de sulfetogênese, onde o material orgânico é oxidado formando o gás sulfídrico (COELHO, 2004). A Figura 1 ilustra estas fases bem como suas reações e produtos.

Figura 1 – Fases da digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptado de Kunz et al. (2019) e Deublein e Steinhauser (2011).

A capacidade energética do biogás possui uma versatilidade notável, uma vez que a energia química produzida é capaz de passar por conversão, tornando então energia mecânica em motores

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

estacionários, movendo geradores e tendo assim a conversão direta em energia elétrica. Há ainda a possibilidade de sofrer conversão para energia térmica, sendo então utilizado como fonte de energia que alimentam as caldeiras. Outra forma de utilização pode ser como combustível veicular, bastando apenas que estes possuam motores com tecnologia de funcionamento com o uso do gás natural indicado para abastecimento (BLEY Jr, 2015).

Miki (2018) ainda afirma que, para usos mais nobres, como a produção de combustível automotivo, além do tratamento exige-se o beneficiamento do biogás, resultando em biometano, que consiste na remoção do gás carbônico e outros componentes ainda presentes no biogás, após tratamento, visando o aumento da concentração de metano. O metano está diretamente relacionado com o potencial energético do biogás, pois quanto mais metano, maior será o poder calorífico do biogás (SILVA, 2013).

### 3. GÁS SULFÍDRICO (H<sub>2</sub>S)

O gás sulfídrico, ou sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S), é um gás incolor, altamente tóxico à saúde humana, que apresenta odor desagradável em baixas concentrações. Já em altas concentrações não apresenta cheiro, o que o torna mais perigoso ao homem, por este ter dificuldade em notar sua presença. Pequenas exposições podem causar irritação nos olhos e nariz, tontura, fadiga, náusea, tosse, diarreia, perda de apetite, irritação na pele, dor no peito, gastrite, dor de cabeça e danos neurológicos. Já exposições elevadas podem resultar problemas mais sérios como coma imediato, com ou sem convulsões, e até a morte rapidamente (HAAS, 2013; GUERRERO et al., 2016). As propriedades físico-químicas do sulfeto de hidrogênio estão dispostas na tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas do H<sub>2</sub>S.

<b>Propriedades físico-químicas</b>	<b>Sulfeto de Hidrogênio (H<sub>2</sub>S)</b>
Peso Molecular (g.mol <sup>-1</sup> )	34,081
Cor	Incolor
Estado físico	Gasoso
Ponto de Fusão (°C)	-85,09
Ponto de ebulição (°C)	-60,33
Densidade a 0°C, 1 atm (g.L <sup>-1</sup> )	1,5392
Densidade no ar	1,189 (ar = 1,00)
Pressão de vapor a 20°C (mmHg)	13.600

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

Odor

ofensivo

---

Fonte: Adaptado de ATSDR (2014).

De acordo com Abatzoglou e Boivin (2009) e Villalobos (2011) apud Colturato et al. (2016), além de prejudicial à saúde do homem, o gás sulfídrico também contribui para corrosão de máquinas e equipamentos. Isto acontece quando este gás se converte em dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), que na presença de água solubiliza-se facilmente, formando o ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), responsável pelo prejuízo aos equipamentos. Por conta dessa possível solubilização, a remoção da umidade do biogás, complementando os demais processos de tratamentos, torna-se benéfica.

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

Quando em faixas de 10 a 500 ppm, além do risco à saúde humana, caso não seja removido, o H<sub>2</sub>S pode causar graves corrosões nos equipamentos. A combustão ainda promove a formação de dióxido de enxofre, que ao entrar em contato com a atmosfera podem acontecer reações e ocasionar danos como a chuva ácida (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

Outro ponto negativo da presença do gás sulfídrico na composição do biogás é a inibição de atividades microbianas, além de promover a competição entre os microrganismos produtores deste gás e do metano (GUERRERO et al., 2016).

#### **4. TECNOLOGIAS PARA REMOÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO DO BIOGÁS**

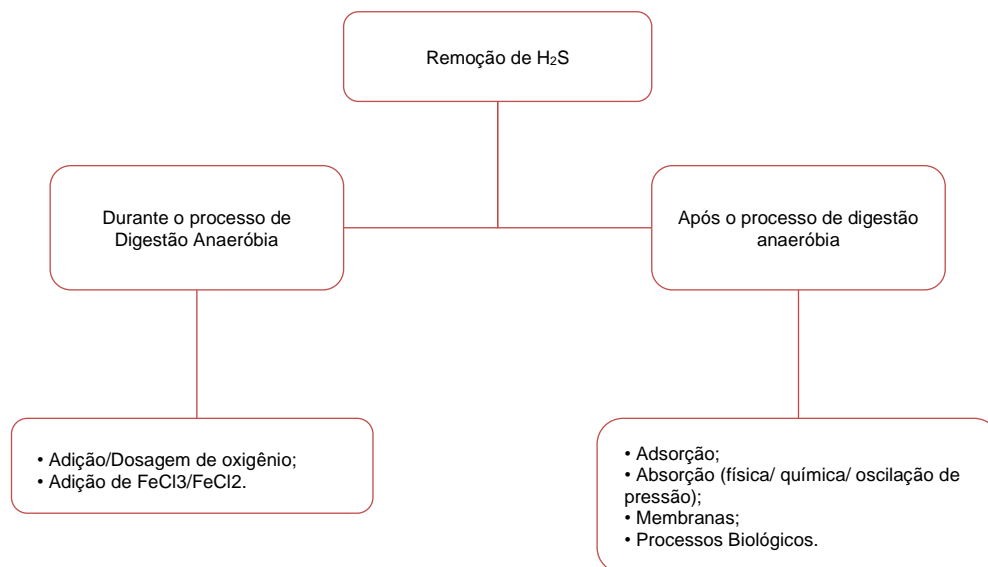
A realização de estudos para a remoção de H<sub>2</sub>S do biogás destaca-se a cada ano, pois, a versatilidade de aplicação do gás e a possibilidade de substituição do uso de combustíveis convencionais (fósseis) por uma fonte renovável de energia agregam valor ao tratamento de biodigestão anaeróbia.

De acordo com a Agência Internacional de Energia, a IEA (2020), apenas 5% de todo o biogás gerado no mundo em 2018 foi utilizado para a produção de biometano, passando por processos de purificação e destinado as redes de gás natural, ou utilizados como combustível veicular.

Assunção, et. al (2020), apresentam a avaliação de tendências para a produção e utilização do biometano a partir de *Tech-Mining & Road Mapping*. Ainda, segundo os autores, várias tecnologias baseadas em métodos físico-químicos vêm sendo empregadas na purificação do biogás, destacando-se entre as mais utilizadas em escala industrial a lavagem de gases com água (absorção física), Absorção por oscilação de pressão (PSA), Absorção química com a utilização de amins e a separação por membranas.

As metodologias para a purificação do biogás podem ser físicas (adsorção, absorção), químicas (adição de compostos de ferro no substrato, filtros com óxido de ferro) ou biológicas (biodessulfurização, injeção de oxigênio no biodigestor) (CIBIOGÁS; UNIDO, 2020). Os métodos de dessulfurização podem ser divididos em internos e externos (Figura 2), ou seja, podem ocorrer dentro ou fora do biodigestor (KUNZ et al., 2019).

Figura 2 – Processos comumente utilizados para remoção de sulfetos do biogás



Fonte: Adaptado de Kunz et al. (2019).

O estudo sobre metodologias aplicadas a purificação do biogás vem se concentrando não só na eficiência dos processos unitários escolhidos para a remoção, mas também nos fatores que devem ser considerados para a seleção do método ou de uma combinação destes, para que sejam adaptáveis a cada situação (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

Todavia, variáveis importantes do projeto precisam ser consideradas (vazão de gás, concentração de H<sub>2</sub>S na planta de biodigestão, destinação dos resíduos gerados durante o tratamento escolhido) para a determinação da melhor metodologia (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008).

#### 4.1. ADSORÇÃO

Muitos estudos vêm sendo realizados quanto aos tipos de adsorventes utilizados, parâmetro que merece bastante atenção quando procura-se obter altas taxas de eficiência de remoção de H<sub>2</sub>S. No processo de Adsorção, o biogás passa em uma coluna de leito fixo contendo a substância adsorvente que tenha afinidade com o sulfeto de hidrogênio, fazendo com que este fique retido na fase sólida. O regime do processo é considerado semi-contínuo, pois o adsorvente é gradualmente saturado, possuindo vida útil curta e sem sistema de regeneração, gerando altas quantidades de



CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

resíduos no sistema de purificação, não sendo aconselhável para tratamentos em larga escala. (ABATZOGLOU; BOIVIN, 2009).

Sisani et al. (2014) avaliaram alguns adsorventes comerciais, sendo estes quatro carbonos ativados por vapor (Norit RB1, Norit RBAA1, Norit RGM1 e Desotec Airpel Ultra DS), uma alumina ativada e impregnada (Galipur S) e um zeólito natural, para analisar o desempenho destes em um processo de adsorção de H<sub>2</sub>S, utilizando uma ampla variedade de condições operacionais que podem ser encontradas em um fluxo de biogás. Como resultado, obtiveram que os carvões ativados por vapor impregnados com sais de Cobre/Cromo (Norit RGM1) ou KOH (Norit RBAA1 e Desotec Airpel Ultra DS) apresentaram a maior atividade de remoção de H<sub>2</sub>S. Em particular, o Desotec Airpel Ultra DS apresentou menor capacidade de adsorção de H<sub>2</sub>S do que o Norit RBAA1, devido ao menor conteúdo de KOH.

Sahota et al. (2018) tiveram como objetivo pesquisar a adaptação de biocarvão de resíduos de folhas testados em uma torre de adsorção para a dessulfurização de biogás. As espécies de plantas utilizadas foram: Fístula Cassia, Terminalia arjuna, Melia azedarach, Cássia siamea, Ficus racemosa, Delonix regia, Syzygium cumini, Pongamia pinnata, Helicteres isora, Mimusops elengi, Azadirachta indica, Ficus religiosa, Ficus virens, Albizia lebbeck, Prosopis juliflora, Polyalthia longifolia coletadas em uma reserva, a posteriori foram secas em estufa, trituradas e preparadas para serem utilizadas como biocarvão. Os resultados foram promissores, onde a eficiência de remoção de H<sub>2</sub>S chegou a 84,2%.

Choudhury e Lansing (2021), buscaram utilizar biocarvão impregnado com Ferro para aumentar a remoção de H<sub>2</sub>S em uma coluna de purificação de biogás, estudo inédito realizado. Foram utilizados biocarvões com substratos de palha de milho (CSB) e madeira de bordo (MB), avaliando as eficácias com e sem a impregnação de ferro. O trabalho objetivava, além da remoção, buscar alternativas para a substituição do carvão ativado. Os autores chegaram a remoções 3,9 vezes maiores para os biocarvões modificados quando comparados aos testes realizados com os mesmos sem alteração. O estudo apresentou como a impregnação de Fe pode contribuir na remoção de H<sub>2</sub>S por adsorção.

## 4.2. ABSORÇÃO

As tecnologias de purificação por absorção consistem em operações unitárias onde ocorre a transferência de um soluto contido em um gás para um líquido. Podem ser processos físicos, a partir de diferenças de solubilidade gás/líquido, ou químicos, ocorrendo reação química entre o soluto e

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

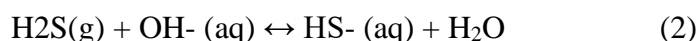
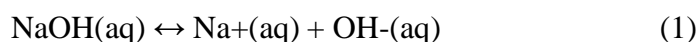
compostos do líquido. (GASPAROVIC, 2019).

Outra metodologia comumente utilizada para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás é a absorção com reação química, que possui seus princípios baseados na retirada de um componente de uma mistura gasosa para um absorvente geralmente líquido, fenômeno que acontece devido a diferença de concentração entre ambos e a solubilidade destes (FRARE et al, 2009).

Frare et al., (2009) realizaram experimentos para determinar a redução de H<sub>2</sub>S em biogás a partir de um processo de absorção química utilizando a solução Fe/EDTA, estabelecendo a vazão ótima de líquido para obter altas remoções de H<sub>2</sub>S e avaliar o crescimento de enxofre durante a reação. A partir da obtenção dos dados experimentais para a remoção do sulfeto de hidrogênio, chegou-se à conclusão de que as concentrações de Fe/EDTA devem ser iguais ou superiores a 0,46 para obterem altas eficiências de remoção.

O H<sub>2</sub>S possui afinidade química com cátions metálicos, podendo dividir o processo de absorção química em duas classes: uma envolvendo a oxidação do sulfeto (S<sup>2-</sup> a S<sup>0</sup>) e outra baseada na captura do sulfeto, formando as precipitações de sais metálicos (ABATZOGLOU; BOIVIN, 2009).

O hidróxido de sódio (NaOH) caracteriza-se por ser uma das metodologias mais antigas de remoção de H<sub>2</sub>S do biogás. Sua aplicação limita-se apenas a grandes volumes de gás que necessitam de tratamento, ou concentrações de H<sub>2</sub>S elevadas, pois são necessários requisitos técnicos para manusear a solução caustica (PETERSSON; WELLINGER, 2009). Colturato et al. (2016) apontam as reações químicas envolvidas na dessulfurização de biogás por hidróxido de sódio (equações 1 e 2), que resultam na formação de sulfeto de sódio e hidrossulfeto de sódio.



A desvantagem do uso da solução de NaOH é a contaminação de grandes volumes de água com sulfeto de sódio. O hidróxido de sódio pode reagir também com o CO<sub>2</sub>, e, inicialmente ser regenerado, porém, possui um custo muito elevado, muitas vezes tornando inviável (ZORN, 2005).

A solução de hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) também é muito utilizada em sistemas de absorção para purificação de biogás. Tal composto é facilmente encontrado e possui custos relativamente baixos na operação de lavadores de gases. Porém apresenta algumas desvantagens, como o controle de sua consistência e a remoção das grandes quantidades do precipitado de carbonato de cálcio formado nos tanques de mistura e lavadores (NAS, 1977).

Machado et al. (2015) salienta que a reação do (Ca(OH)<sub>2</sub>) com o H<sub>2</sub>S resulta em sulfeto de

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

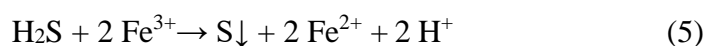
cálcio e água (equação 3). O sulfeto de cálcio (CaS) pode ser oxidado a sulfato de cálcio, tornando viável a utilização deste na agricultura.



Para a lavagem do biogás por absorção, geralmente são utilizadas colunas fabricadas em materiais resistentes a corrosão. Para otimizar o tempo de reação e intensificar o contato com o H<sub>2</sub>S, as colunas geralmente possuem formato cilíndrico, de maior comprimento e menor diâmetro, além de serem dispostas na posição vertical. O volume interno pode ser preenchido ou não com uma solução (química ou água), e o fluxo de gás usualmente entra pela parte de baixo da coluna, fluindo em modo contracorrente, e saindo na parte superior da coluna, onde é coletado (KUNZ, et al. 2019).

As técnicas de purificação por absorção química apresentam alta eficiência de remoção (99%), havendo a possibilidade de lidar com uma grande diversidade de poluentes, permitindo também a conversão do poluente em um produto químico ou resíduo sólido, proporcionando o descarte adequado (HORIKAWA et al. 2004).

A solução de íons Fe liberadas no processo de eletrólise também pode ser utilizada para a purificação do biogás (MAYER, 2019). Na eletrólise, a molécula de água é dividida em oxigênio e hidrogênio pela eletricidade, ou seja, ocorre a separação do ânodo e do cátodo. Dependendo do eletrodo a ser utilizado há também a liberação de outros íons, no caso dos de Fe, são liberados Fe<sup>2+</sup> e Fe<sup>3+</sup> (COSTA, 2012). Esses íons podem ser utilizados para reduzir o sulfeto de hidrogênio a enxofre elementar durante a absorção química, de acordo com as Equações (4) e (5).



Para Horikawa et al. (2004), esse tratamento apresenta vantagens aos demais, pois além de remover o poluente no fluxo gasoso, ainda converte o produto em enxofre elementar, produto estável, que pode ser facilmente recolhido e enviado para a destinação final correta, ou, pode ser comercializado.

Mayer (2019) produziu soluções de íons Fe eletroquimicamente a partir de planejamentos experimentais com variáveis independentes: o pH e os tempos de eletrólise, obtendo como variável resposta o tempo de desativação das soluções quando utilizadas para purificação de biogás. Os resultados indicaram que quanto maiores os valores de pH dentro da faixa de estudo, maiores foram

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

as eficiências de remoção de H<sub>2</sub>S.

As etapas de regeneração da solução são apresentadas pelas Equações (6) e (7):



Maia et al. (2017), buscaram a purificação de biogás a partir de um sistema de bancada em escala piloto, utilizando uma solução de Fe/EDTA. o trabalho objetivava encontrar uma relação líquido-gás ótima para o sistema, por meio de testes de diferentes concentrações de soluções de Fe/EDTA. Após as análises e otimização a partir de um DCCR (Delineamento Composto Central Rotacional), os autores chegaram a um percentual de 99% de eficiência de remoção após 35 minutos de ensaio, utilizando Fe/EDTA em uma concentração de 0,2 mol.L<sup>-1</sup> e razão L/G de 1,27.

#### 4.3. REMOÇÃO BIOLÓGICA

Basicamente, os processos biológicos de dessulfurização consistem em utilizar bactérias oxidantes de enxofre em meios líquidos colocando-as em contato com o biogás, em contracorrente para que ocorra a oxidação do sulfeto em enxofre elementar (PROMNUAN; O-THONG, 2017 e CHENG et al., 2018). É necessário destacar que os métodos biológicos possuem uma maior sensibilidade e lentidão quando comparado a outras alternativas de tratamento (SAHOTA et al., 2018).

A remoção biológica de H<sub>2</sub>S é baseada nas atividades das bactérias oxidantes de enxofre (SOB), as quais obtém energia para o seu metabolismo a partir das reações oxidantes, onde o oxigênio (espécies aeróbicas) ou nitratos ou nitritos (espécies anóxicas) servem como o receptor de elétrons liberados durante a oxidação de sulfetos. As bactérias mais apropriadas para a remoção de sulfetos são as quimiolitotróficas (Thiobacillus, Sulfolobus, Thermothrix, Beggiatoa e Thiobacillus), pois também se adaptam a altas taxas de oxidação de sulfetos e afinidade elevada com sulfetos e oxigênio enxofre (KANATHIP; SOMPONG, 2017).

Os resultados de vários estudos mostram os benefícios da aplicação de processos microaeróbicos à digestão anaeróbica para dessulfurização (GUERRERO et al, 2015). Analisando tais processos, é possível ressaltar o trabalho de Ramos et al (2013) reproduziu as condições de dessulfurização existente nos digestores microaeróbicos em uma câmara externa chamada de MDU - Unidade de dessulfurização microaeróbia. Inoculou-se 1 litro de lodo em uma unidade de 10 litroa

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

para tratar o biogás produzido em um sistema de digestor piloto. A pesquisa durou aproximadamente 128 dias, chegando a alcançar níveis de remoção de até 94% de H<sub>2</sub>S. as análises microbiológicas identificaram pelo menos três gêneros bacteriológicos responsáveis por oxidar sulfeto. Os resultados obtidos foram promissores, onde por volta de 60% de todo o H<sub>2</sub>S oxidado foi recuperado com 98% de pureza, consolidando que este sistema pode se tornar uma alternativa viável para dessulfurização do biogás.

Kanathip e Sompong (2017) investigaram a eficiência na remoção de H<sub>2</sub>S do biogás de óleo de palma por biofiltro. Foram testadas Oito amostras de lodo de sistemas de biofiltro de biogás de moinho de dendê para remoção de H<sub>2</sub>S por meio de cultivo em meio mineral tiosulfatosob condição anaeróbia à pressão atmosférica. Os resultados demonstraram que quantidades médias de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S na entrada de biogás foram de 62%, 35% e 0,95%, respectivamente.

Apesar da ênfase que alguns autores dispõem quanto as técnicas mais utilizadas, a remoção biológica vem sendo muito aderida nas publicações dos últimos anos, na maioria das vezes em sistemas híbridos, atuando conjuntamente com uma técnica físico-química de purificação.

Zhang et al. (2020) avaliaram a viabilidade da remoção simultânea de siloxanos e H<sub>2</sub>S do biogás por meio da utilização de um filtro aeróbio de biotrickling (BTF). Buscou-se também observar o comportamento cinético do processo de remoção do H<sub>2</sub>S, que resultou em uma cinética de primeira ordem. Para a remoção do decametilciclopentasiloxano (D5) o processo resultou em uma eficiência de 52%, já para o H<sub>2</sub>S, foi de 95%.

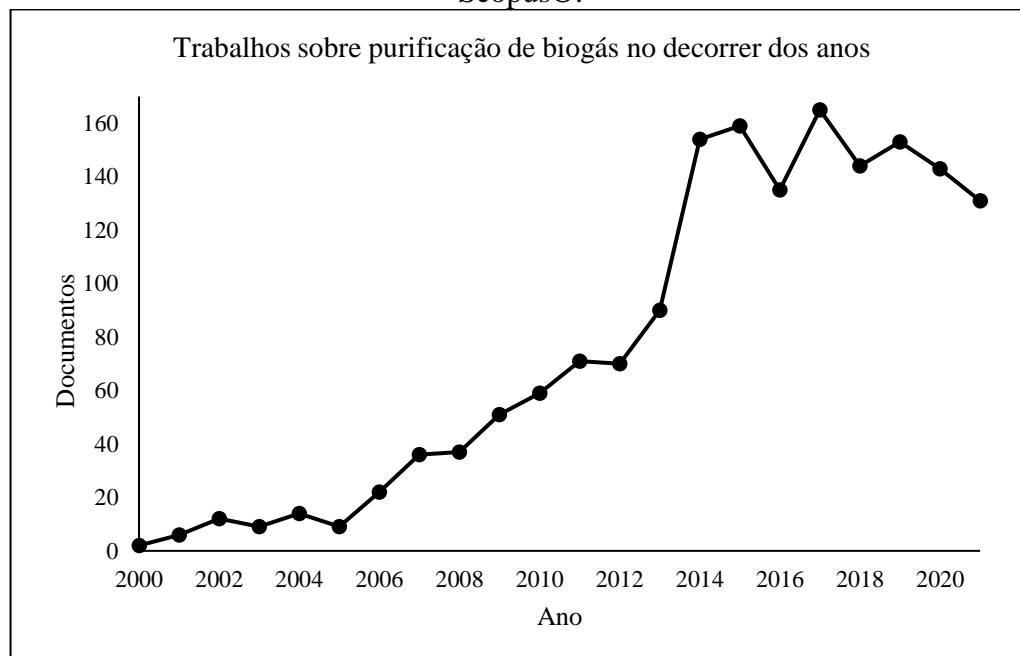
## 5. ANÁLISE CIENCIOMÉTRICA

Utilizando a plataforma Scopus®, foram realizados levantamentos acerca das contribuições científicas dos últimos 20 anos quanto ao avanço das tecnologias para a purificação de biogás. As palavras chaves utilizadas para pesquisa na plataforma foram “biogás” e “purificação”, já os anos foram limitados de 2000 à 2021.

Ao todo, foram encontrados na base de dados 1,672 documentos, incluindo artigos (1.273), artigos apresentados em conferências (208), revisões (112), capítulos de livros (45), e resumos apresentados em conferências (16), notas (6), pesquisas breves (5), artigos de negócios (2), cartas (2) e livros (1). Na figura 3, é possível observar o número de documentos publicados referentes a cada ano analisado.

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

Figura 3 – Produções sobre purificação de biogás durante os anos de 2000 à 2021 na plataforma Scopus®.

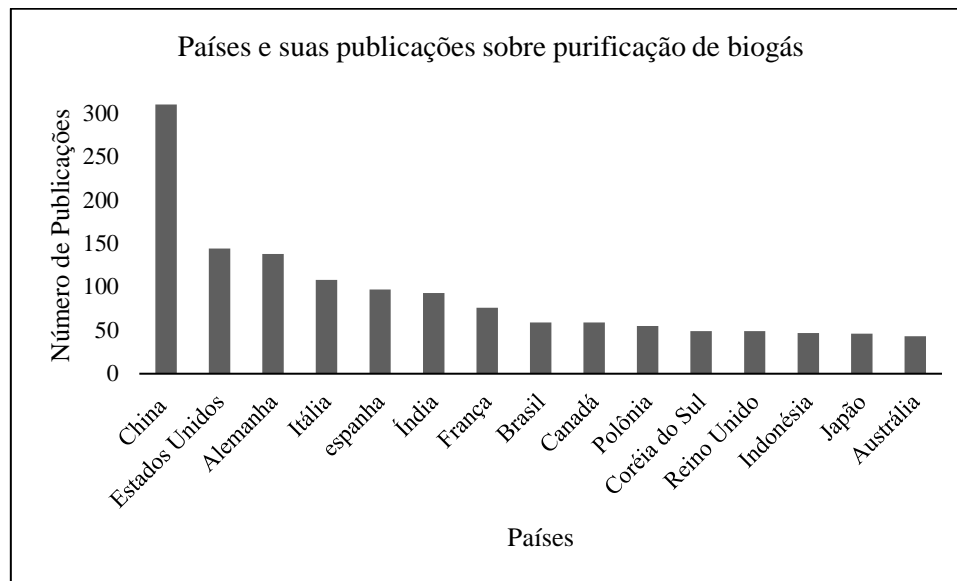


Fonte: Scopus® (2021).

Dos anos de 2013 a 2014, nota-se um aumento significativo de pesquisas relacionadas ao tema, mantendo-se em alte até 2016. O ano com maior número de publicações identificado pela plataforma foi o de 2017, com 165 documentos. Ainda conforme os dados obtidos pela Scopus®, os países que mais publicaram sobre o tema durante o período estabelecido foram: China (310), Estados Unidos (144) e Alemanha (138). A Figura 4 dispõe os principais países e seus números de publicação cadastrados na Scopus®.

Figura 04 – Número de publicações por países e territórios durante o período de 2000 à 2021.

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.



Fonte: Scopus® (2021).

Seguido dos três países que mais publicaram sobre o tema, encontram-se a Itália (108), Espanha (97), Índia e França com 93 e 76 publicações respectivamente na plataforma. O Brasil encontra-se na oitava posição, com 59 publicações, seguido do Canadá, também com 59.

Os resultados obtidos com este levantamento, apontaram um aumento do interesse no desenvolvimento de pesquisas relacionadas a purificação de biogás nos últimos 20 anos, principalmente em nações desenvolvidas, e mais ativamente durante os anos de 2006 à 2017.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo teve como objetivo realizar a união de informações acerca dos tratamentos aplicados a remoção de H<sub>2</sub>S do biogás durante os últimos 20 anos, buscando promover a discussão sobre as técnicas usuais principais: física, química e biológica para purificação de biogás. Nota-se um aumento significativo na aplicação de metodologias híbridas de tratamento, que busquem utilizar uma técnica biológica e uma física para a realização dos tratamentos, realizando não somente a remoção de H<sub>2</sub>S, mas também de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Diversos trabalhos buscam a remoção a partir da absorção com reação química, utilizando o FE EDTA em solução para o tratamento do biogás. Apesar de várias metodologias e estudos na área, há ainda fatores que necessitam ser considerados para a instalação de um sistema de remoção, tais como custos do projeto, eficiência de remoção e quantidade e toxicidade do resíduo gerado pós tratamento.

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos.** Revista Interdisciplinar Científica Aplicada, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

A análise cienciométrica possibilitou avaliar o aumento do interesse e desenvolvimento de pesquisas relacionadas sobre o assunto, reforçando a importância da busca de sistemas eficientes para a purificação de biogás.

## REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, N.; BOIVIN, S. A review of biogas purification processes. **Biofuels, Bioproducts And Biorefining**, v. 3, n. 1, p.42-71, 2009.

ASSUNÇÃO, L. S.; BORSCHIVER, S.; MENDES, P. A. S. Assessment of trends for biomethane production and utilisation using Tech-Mining & Roadmapping. **Rio Oil And Gas Expo And Conference**, [S.L.], v. 20, n. 2020, p. 264-265, 1 dez. 2020. Instituto Brasileiro de Petróleo e Gas. <http://dx.doi.org/10.48072/2525-7579.rog.2020.264>. Disponível em: <[https://icongresso.ibp.itarget.com.br/arquivos/trabalhos\\_completos/ibp/3/final.IBP1013\\_20\\_20072\\_020\\_151253.pdf](https://icongresso.ibp.itarget.com.br/arquivos/trabalhos_completos/ibp/3/final.IBP1013_20_20072_020_151253.pdf)>. Acesso em: 14 mar. 2021.

ATSDR - AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Hydrogen sulfide: human health aspects. Geneva: **World Health Organization**, 2003.

BLEY JR., C. **Biogás: a energia invisível**. 2ª ed. São Paulo: Atol Estúdio, 2015. 178p.

BLEY JR., C. et al. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora, 2ª edição, revisada, 2009.

CIBIOGÁS, UNIDO. **Fundamentos do Biogás** – Foz do Iguaçu, 2020 – 57p.

CHOUDHURY, Abhinav; LANSING, Stephanie. Adsorption of hydrogen sulfide in biogas using a novel iron-impregnated biochar scrubbing system. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 104837, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2020.104837>.

COELHO, S.T., V, S.M.S.G., MARTINS, O.S., COSTA, D.F. BASAGLIA, F., Geração de Energia Elétrica a Partir Do Biogás Proveniente Do Tratamento De Esgoto Utilizando Um Grupo Gerador De 18 Kw. **V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**, Brasília – DF, 2004.

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 2006. 74 folhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2006.

COLTURATO, L. F. D. B. et al. Avaliação de lavador de gases do tipo Venturi, operando com solução de hidróxido de sódio, para dessulfuração de biogás com altas concentrações de H<sub>2</sub>S. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p.65-76, 2016.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A.; BIOGAS from Waste and Renewable Resources. **WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim**, p. 340-341, 2008.



CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. *Revista Interdisciplinar Científica Aplicada*, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

FRARE, L. M.; GIMENES, M. L.; PEREIRA, N. C. Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v. 14, n. 2, p.167-172, 2009.

GASPAROVIC, C. L. M.; EYNG, E. ; FRARE, L. M. ; ORSSATTO, F. ; SABBI, L. B. C. ; BARALDI, I. J. . Kinetics modeling and experimental validation of reactive blue 5G dye removal from synthetic solution by electrocoagulation. *Desalination and water treatment*. **Desalination and Water Treatment** v. 165, p. 301-313, 2019

GUERRERO, L. et al. Advances in the biological removal of sulphides from aqueous phase in anaerobic processes: A review. **Environmental Reviews**, v. 24, n. 1, p.84-100, 2016.

HAAS, L. B. **Desenvolvimento de um filtro para remoção de H<sub>2</sub>S de biogás**. 2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

HORIKAWA, M.S.; ROSSI F.; GIMENES, M.L.; COSTA; C.M.M.; DA SILVA M.G.C. Chemical absorption of H<sub>2</sub>S for biogas purification. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, 2004.

KUNZ, A. et al. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato** - Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 209 p.

MACHADO, N. S.; SILVA, J. N. da; OLIVEIRA, M. V. M. de; COSTA, J. M.; BORGES, A. C. Remoção do sulfeto de hidrogênio do biogás da fermentação anaeróbia de dejetos de suínos utilizando óxido de ferro, hidróxido de cálcio e carvão vegetal. **Revista Energia na Agricultura**, 2015.

MAIA, D. C. S.; NIKLEVICZ, R. R.; ARIOLI, R.; FRARE, L. M.; ARROYO, P. A.; G., M. L.; PEREIRA, N. C.. Removal of H<sub>2</sub>S and CO<sub>2</sub> from biogas in bench scale and the pilot scale using a regenerable Fe-EDTA solution. **Renewable Energy**, [S.L.], v. 109, p. 188-194, ago. 2017. Elsevier BV.

MAYER, B. Avaliação da remoção de H<sub>2</sub>S de biogás por absorção química em soluções contendo íons de ferro preparadas eletroquimicamente. 2019. 49 folhas. **Dissertação** (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

MIKI, R. E. Biometano produzido a partir e biogás de ETEs e seu uso como combustível veicular. **Revista DAE**, v. 66, n. 209, p.6-16, 2018.

MORETTI, C. et al. **Purificação do Biogás em um sistema de conversão de energia elétrica**. PR Cooperativo Técnico Científico, Curitiba, v. 7, n. 75, p. 27-34, ed. esp. 4. 2012.

NAS – **National Academy of Sciences**. Methane Generation from human, animal, and agricultural wastes. 131p., Washington, 1977.

NOYOLA, A., ORGAN-SAGASTUME, J. M. & LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J. E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odor control and energy/resource recovery. **Rev. Environ. Sci. Biotechnol.** 5 (1), 93–114. 2006.

CAVALER, Jadiane Paola. EYNG, Eduardo. FRARE, Laercio Mantovani. TAVARES, Alexssander Juliano. **Metodologias para remoção de H<sub>2</sub>S do biogás**: uma revisão bibliográfica sobre os avanços tecnológicos em tratamentos físicos, químicos e biológicos. *Revista Interdisciplinar Científica Aplicada*, Blumenau, V.16, nº 1, p.98-114. TRI I 2022. ISSN 1980-7031.

PETERSSON, A.; WELLINGER, A. Biogas upgrading technologies – developments and innovations. Impressum, 2009.

PROMNUAN, Kanathip; O-THONG, Sompong. Efficiency Evaluation of Biofilter for Hydrogen Sulfide Removal from Palm Oil Mill Biogas. **Energy Procedia**, [S.L.], v. 138, p. 564-568, out. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.160>

SAHOTA, S. et al. Characterization of leaf waste based biochar for cost effective hydrogen sulphide removal from biogas. **Bioresource Technology**, v. 250, p.635-641, 2018.

SILVA, Ê. G. da. **Potencial experimental de produção de biogás em equipamento de pequena escala com utilização de esterco bovino**. 2013. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2013.

SCOPUS, Banco de dados de resumos e citações <<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic>>.

SISANI, E. et al. Adsorptive removal of H<sub>2</sub>S in biogas conditions for high temperature fuel cell systems. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 39, n. 36, p.21753-21766, 2014.

TUINIER, M. J.; ANNALAND, M. van S. Biogas Purification Using Cryogenic Packed-Bed Technology. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 51, n. 15, p.5552-5558, 2012.

ZHANG, Y.; OSHITA, K.; KUSAKABE, T.; TAKAOKA, M.; KAWASAKI, Y.; MINAMI, D.; TANAKA, T.. Simultaneous removal of siloxanes and H<sub>2</sub>S from biogas using an aerobic biotrickling filter. **Journal Of Hazardous Materials**, [S.L.], v. 391, p. 01-11, 05 jun. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122187>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389420301758>>. Acesso em: 14 mar.2021.