



BIOGÁS: UMA REVISÃO SOBRE AS VANTAGENS DE SEU APROVEITAMENTO ENERGÉTICO

Igor de Oliveira Santos
Discente do Mestrado
de Ciências Ambientais -
Universidade do Estado de Minas
Gerais

Gustavo Henrique Gravatim
Costa - gustavo.costa@uemg.br
Docente da Universidade do
Estado de Minas Gerais

Osania Emerenciano Ferreira -
osania.ferreira@uemg.br
Docente da Universidade do
Estado de Minas Gerais

RESUMO

O biogás é uma mistura de diversos gases, obtido da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos, como a biomassa. A sua composição é predominantemente metano, mas também possui gases em menor quantidade como: oxigênio, amônia, ácido sulfídrico, nitrogênio, monóxido de carbono e aminas. Devido a grande quantidade de metano, o biogás apresenta grande potencial para produção de energia, sendo considerado uma fonte limpa, renovável, econômica e ambientalmente correta. Entretanto, apesar das vantagens, deve ser usado com cautela, pois tem capacidade de intensificar o efeito estufa, causando inúmeros efeitos negativos ao meio ambiente. Com a crescente preocupação com as questões ambientais, a biomassa começou a ganhar espaço em substituição aos combustíveis fósseis. Dentre as principais técnicas para transformação de biomassa em energia podemos destacar os reatores anaeróbicos, que realizam a digestão da matéria orgânica na ausência de oxigênio, dando origem ao biogás e ao digestado, com potencial para uso como biofertilizante. Apesar das vantagens que a técnica apresenta, ainda esbarra em algumas barreiras que dificultam a sua disseminação, sendo uma das maiores o petróleo, devido ao grande lucro oriundo de sua comercialização. Ainda assim, o Brasil apresenta grande potencial de utilização devido à grande concentração de população.

Palavras chave: biogás. biomassa. metano. biofertilizante. energia.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu financiamento externo

Contribuição dos autores: O trabalho foi desenvolvido pelo discente como proposta de avaliação da disciplina Bioenergia do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - UEMG.

Recebido: 31/05/2023 Aprovado: 12/07/2023



INTRODUÇÃO

O biogás trata-se de um conjunto de gases formado predominantemente pelo Metano (CH₄). Advindo de processos naturais ele é gerado através da degradação da matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio. Sendo uma fonte energética renovável, este pode ser considerado como um biocombustível.

Este recurso energético é composto prioritariamente por hidrocarboneto de Metano (CH₄) e Dióxido de Carbono (CO₂), além de outros compostos em menor quantidade, como oxigênio, amônia, ácido sulfídrico, nitrogênio, monóxido de carbono e aminas (Perreira; Flauzino; Santos, 2020).

Em muitos países o petróleo e as hidrelétricas ainda são as principais fontes de energia, entretanto estes são responsáveis por gerarem um grande impacto no meio ambiente. Segundo Goldner (2010) e Pizzeta (2010) o óleo derramado em decorrência de vazamentos causa impactos negativos incalculáveis a natureza. Além das hidrelétricas que para sua construção necessitam da realocação de populações, interferência no fluxo natural de cursos d'água, aliando assim problemas ambientais e sociais (Cavalcanti; Torquato; Dias, 2020).

Deste modo, a utilização do biogás tem sido progressivamente difundida ao longo das últimas décadas, principalmente em decorrência do aumento no valor do petróleo e a necessidade de formas de energia mais sustentáveis, o que levou diversos países a se voltarem para a oportunidade de utilizar o biogás como uma econômica fonte energética. Essa técnica se torna extremamente viável principalmente em regiões rurais, devido à grande disponibilidade de resíduos orgânicos.

A fim de reproduzir a formação do biogás para geração de energia, foram desenvolvidas estratégias de criação de ambientes artificiais com características semelhantes as naturais, os denominados biodigestores anaeróbios. Eles consistem basicamente em um ambiente de cunho favorável à reprodução de bactérias anaeróbias, podendo ser apresentados em diversos modelos, específicos para cada tipo de resíduo.

Além de se mostrar como uma solução para a questão energética, o biogás é também tratado como uma opção para a destinação de dejetos de origem animal em zonas rurais. Sendo um recurso também para um problema recorrente em aterros sanitários que é a destinação adequada dos gases gerados pela decomposição da matéria orgânica, de forma que além de sanar as adversidades ainda apresenta a vantagem da geração energética, em que dependendo das características apresentadas pode tornar um local autossustentável.

Sendo assim, tal recurso pode trazer benefícios tanto econômicos quanto ao meio ambiente e à sociedade. No âmbito econômico várias são as vantagens para o empresário ou produtor, sendo a principal delas a oportunidade de gerar energia elétrica ou térmica capaz de abastecer a propriedade. Vale ressaltar também a geração de créditos ao fornecer energia para rede. Economia em gastos com combustível já que na geração de biometano ele pode ser usado como combustível para veículos após o seu tratamento. Já para o país uma produção no agronegócio que cresce significa uma maior arrecadação para o caixa. Lembrando também que a geração de biocombustível tem um subproduto de valor econômico que é o biofertilizante, podendo ser comercializado.

Assim como na economia, o meio ambiente também recebe diversos benefícios, dentre eles a redução da contaminação dos solos, rios e lençóis freáticos, uma vez que esta contaminação deixa de existir ao se aproveitar os dejetos para a produção do biogás. Além de evitar o lançamento de gases do efeito estufa na atmosfera os quais provocam o aumento de temperatura do planeta.

Por último, mas não menos importante, os benefícios sociais ocorrem em decorrência da retirada de dejetos do meio



ambiente, os quais são responsáveis por causar doenças e odores desagradáveis, além da possibilidade de levar energia para locais ou comunidades que anteriormente não tinham acesso.

Entretanto, apesar das diversas vantagens, este é um recurso que deve ser utilizado com cautela, uma vez que o gás metano quando não controlado adequadamente contribui para o aumento do efeito estufa, prejudicando tanto o meio ambiente quando a saúde local da população, animais e vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho baseou-se no referencial da pesquisa bibliográfica, que consiste no exame da literatura científica para levantamento e análise do que já se produziu sobre determinado tema. Envolveu as atividades básicas de identificação, compilação, fichamento, análise e interpretação. O período da pesquisa foi de 2000 a 2022.

Foram feitas buscas nas plataformas Google Acadêmico e SciELO, usando as palavras chaves: biogás, biomassa, bioenergia, energia limpa, energia renovável, biometano, bioreatores anaerobicos, dentre outras pertinentes ao tema.

Inicialmente foi feita uma leitura flutuante das produções, para em seguida serem identificados os eixos temáticos e estabelecidos os núcleos de sentido, afim de discursar sobre as vantagens do aproveitamento energético do biogás.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A biomassa, durante muitos de anos foi a fonte de geração de energia mais utilizada por parte da humanidade, representando 85% do consumo mundial de energia em 1850 (Guerreiro et al., 2021). Entretanto, a partir do século XIX, tal forma de energia deu lugar a era da utilização dos combustíveis fósseis (Klass, 1998). Desta forma, a partir daí o carvão tomou o primeiro lugar como fonte energética na matriz mundial, até a chegada do petróleo, que ocorreu por volta da década de 1960. Porém nas últimas décadas, o gás natural começou a ocupar uma posição de destaque, de forma que sua utilização conseguiu alcançar a porcentagem do carvão, chegando a 25%. Foram cogitadas também outras formas de geração de energia para substituir os combustíveis fósseis, como a nuclear, entretanto, seu uso foi sendo descartado tanto por motivos econômicos, quanto por questões de segurança (SMIL, 2002).

Assim, em decorrência dos problemas apresentados pelo petróleo, tanto ambientais quanto econômicos, a biomassa voltou a ser tratada por muitos governantes como uma forma de geração de energia viável e a solução para a dependência da utilização do petróleo (Silva et al., 2021), o que só aumentou com a crescente preocupação com as questões ambientais, em que a utilização de combustíveis fósseis é a responsável por considerável parte das emissões de gases antrópicas, as quais são causadoras de um problema muito citado que é o efeito estufa (BORGES et al., 2016). Sendo assim, o interesse por fontes de energia renováveis só aumentou, surgindo diversas formas de transformação de biomassa em recurso energético, cada uma de acordo com as características físico-químicas de sua matéria prima (BARROS et al., 2022).

Sendo assim, o biogás trata de uma mistura gasosa proveniente da decomposição de matéria orgânica em condição de ausência de oxigênio. Sua composição é prioritariamente de metano e dióxido de carbono, possuindo também pequenas concentrações de ácido sulfídrico, amônia, hidrogênio, nitrogênio, monóxido de carbono, carboidratos saturados e oxigênio. Essa composição pode variar de acordo com o seu processo de produção (Matiello, 2017).

Dentre as principais tecnologias utilizadas para a geração energética a partir da biomassa, os biodigestores anaeróbios foram desenvolvidos com o objetivo de transformar efluentes e resíduos orgânicos em energia, com a vantagem de se prevenir em relação a poluição ambiental (Silva et al., 2020).



Sendo assim, os procedimentos de digestão anaeróbia vêm sendo usados em diversas áreas e vem se mostrando capazes de realizar o tratamento de resíduos sólidos e líquidos compostos principalmente por matéria orgânica, o que permite também a reciclagem de nutrientes. Além de serem aplicados com eficiência no tratamento de efluentes domésticos e industriais, estabilização de lodo proveniente de efluentes, manejo de aterros sanitários e também na reciclagem de resíduos agrícolas como fertilizantes orgânicos, vale ressaltar que a cada dia mais este processo vem sendo utilizado para auxiliar na degradação de poluentes orgânicos pesados como por exemplo os organoclorados ou materiais resistentes aos O funcionamento de um biodigestor está diretamente ligado às transformações bioquímicas e metabólicas do processo, dependendo o seu sucesso de condições adequadas de pH, temperatura, composição do substrato, concentração de sólidos, dentre outros fatores (Araújo, 2017). De acordo com Alcântara, Zang e Fonseca-Zang (2022) este processo já é muito conhecido e empregado na geração energética em outros países, podendo citar a Bolívia, Brasil, China, Etiópia, Índia e diversos países da União Europeia. Rocha (1983) complementa que alguns fatores podem reduzir a eficiência do biodigestor por meio da inibição da atividade microbiológica, sendo eles os inseticidas, antibióticos, desinfetantes, dentre outros.

O biodigestor tem como objetivo principal a geração de energia, entretanto com o processo ocorre a formação de um subproduto, o biofertilizante. Este, é obtido por meio da metabolização da matéria orgânica que ocorre no processo, podendo ser utilizado como fertilizante agrícola de ótima qualidade, uma vez que é rico em nutrientes. Essa qualidade se dá principalmente em decorrência da redução do teor de CO₂, que acarreta no aumento da concentração de Nitrogênio e outros nutrientes. Desta forma, estes nutrientes se tornam mais solúveis e assim, absorvidos pelo solo com mais facilidade (Silva, 2011).

Ademais, uma grande vantagem apresentada pelo biogás está relacionada com a capacidade de tratar resíduos orgânicos e ao mesmo tempo ser um recurso renovável, transformando assim um passivo ambiental em um ativo que apresenta valor econômico de mercado. Outro ponto relevante é a questão de que sua utilização pode aumentar a competição no setor do agronegócio, impulsionando assim formas de desenvolvimento mais sustentável, já que para a expansão é necessário garantir a solução de alguns problemas ambientais como a destinação correta dos resíduos (DALLACORTE, 2018). Entretanto, segundo DALLACORTE (2018), mesmo com todas as vantagens apresentadas, no Brasil esta forma de energia se mostra como apenas 0,05% da matriz energética. Dados do Cadastro Nacional do Biogás (2016), mostraram que em 2015 existiam apenas 127 unidades de produção de biogás no Brasil, apresentando uma produção aproximada de 1,6 milhão de m³ de biogás por dia, em que, das unidades operantes 47% da produção advinha de matéria prima da agro-pecuária e 34% de substratos industriais. Porém, para fins de geração de energia, 43% vêm de aterros sanitários, 29% da agropecuária e 22% são provenientes da indústria.

Já a Associação Brasileira de Biogás aponta que no Brasil o potencial de geração de energia para esse setor é de 70 milhões de m³ por dia, de forma que 50 milhões de m³/dia são do setor sucroenergético, 14 milhões de m³/dia do setor de alimentos e 6 milhões de m³/dia do setor de saneamento (CBIOGAS, 2016).

Desta forma o biogás apresenta um crescimento promissor no Brasil já que alia a geração de energia com uma grande necessidade do país que é o biofertilizante, um subproduto deste processo. O Brasil aumentou entre os anos de 2000 e 2015 o seu consumo de fertilizantes em 87%, de forma que atualmente cerca de 75% desta parcela são importados, ou seja, aliando estas duas questões o país pode deixar de importar para produzir todas as suas demandas nacionalmente (DALLACORTE, 2018).

Além da geração de energia, muito citada, vale ressaltar o uso do biogás como combustível para veículos. Mesmo que sua utilização ainda seja bastante limitada, diversos países têm mostrado interesse neste recurso, principalmente em função do grande potencial e também das vantagens ao meio ambiente, já que seu uso implica na redução de emissões de monóxido



de carbono e gás nitrogênio, responsáveis por grande porcentagem da poluição do ar mundial (Matiello, 2017). Segundo Persson et al. (2006), na Europa no final do ano de 2005 existiam somente 1600 locais de abastecimento de biogás, estava previsto para Alemanha 1000 estações, 10 para a Suíça e apenas 50 na Áustria. Mariani (2018) relatou em seu trabalho que essa é uma tendência do mercado europeu, com produção em 2016 chegando a 17 mil GWh, o que apresenta um grande aumento quando comparado a 2011 quando a produção era de 752 GWh. Segundo dados da EBA (2018), os países com maior destaque em quantidade produzida em 2017 são: Alemanha (900 GWh), França (133 GWh) e Suécia (78 GWh).

Porém, para a utilização de tal recurso é necessário que ele passe por processos de tratamento para que atenda a caracterização para cada tipo de aplicação, seja ela de geradores, caldeiras ou veículos, de forma que cada categoria requer especificações diferentes (Zanette, 2009). O tratamento é imprescindível também para padronizar a identificação do gás produzido, bem como evitar danos aos equipamentos e instalações, aumentar seu poder calorífico, maximizando os teores de biometano (Matiello, 2017). De maneira que para a maioria das aplicações é preciso que a qualidade do biogás seja melhorada, na maioria das vezes essa melhora significa a remoção de compostos como H₂S, H₂O e halogênios (Zanette, 2009).

Outro aspecto importante que vale a pena ser citado é a questão financeira, já que é um dos principais motivos que impulsionou a utilização do biogás como fonte energética considerando uma grande quantia é gasta em importação de petróleo dos países em desenvolvimento, representando segundo Scheer (1995) uma quantia maior do que a gasta pelos países desenvolvidos em ajudas humanitárias. Assim deve ser realizado um estudo de viabilidade econômica para cada tipo de situação a fim de analisar os prós e contras de sua implantação.

Apesar de apresentar uma taxa de retorno que vale a pena em muitos casos quando comparada a outras formas de geração de energia, isto pode não acontecer ao comparar algumas taxas de retorno dependendo da empresa envolvida. Principalmente em ramos de indústrias que tenham manejo com resíduos sólidos, e as que podem realizar aproveitamento com o biogás como por exemplo fábricas de papel e celulose ou relacionadas ao uso de açúcar e álcool. Vale mencionar também a taxa de retorno dos projetos, a competição pelo capital existente nos projetos de uso e recuperação deste recurso energético em comparação ao negócio principal de cada empresa em questão (IEA, 2009).

Segundo Zanette (2009), analisando o potencial de aproveitamento do biogás, é importante investigar também os mecanismos de incentivo existentes tanto em nível regional quanto global, a fim de estudar políticas que facilitem a inserção do biogás de forma efetiva na matriz energética. A nível global vale ressaltar os mecanismos definidos no Protocolo de Quioto, dentre eles o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, o qual obteve grande relevância principalmente para países ainda em desenvolvimento como é o caso do Brasil. Já em escala nacional é importante citar os 67 incentivos criados a geração e comercialização de energia proveniente de fontes alternativas e renováveis.

O Protocolo de Quioto criado em 1997 e retificado em 2005, foi um marco para o desenvolvimento sustentável, onde criou obrigações legais para 38 países acerca da redução da emissão de gases do efeito estufa como o dióxido de carbono, metano, dentre outros, através de três mecanismos. O primeiro é o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), que visa o uso de energia limpas para estimular o desenvolvimento sustentável e a redução das emissões ao mesmo tempo gera uma flexibilidade aos países industrializados no cumprimento de seus objetivos. O segundo é a implementação conjunta (IC), onde oferece soluções flexíveis e economicamente eficientes ao permitir que os países cumpram suas metas compensando as emissões com sumidouros e outras fontes. E por último, o comércio de emissões – (CE) que possibilita que os países que não cumpriram seus objetivos possam comprar daquelas que possuem unidades sobrando (Oliveira e Pontes, 2017). No Brasil, entretanto, apesar de existirem regulamentações favoráveis e incentivos a geração de energia por meio de fontes alternativas e renováveis o aproveitamento de energia do biogás ainda é muito pequeno. Dentre as regulamentações



podemos citar incentivos financeiros para a produção e comercialização de energia no Ambiente de Contratação Livre e também linhas de crédito com condições especiais para dar andamento em projetos de energia renováveis.

Já em outros países onde a geração de energia através do biogás é mais difundida podemos observar que na União Europeia por exemplo há metas mais bem definidas e políticas criadas especificamente para a questão da participação da energia renovável na matriz energética local. Enquanto que os Estados Unidos disponibiliza uma grande quantidade de informações aos empreendedores interessados em adotar essa medida, estimulando assim a participação (Zanette, 2009).

Vale lembrar também que um fator decisivo para a utilização deste tipo de energia nesses países é a existência de legislações ambientais mais restritivas, o que obriga as empresas a buscarem formas mais sustentáveis de disposição final de resíduos, bem como redução de emissões de gases de efeito estufa, possibilitando assim a expansão de fontes energéticas renováveis como o biogás.

Apesar das vantagens, existem algumas barreiras na recuperação e uso do metano como fonte energética, podendo ser citados cinco principais: (i) Financeira, pelas dificuldades em medir os benefícios financeiros e o baixo custo de muitos materiais virgens; (ii) Estrutural, devido às dificuldades de comunicação em toda a cadeia de abastecimento, e falta de clareza quanto às responsabilidades dos diferentes departamentos; (iii) Operacional, por causa da falta de capacidade operacional e infraestrutura necessárias para adotar a EC; (iv) Atitudinal, pois as pessoas têm uma compreensão superficial da EC e não percebem a sua importância; (v) Tecnológico, devido às dificuldades em integrar a EC ao design do produto e aos processos de produção ou falta de acesso à tecnologia apropriada, como falta de tecnologia para rastrear resíduos e emissões de produtos (Cortez, 2022).

Outra barreira segundo IEA (2009) são os impedimentos legais e regulatórios em relação a propriedade do metano, principalmente em aterros sanitários, estações de tratamento de efluentes e fazendas. Estando estes impedimentos relacionados aos órgãos públicos gestores do manejo de resíduos os quais predominantemente compõe administração direta, representando 82,3% da parcela total, o que acaba resultando na diminuição da autonomia e maior interferência nas questões relacionadas ao manejo de resíduos sólidos.

Logo, além de reduzir as emissões, em países ainda em desenvolvimento, o aumento da infraestrutura de manejo de efluentes é capaz de resultar em inúmeros benefícios para a mitigação dos gases de efeito estufa, além de melhorias em conservação de recursos hídricos, saúde pública, diminuição da descarga de efluentes lançados sem tratamento em corpos hídricos e solos (Burnley, 2001). Vale lembrar que a redução na emissão de gases de efeito estufa é um bônus às medidas e políticas de desenvolvimento que inicialmente visavam a melhoria da saúde pública e conservação do meio ambiente (AUSTRIAN FEDERAL GOVERNMENT, 2001).

CONCLUSÃO

O aumento da preocupação com as questões ambientais e a busca por um desenvolvimento sustentável no âmbito da disposição adequada de resíduos, emissão de gases relacionados ao efeito estufa, lançamento de efluentes, bem como questões econômicas e de segurança energética vêm contribuindo ao longo dos anos para o aumento do interesse por se utilizar formas de energia renováveis, os chamados biocombustíveis.

Entretanto, uma das dificuldades em se difundir a produção do biogás, é também um dos maiores inimigos do meio ambiente, o petróleo. Isso ocorre em decorrência do grande lucro apresentado com a comercialização deste recurso, o que nos dias atuais é mais alto do que de qualquer outra forma de energia renovável.



Dentre as diversas áreas de atuação deste processo, destacam-se o tratamento de efluentes industriais, domésticos, resíduos sólidos urbanos e também agropecuários, o que demonstra o grande campo de aplicação deste combustível, podendo ser utilizado em basicamente todos os ramos do gás natural, como a geração de energia e também como combustível para veículos, mediante tratamento específico para cada tipo de atuação.

O Brasil pode ser considerado um dos países com grande potencial de aplicação deste processo uma vez que, devido à grande concentração da população nos centros urbanos, facilita para a utilização do recurso em aterros sanitários e também em estações de tratamento de esgotos, podendo também ser altamente difundido nas zonas rurais onde é capaz de sanar a questão da disposição dos rejeitos com a vantagem da geração energética.

Além de ser viável para geração de energia os estudos indicam a grande competição do biogás com os tradicionais combustíveis utilizados atualmente na indústria, dentre eles o óleo combustível e o gás natural, reforçando assim a necessidade de se avaliar qual a melhor opção com cautela. Além do uso como combustível para veículos que apesar de necessitar de certo tratamento têm se mostrado uma alternativa bastante vantajosa.

Entretanto, no Brasil apesar dos diversos mecanismos de incentivo que favorecem a utilização biogás como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo e as linhas de crédito apresentadas, várias ainda são as barreiras que impedem a consolidação do biogás na matriz energética do país, principalmente devido à falta de coordenação dos órgãos responsáveis pela coleta e tratamento dos resíduos.

Um facilitador que se mostrou eficiente em outros países e pode ser aplicado no Brasil gerando inúmeras vantagens tanto no âmbito ambiental quanto social é o aumento da restrição das legislações e regulamentações ambientais favorecendo assim a implantação de recursos energéticos alternativos no país. Outra opção é o estímulo por parte do governo à entrada. Finalmente, é importante ressaltar que a utilização do biogás como forma de geração de energia pode apresentar diversas vantagens a quem o aplica, entretanto deve ser estudado com cautela a fim de projetar o sistema ideal e também analisar o tempo de retorno que este investimento deve apresentar para cada situação. Pesando o lado econômico mas principalmente o ônus de se tratar de um meio mais sustentável, trazendo benefícios econômicos a quem o utiliza mas também sendo benéfico ao meio ambiente e ao ser humano.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, L. P.; ZANG, J. W.; FONSECA-ZANG, W. A. A viabilidade econômica de modelos de biodigestores para a produção de biogás. *Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia*, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1-50, 2022.

ARAÚJO, A. P. C. Produção de Biogás a Partir de Resíduos Orgânicos Utilizando Biodigestor Anaeróbico. 2017. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

AUSTRIAN FEDERAL GOVERNMENT. Third National Climate Report of the Austrian Federal Government. Viena, Áustria. 2001

BARROS, T. V.; LOPEZ, G. de S.; SANTOS, R. J. dos; PARIZI, M. P. S.; CARDOZO-FILHO, L.; FERREIRAPINTO, L. Gasification biomass in supercritical water as hydrogen production technology. *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 11, n. 9, 2022.



BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. Energias Renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA, Fortaleza, v. 10, n. 2, 2017.

BURNLEY, S. The impact of the European landfill directive on waste management in the United Kingdom. Resources, Conservation and Recycling, v. 32, p. 349-358, 2001.

CAVALCANTI, E.; TORQUATO, C. C.; DIAS, K. W. As Hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau: Dano Socioambiental e Seus Reflexos Sobre o Reassentamento Nova Mutum Paraná. Rejur - Revista Jurídica da Ufersa, Mossoró, v. 4, n. 7, p. 173-192, 2020.

CIBIOGÁS. Relatório do grupo ad hoc de biocombustíveis do mercosul (GAHB). 2016

CORTEZ, S. C. O uso de biodigestores no contexto da economia circular: uma análise de Barreiras e facilitadores. 2022. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2022.

DALLACORTE, F. C. Biogás pode ser fator de diferenciação e competitividade. SEBRAE, 2018. Disponível em: <<https://sebraers.com.br/energia/biogas-pode-ser-fator-de-diferenciacao-e-competitividade/>>. Acesso em Maio de 2019.

GUERREIRO, R. P.; LIMA, A. F. L.; COSTA, A. V. B.; CUNHA, D. S.; SILVA, Y. L. P. Análise de matriz multicritérios para escolha de sistema energético sustentável para embarcações regionais. Revista Valore, Volta Redonda, v. 1, n. 7, p. 1-15, 2021.

IEA BIOENERGY. Bioenergy – A sustainable and reliable energy source. IEA Bioenergy. 2009.

IEA. Energy Sector Methane Recovery and Use – The Importance of Policy. 44 pp. Paris, IEA. 2009.

KLASS, D. L. Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals. San Diego, Academic Press. 1998.

MARIANI, L. Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil. 2018. 144 f. Tese (Doutorado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

MATIELLO, S. Avaliação da Eficiência de Um Filtro de Adsorção Com Carvão Ativado na Purificação de Biogás Proveniente da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos. 2017. 75 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2017.

METCALF & EDDY INC. Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse. 4. ed. New York: McGraw - Hill Book, 2003. 1815 p. MORAES, S. Biomassa e tecnologias de adensamento para aplicação energética. Revista IPT, São Paulo, v. 5, n. 16, p. 1-32. 2016.

OLIVEIRS, D. B. O.; PONTES, P. H. Emissão de GEE e Crescimento Econômico: Uma Avaliação Para os Países Signatários do Protocolo de Quioto. In: Asociación Latinoamericana de Sociología, 31., 2017, Montevideo. Anais [...]. Montevideo, 2017.

PEREIRA, A. C. O.; FLAUZINO, B. K.; SANTOS, A. H. M.; CARDOSO JÚNIOR, R. C.; RIBEIRO, E. M.; TIAGO FILHO, G.



L. Efeito da granulometria do resíduo sólido urbano na composição do biogás proveniente de biorreatores anaeróbicos. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.11, n.2, p.350-359, 2020.

PERSSON, M.; JÖNSSON, O.; WELLINGER, A. Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection. IEA Bioenergy, Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas. 2006.

SCREER, H. O manifesto solar energia renovável e a renovação da sociedade. Rio de Janeiro : CRESESB, 1995.

SILVA, D. J. A. Biogás – uma energia limpa. *Revista Eletrônica Novo Enfoque*, v. 13, n. 13, p. 142-149, 2011.

SILVA, J. A. R.; TERRA, A.B.; ASSIS, C.; FLORENTINO, L. A. Tratamento de dejetos no Brasil: comparativo entre as técnicas de compostagem e biodigestores anaeróbios. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, Maringá, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 797-817, 2020.

SMIL, V. Energy Resources and Uses: A Global Primer for the Twenty-First Century. *Current History*, v. 101, n. 653, pp. 126-132. 2002.

ZANETTE, A. L. Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.