BIODIGESTORES COMPACTOS E AUTÔNOMOS COMO ALTERNATIVA DE CONTROLE AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA MITIGAÇÃO DE GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE) NO BRASIL

João Vitor de Araújo Silva[(1)] (Joaovitorsilvaz@alu.ufc.br), Maxmüller Marques Fernandes[(2)] (maxmuller75@gmail.com), Enio Giuliano Girão[(3)] (enio.girao@embrapa.br)

[(1)]Universidade Federal do Ceará (UFC); Departamento de Engenharia Mecânica
[(2)]Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf)
[(3)]Embrapa Agroindústria Tropical

RESUMO: *Os biodigestores transformam resíduos orgânicos úmidos, esterco animal e esgotos domésticos em gás para cozinhar (biogás) e fertilizante líquido (biofertilizante), provendo energia renovável aos seus usuários, sem gerar passivos ambientais típicos das fontes de energia convencionais, como a queima de biomassa. Com isso, nos últimos anos tem-se aplicado o estudo e desenvolvimento desses equipamentos como resposta aos desafios relacionados à busca de tecnologias mais adequadas para minimizar os impactos ambientais intensificados pelas emissões de carbono. Dessa forma, este trabalho visa sintetizar o potencial de redução de emissões de carbono com a aplicação de biodigestores para o cenário brasileiro, além de um estudo de caso para os biodigestores Homebiogas (HB) para pequenas comunidades rurais.Diante desses dados, esse trabalho também demonstrou como a utilização de biodigestores do modelo Homebiogas apresenta um potencial para evitar a compra mensal de 1.620 botijões de 13 kg de GLP, representando uma economia de mais de R$ 323 mil/mês, além de um potencial para mitigação de 6,138 $MCO^2eq.ano^{-1}$ de GEE apenas a nível nacional, demonstrando por consequência a importância e participação desses equipamentos como ferramentas de controle ambiental.*

PALAVRAS-CHAVE: *BIODIGESTORES, ENERGIA, CONTROLE AMBIENTAL.*

COMPACT AND AUTONOMOUS BIODIGESTERS AS AN ALTERNATIVE FOR ENVIRONMENTAL CONTROL AND ENERGY EFFICIENCY FOR GREENHOUSE GAS (GHG) MITIGATION IN BRAZIL

ABSTRACT: *Biodigesters transform organic wet waste, animal manure, and domestic sewage into gas for cooking (biogas) and liquid fertilizer (biofertilizer), providing renewable energy to their users without generating the typical environmental liabilities of conventional energy sources, such as biomass burning. Consequently, in recent years, the study and development of these devices have been applied in response to the challenges related to seeking more suitable technologies to minimize the environmental impacts intensified by carbon emissions. This work aims to synthesize the potential for carbon emission reduction with the application of biodigesters in the Brazilian scenario, along with a case study for the Homebiogas (HB) biodigesters in small rural communities.Based on this data, this study also demonstrated how the use of Homebiogas model biodigesters has the potential to avoid the monthly purchase of 1,620 13 kg LPG cylinders, representing savings of over R$ 323,000 per month, in addition to the potential for mitigating 6,138 $MCO^2eq.$ year-1 of greenhouse gas emissions at the national level. Consequently, this showcases the importance and role of these devices as environmental control tools.*

KEYWORDS: *BIODIGESTERS, ENERGY, ENVIRONMENTAL CONTROL.*

1. INTRODUÇÃO

O tema das mudanças climáticas e do aquecimento global emergiu na década de 1980 como uma preocupação global, impulsionado por estudos científicos que indicaram um aumento na concentração de dióxido de carbono na atmosfera, associado a um aumento na temperatura média da Terra. Reconhecendo a importância de fornecer informações científicas confiáveis e atualizadas para os formuladores de políticas, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estabeleceram o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima em 1988.

O papel do IPCC é avaliar de forma abrangente, objetiva, transparente e aberta às informações científicas, técnicas e socioeconômicas relevantes para compreender os riscos das mudanças climáticas causadas pelo homem, seus impactos potenciais e as opções para adaptação e mitigação (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC).

Desde 1990, o IPCC tem divulgado periodicamente os resultados de seu trabalho, sendo que o Quarto Relatório de Avaliação (IPCC, 2007) confirmou de forma sistemática o aquecimento global com base em observações do aumento na temperatura média global da atmosfera e dos oceanos. O relatório também conclui que o aumento observado nas concentrações de gases de efeito estufa resultantes de atividades humanas é responsável pelo aumento da temperatura média global no século XX.

Esse efeito de mudanças climáticas intensificadas pela ação antrópica também são previstos para causar impactos significativos na saúde dos seres humanos. Portanto ,com base nesse relatório, foi considerado que um aumento de temperatura de 2ºC corresponderia ao limite para alterações climáticas ainda suportáveis ou adaptáveis, exigindo que a concentração de dióxido de carbono na atmosfera permaneça em torno de 450 ppm.

Tendo em vista essa problemática e os crescentes avanços em termos de poluição e impacto ambiental, em 2015 foi estabelecido o Acordo de Paris como um esforço global para fortalecer o compromisso internacional com a preservação do clima, substituindo o Protocolo de Kyoto, que era o modelo de acordo vigente até então.

O Acordo de Paris representa um compromisso juridicamente vinculativo e universal em relação ao clima, com o objetivo de limitar o aquecimento global a menos de 2°C até o ano de 2100. Como parte deste acordo, cada país signatário apresentou sua Contribuição Nacionalmente Determinada para cumprir as metas estabelecidas de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE).

Para o contexto brasileiro, essa proposta de acordo teve como foco a redução das emissões de GEE em 37% em relação aos níveis de 2005, até o ano de 2025, e também estabeleceu uma meta subsequente de redução de 43% abaixo dos níveis de emissão de 2005, até 2030.

No entanto, mesmo com os recentes avanços do Brasil, se comparados aos demais países desenvolvidos e emergentes no que tange à utilização de uma matriz energética limpa e renovável, ainda assim existem desafios significativos relacionados à pecuária, que é o principal emissor direto de gases de efeito estufa (GEE), devido à atividade em si e aos efeitos indiretos de desmatamento (CARVALHO *ET AL*), como indicado na Figura 1.

FIGURA 1. Emissões brutas por setores, participação e evolução no período 2005 - 2020.

Setores	2005		2020		Variação (2005-2020)
	$MtCO_2e$	Participação	$MtCO_2e$	Participação	
Energia	317,7	12%	413,7	19%	30%
Processos industriais	80,5	3%	99,1	5%	23%
Agropecuária	536,1	20%	598,7	28%	12%
Mudança no uso da terra	1.615,7	62%	968,1	44%	-40%
Tratamento de resíduos	70,1	3%	96,1	4%	37%
Total	2.620,1	100%	2.175,7	100%	-17%

Fonte: Carvalho *et al.* (2022).

Os altíssimos valores de emissão por parte do setor da pecuária são atribuídos ao processo de fermentação entérica dos ruminantes, que equivale a uma das maiores fontes de emissão de CH4, o equivalente a cerca de 56,4% de participação na geração para o ano de 2010. Sobre esse valor, tem-se que a fermentação entérica do gado de corte seguida da fermentação entérica do gado de leite correspondem às principais fontes de emissão deste tipo de gás, com cerca de 75% e 12% respectivamente, sendo estas produzidas naturalmente através sistema digestivo dos animais, bem como pelo manejo dos seus dejetos (CARVALHO *ET AL. 2022)*.

Outro importante aspecto da emissão de gases de efeito estufa que afeta o mundo como um todo, corresponde ao desperdícios de alimentos. Onde ,segundo o Relatório do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), cerca de 17% (931 milhões de toneladas) de alimentos são desperdiçados em escala global. Esse desperdício de alimentos corresponde a até 10% de todas as emissões de gases de efeito estufa (GEE) produzidas pelos humanos, o que demanda das instituições públicas ações rápidas e eficazes (UNEP, 2021).

Se for associado o desperdício de alimentos às emissões de GEE pelos países, ele representaria o terceiro maior emissor global depois de China e Estados Unidos. Ademais, 38% dos recursos energéticos consumidos pelo sistema alimentar global são utilizados para produzir alimentos desperdiçados. Isso se dá não apenas por ineficiências e limitações nos sistemas de produção e fornecimento de alimentos, mas também durante o consumo (ONUBR, 2019).

Diante desse cenário, nos últimos anos tem-se aplicado o estudo e desenvolvimento de biodigestores como resposta aos desafios relacionados à busca de tecnologias mais adequadas para minimizar os impactos ambientais e esse cenário de emissões descrito.

Dessa forma, este trabalho visa sintetizar o potencial de redução de emissões de carbono com a aplicação de biodigestores para o cenário brasileiro, além de um estudo de caso para os biodigestores Homebiogas (HB) para pequenas comunidades rurais. Onde esse produto ,através do processo de biodigestão, transforma: resíduos orgânicos úmidos, esterco animal e esgoto doméstico em gás para cozinhar (biogás) e fertilizante líquido (biofertilizante). Provendo energia renovável aos seus usuários, sem gerar passivos ambientais típicos das fontes de energia convencionais, como a queima de biomassa, ao mesmo tempo que proporciona de forma simples a realização de diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaboração deste estudo, primeiramente foram realizados levantamentos em bibliotecas virtuais, para amparo científico relativo ao tema. Foi buscado também informações em livros, artigos técnicos e científicos, monografias, dissertações e teses em plataformas nacionais e internacionais, como *Scielo* e Periódico Capes, assim como em revistas especializadas sobre dados quantitativos referentes ao potencial de redução de impactos ambientais dos biodigestores para realidade brasileira.

Foi encontrado um estudo que quantifica o potencial de redução de emissões de gases de efeito estufa levando em conta o cenário brasileiro de produção de resíduos orgânicos e quantidade de biodigestores. Além disso, foi também elaborado pesquisas referentes ao potencial de produção de biogás também para o cenário nacional a fim de demonstrar como a utilização desse tipo de equipamento pode ser aplicável como ferramenta tanto de controle ambiental como de eficiência energética. Além desse levantamento geral sobre o impacto dos biodigestores, foi realizado também um estudo de caso focado na utilização do modelo de biodigestor Homebiogas (Figura 2).

Esse modelo corresponde a um equipamento israelense reconhecido pelo Programa Horizon 2020 da União Europeia (Selo *Conformité Européenne* - CE) e possui aprovação de segurança do Ministério da Infraestrutura de Energia de Israel, autorização de rigorosa auditoria de segurança *Hazard Identification Study* (HAZID), e qualificações ISO 9.001 (Gestão de Qualidade) e ISO 14.000 de Gestão Ambiental, segundo dados da própria empresa fabricante Biomovement, Homebiogas.

FIGURA 2. Modelo Homebiogas.



Fonte: BIOMOVEMENT (2022).

Por meio das informações técnicas fornecidas pelo próprio fabricante, tem-se que atualmente existem dois modelos comercializados, onde estima-se que em torno de 1.200 equipamentos são comercializados pela Biomovement no Brasil, correspondendo a cerca de 50% de cada modelo, que no caso corresponde a:

Homebiogas 2.0: É capaz de tratar 4 $kg.dia^{-1}$ de resíduos orgânicos ou 18 $kg.dia^{-1}$ de esterco animal, armazenando até 700 litros de biogás, proporcionando até 3 horas diárias de biogás, equivalentes a 0,7 botijão de $GLP.mês^{-1}$;

Homebiogas 7.0: É capaz de tratar 10 $kg.dia^{-1}$ de resíduos orgânicos ou 60 $kg.dia^{-1}$ de esterco animal, armazenando até 2.500 litros de biogás, proporcionando até 7 horas diárias de biogás, equivalentes a 3 botijões de $GLP.mês^{-1}$ (BIOMOVEMENT, 2022).

Para o cálculo de produção e rendimento do Homebiogas, foram considerados os indicadores da Tabela 1.

TABELA 1. Indicadores de produção e rendimento de biogás e biofertilizante

Indicador	Índice	Unidade	Referência
Número de dias de alimentação do biodigestor	200	dias	AUTOR
Percentual de matéria seca nos restos de alimentos	14	%MS	TACO (2020)
Equivalência de metano por GLP	0,66	$m^3.kg^{-1}$	INSITUTO 17, 2022
Rendimento mínimo mensal do HB 2.0	0,70	botijão por 2 h de cozimento	HOMEBIOGAS,2022
Rendimento mínimo mensal do HB 7.0	2	botijão por 5 h de cozimento	HOMEBIOGAS,2022
Preço médio nacional do botijão P13 ao consumidor	120,00	R$	ANP, 2023
Preço mínimo do biofertilizante	10,00	$R\$.L^{-1}$	Preço de mercado

Fonte: Autor (2023).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse trabalho se dispõe a realizar um estudo de caso focando a utilização de um modelo comercial de biodigestor: o homem biogás. Esse estudo de caso, visa gerar mais dados e colaborar para estudos sobre o potencial desses equipamentos, objetivando demonstrar sua aplicabilidade e rendimento.

Dessa forma, considerando que são gerados dois subprodutos com a biodigestão (biogás e fertilizante natural líquido), apresenta-se aqui os resultados do impacto da adoção do Homebiogas para tratamento dos resíduos orgânicos em pequenos e médios geradores, no qual os resultados dos cálculos estão sistematizados nas Tabelas 2 e 3 a seguir:

TABELA 2. Indicadores técnicos e financeiros de Biogás.

Modelo	Qte HB	Resíduos orgânicos ($kg.dia^{-1}$)	Resíduos orgânicos ($t.ano^{-1}$)	Biogás (m^3/ano)	Emissão evitada ($tCO^2eq.ano^{-1}$)	Rendimento (botijão de $GLP.mês^{-1}$)	Economia ($R\$.mês^{-1}$)
HB 2.0	1	4	0,8	64,29	5,115	0,7	84,00
HB 7.0	1	10	2	160,72	5,115	2	240,00
HB 2.0	600	2.400	480	38,57	3.069,000	420	35.280,00
HB 7.0	600	6.000	1200	96,43	3.069,000	1.200	288.000,00

Fonte: Autor (2023).

TABELA 3. Indicadores técnicos e financeiros de Biofertilizantes.

Modelo	Qte HB	Biofertilizante ($L.dia^{-1}$)	Biofertilizante ($L.mês^{-1}$)	Biofertilizante ($L.ano^{-1}$)	Economia ($R\$.mês^{-1}$)
HB 2.0	1	4	80	800	8.000,00
HB 7.0	1	10	200	2.000	20.000,00
HB 2.0	600	2400	48.000	480.000	4.800.000,00
HB 7.0	600	6000	120.000	1.200.000	12.000.000,00

Fonte: Autor (2023).

Como resultado das tabelas acima , tem-se que os 20 mil biodigestores HB espalhados pelo mundo foram responsáveis por reciclar 7,7 mil toneladas de resíduos de alimentos, mitigando a emissão de cerca de 102.300 tCO_2eq, um potencial para mitigação de 6,138 $MCO^2eq.ano^{-1}$ de GEE. Além de uma conservação em torno de 626 milhões de litros de água. Tais resultados demonstram a aplicabilidade desse produto como ferramenta de controle ambiental e impulsiona o cenário de utilização dos modelos Homebiogas para suprir não somente a questão do aproveitamento de resíduos de alimentos mas também para matéria orgânica, em especial do setor da bovinocultura.

Em relação a esse último, tem-se que esse setor é responsável pela emissão de cerca de 17 milhões de $tCO^2eq.ano^{-1}$, podendo chegar até mesmo a valores na faixa de 39 milhões $tCO^2eq.ano^{-1}$, caso sejam consideradas também as emissões provenientes do processo de fermentação entérica apenas levando em conta o rebanho da região Sudeste (GARCIA *ET AL.* 2016).

Tomando como base essa realidade, projeta-se que a utilização de biodigestores convencionais para tratamento dos dejetos pode resultar na diminuição referente aos valores absolutos de emissões de GEEs para esse setor, representando em uma redução geral de cerca 15.347.045,33 $tCO^2eq.ano^{-1}$ correspondendo a aproximadamente 40% de redução em comparação à emissão total estimada que considera também a fermentação entérica (GARCIA *ET AL.* 2016)**.**

Os dados obtidos não levam em conta a utilização dos modelos Homebiogas, que atualmente representam menos de 1% da redução de emissão gerada se comparados com a projeção. Todavia, ainda assim, tais equipamentos por serem de fácil instalação, compactos e com menores custos de manutenção se enquadram como uma das melhores possibilidades de garantir que essa redução de GEEs ocorram no menor espaço de tempo possível.

Para além deste papel de mitigação das emissões de GEEs e reduzir por consequência o impacto ambiental a médio e curto prazos, é importante ressaltar que o processo de funcionamento dos biodigestores propicia a produção de energia por meio da formação de um gás combustível denominado biogás, proveniente da fermentação resultante da degradação da matéria orgânica.

Como ferramenta de eficiência energética, tem-se que o CH4 ,que é o composto participante da composição do biogás, pode apresentar valores energéticos de poder calorífico em torno de 12.000 kcal por m3. Além disso, se comparado ao potencial energético de um gás natural, tem-se que o biogás pode chegar a 72% do poder calorífico desse primeiro, correspondendo assim a uma fonte energética satisfatória (TIAGO FILHO *ET AL.* 2007).

Com base nisso tem-se que os 1.200 biodigestores Homebiogas instalados no país têm potencial para evitar a compra mensal de 1.620 botijões de 13 kg de GLP, representando uma economia de mais de R$323 mil/mês. Tendo uma importância desse tipo de fonte energética pela facilidade e baixo custo do seu processo de produção, tornando-se uma ferramenta de segurança energética e ambiental, visto que no processo de produção é eliminado todo o gás carbônico da mistura, produzindo energia barata que pode ser utilizada para suprir a demanda de energia elétrica (BARRERA, 2003).

Além disso, assim como para o cenário de redução de GEEs, o Homebiogas também se apresenta como uma importante ferramenta de contribuir para o alcance de projeções energéticas. Onde, segundo estudos por parte da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), indica que o Brasil apresenta potencial energético de mais de 280 MW somente com a geração de energia com a redução de emissão de carbono, esse valor potencial é suficiente para suprir a demanda energética de uma população de cerca de 1,5 milhão de pessoas.

Além disso, se levar em conta a aplicação do Homebiogas também para o contingente de suínos, esse pode auxiliar a alcançar a estimativa esperada de produção energética, que no caso estima-se uma produção de cerca de 4 milhões de m3 por dia de biogás. Sendo esse valor equivalente a cerca de 2 milhões de kwh de energia elétrica por dia, atendendo a demanda elétrica em torno de 350 mil residências. (MILANEZ *ET AL.* 2021).

Dessa forma, os números evidenciam o potencial do Homebiogas como instrumento de compensação ambiental pelo sequestro de carbono e eficiência energética pelo aproveitamento dos resíduos como biogás. No mais também abre-se oportunidade para o uso do biofertilizante natural, rico em macro e micronutrientes, capaz de atuar na melhoria da qualidade das plantas cultivadas nas hortas e jardins.

4. CONCLUSÃO

Os biodigestores são uma importante alternativa energética de sustentabilidade, pois permitem a diminuição dos impactos ambientais causados pelo descarte incorreto de resíduos e efluentes e ainda trazem benefícios econômicos e sociais para os usuários. Como demonstrado com estudos fornecidos pela literatura e elaboração dos próprios autores, tais equipamentos teriam a capacidade de reduzir cerca de 15.347.045,33tCO2 eq/ano, o que corresponde a aproximadamente 40% de redução em comparação à emissão total estimada.

Além disso, para além deste papel de mitigação das emissões de GEEs e reduzir por consequência o impacto ambiental a médio e curto prazo, é importante ressaltar também que o processo de funcionamento dos biodigestores propicia a utilização desses como uma ferramenta de eficiência energética, na medida que se tem como produto o biogás.

Diante desses dados, esse trabalho também demonstrou como a utilização de biodigestores do modelo Homebiogas apresenta um potencial para evitar a compra mensal de 1.620 botijões de 13 kg de GLP, representando uma economia de mais de R$ 323 mil/mês, além de um potencial para mitigação de 6,138 $MCO^2eq.ano^{-1}$ de GEE apenas a nível nacional, demonstrando por consequência a importância e participação desses equipamentos como ferramentas de controle ambiental.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis por este trabalho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). Superintendência de Defesa da Concorrência. Evolução dos preços de GLP (R$/botijão de 13 kg). Brasília-DF: ANP, 2022. 8 p. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrencia/precos/precos-ao-consumidor-consolidados-glp. Acesso em: 14 ago. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO BIOGÁS. Potencial de produção de biogás a partir do tratamento do esgoto: perspectivas para a universalização sustentável dos serviços de esgotamento sanitário no Brasil. São Paulo: ABES, ABiogás, CIBiogás, GEF Biogás Brasil, INCT ETEs Sustentáveis, Instituto 17/Programa de Energia para o Brasil (BEP), Sabesp e Sanepar.: 2021. 33 p. Disponívelem:https://i17.org/documents/BEP-Nota-Tecnica-Potencial-de-Producao-Biogas-Esgoto.pdf. Acesso em: 14 ago. 2023.

BARRERA, P. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. 2. Ed. São Paulo: Ícone, p.106, 2003.

BIOMOVEMENT. Homebiogas. 2020. Disponível em: https://homebiogas.com.br/. Acesso em: 25 nov. 2020. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. SNIS, 2022. Disponível em: http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento. Acesso em: 31 jul. 2022.

CARVALHO, Micaele Martins de; MAGALHÃES, Aline Souza; DOMINGUES, Edson P. Mecanismos de precificação de carbono no Brasil : custos econômicos e potenciais de abatimento. In: Prêmio BNDES pelo Clima. Rio de Janeiro : Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2022. p. [118]-181.

Garcia Junior, L. C., Pires, M. V., & da Cunha, D. A. (2016). BIODIGESTORES PARA A MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA PELA BOVINOCULTURA NA REGIÃO SUDESTE, BRASIL. Revista De Economia E Agronegócio, 14(1,2,3). https://doi.org/10.25070/rea.v14i1,2,3.355

GIRÃO, E. G.; OLIVEIRA, R. P. C. A.; OLIANI, R. F.; FERREIRA, A. A. Tratamento de resíduos em comunidades rurais: aplicação do biodigestor Homebiogas como fonte de energia renovável. In: Anais... Seminário Internacional de Convivência com o Semiárido, 7, Instituto Xingó, Piranhas, 2020. Disponível em: https://xingo.com.br/wp-content/uploads/2020/11/Banner-Enio.pptx.pdf. Acesso em: 13 abr. 2023.

HOMEBIOGAS. Homebiogas Impact & ESG Report 2021. Israel: Homebiogas, 2022. 80 p. Disponível em: https://www.homebiogas.com/investors/. Acesso em: 14 abr. 2023.

HOMEBIOGAS. ***The Homebiogas story.*** **Homebiogas**, 2020. Disponível em: https://www.homebiogas.com/Our_Story. Acesso em: 14 abr. 2023..

Intergovernmental panel on climate change (IPCC)."Climate Change 2022: Impacts, Adaptation andVulnerability". Acesso em 13 de junho2023.https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_FullReport.pdf.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: The Physical Science Basis – Summary for Policymakers. Cambridge Press, 2007.

INSTITUTO 17. DIACONIA. Biodigestor Sertanejo: Tecnologia social para o fortalecimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Relatório técnico 05-2022. São Paulo: Instituto 17, Diaconia, 2022. 37 p. Disponível em: https://i17.eco.br/parceria-i17-e-diaconia/. Acesso em: 14 abr. 2023.

MILANEZ, Artur Yabe; MAIA, Guilherme Baptista da Silva; GUIMARÃES, Diego Duque. Biogás: evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil = Biogas: recent evolution and potencial of a new frontier for renewable energy in Brazil. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v. 27, n. 53, p. [177]-213, mar. 2021.

ONUBR. FAO: reduzir desperdício de alimentos contribui para o combate às mudanças climáticas.ONUBR,22ago.2019.Disponívelem:https://brasil.un.org/pt-br/84015-fao-reduzir-desperdicio-de-alimentos-contribui-para-combate-mudancas-climaticas. Acesso em: 14 abr. 2023.

PLANET BIOGÁS BRASIL. Calculadora de biogás. Planet, 2022. Disponível em: https://planet-biogas.com/br/calculadora-de-biogas/#. Acesso em: 14 abr. 2023.

SILVA, Carlos Emílio Vieira da. Sustentabilidade: avaliação da produção de biogás em um biodigestor de pequena escala. 2021. Dissertação (Mestrado). Curso de Ambiente e Desenvolvimento, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2021. 72 f. Disponível em: http://hdl.handle.net/10737/2963. Acesso em: 14 abr. 2023.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TACO). Versão 7.1. São Paulo: Universidade de São Paulo (USP). Food Research Center (FoRC), 2020. Disponível em: http://www.fcf.usp.br/tbca. Acesso em: 15 abr. 2023.

TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio; SALOMON, Karina Ribeiro. Série Energias Renováveis: BIOMASSA. 1ª edição. 36 p. Itajubá, 2007.

TRATA BRASIL. Painel Saneamento Brasil. Instituto Trata Brasil, 2022. Disponível em: https://www.painelsaneamento.org.br/. Acesso em: 14 abr. 2023.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. Food Waste Index Report 2021. Nairobi: UNEP,2021.100p.Disponívelem:https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35280/FoodWaste.pdf. Acesso em: 14 abr. 2023.