



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
INTERDISCIPLINAR EM ENERGIA E
SUSTENTABILIDADE**

**ANÁLISE DE ASPECTOS POLÍTICOS E REGULATÓRIOS DO BIOGÁS NO
BRASIL E SEU CRESCIMENTO COM O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

JESSICA YUKI DE LIMA MITO

Foz do Iguaçu-PR
2022

JESSICA YUKI DE LIMA MITO

**ANÁLISE DE ASPECTOS POLÍTICOS E REGULATÓRIOS DO BIOGÁS NO
BRASIL E SEU CRESCIMENTO COM O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO
DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Dissertação apresentada ao Programa De Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia E Sustentabilidade da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Energia e Sustentabilidade, sob orientação da Prof.^a Dra. Janine Padilha Botton e coorientação da Prof.^a Dra. Andréia Cristina Furtado.

Foz do Iguaçu - PR
2022

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - PTI

M684

Mito, Jessica Yuki de Lima.

Análise de aspectos políticos e regulatórios do biogás no Brasil e seu crescimento com o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos / Jessica Yuki de Lima Mito. - Foz do Iguaçu - PR, 2022.

75 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território. Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade. Foz do Iguaçu-PR, 2022.

Orientador: Janine Padilha Botton.

Coorientador: Andréia Cristina Furtado.

1. Aproveitamento Energético de Resíduos. 2. Políticas públicas. 3. Energia renovável. 4. Regulamentação. 5. Diversificação da Matriz Energética. I. Botton, Janine Padilha. II. Furtado, Andréia Cristina. III. Título.

CDU 620.925

ATA DE DEFESA DE MESTRADO

Aos vinte e sete dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e dois realizou-se, a apresentação pública de defesa do Mestrado, de autoria de JESSICA YUKI DE LIMA MITO, intitulado ANÁLISE DE ASPECTOS POLÍTICOS E REGULATÓRIOS DO BIOGÁS NO BRASIL E SEU CRESCIMENTO COM O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.

Os trabalhos foram iniciados às 9h00min, link da videochamada: <https://meet.google.com/tvg-owcr-mex>, pela docente orientadora Profa. Dra. Janine Padilha Botton presidente da banca examinadora, e pelos demais integrantes, Profa. Dra. Andréia Cristina Furtado (orientadora), e os membros externos, Prof Dr. Exzolvildres Queiroz Neto e Prof. Dr. Gilson Batista de Oliveira, e o membro interno Prof. Dr. Jorge Gimenez Ledesma.

A Banca Examinadora, ao término da apresentação oral e da arguição da discente, encerrou os trabalhos às 11h15min. Considerando o trabalho entregue, apresentado e a arguição realizada, formalizamos como membros desta Banca de Exame de Defesa, para fins de registro, por meio desta declaração, nossa decisão de que a discente pode ser considerada:

- (x) Aprovada
- () Aprovada, condicionado ao cumprimento das exigências pelos examinadores
- () Reprovado

Descreva abaixo observações e/ou restrições:

Sugere-se que as considerações da banca sejam acatadas, a critério das orientadoras.

Assinaturas:

Profa. Dra. Janine Padilha Botton

Prof Dr. Exzolvildres Queiroz Neto

Profa. Dra. Andreia Cristina Furtado

Prof. Dr. Gilson Batista de Oliveira

Prof. Dr. Jorge Gimenez Ledesma

MITO, Jessica Yuki de Lima. **Análise de aspectos políticos e regulatórios do biogás no Brasil e seu crescimento com o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos.** 2022. 75 páginas. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022.

RESUMO

O biogás é uma fonte de energia renovável que tem diversas particularidades e vantagens. Destas, pode-se citar a possibilidade de ser estocada, além das aplicações energéticas flexíveis (elétrica, térmica e como combustível veicular). Tais particularidades do biogás possibilitam a diversificação e descentralização da geração de energia no país. Sua produção e uso energético no Brasil ainda são pequenos comparados com o potencial de países da Europa, por exemplo. Além da disponibilidade de matéria-prima, tecnologias, e recursos humanos, é necessária uma estrutura política e regulatória para garantir a produção e aproveitamento energético desta fonte. Este trabalho tem caráter exploratório, de revisão bibliográfica e documental, cujo objetivo é apresentar o arcabouço regulatório e político do Brasil para o crescimento da cadeia produtiva do biogás por meio do uso da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. As informações sobre as políticas e regulações que abrangem sobre o biogás, são levantadas por meio de pesquisa de base de dados públicas, sites governamentais nacionais e estaduais, e por meio de informações disponibilizadas por associações, empresas e demais instituições que atuam no setor. São apresentados os panoramas político e regulatório da fonte biogás. Estas informações disponibilizadas podem subsidiar e apoiar, tanto pessoas da área de políticas públicas brasileiras, quanto em outros países. O investimento de esforços para elaboração de políticas e regulações que considerem as especificidades do biogás permitirá condições para o crescimento e consolidação do setor. Será um importante apoio para o desenvolvimento sustentável de unidades produtivas, e, para a superação dos gargalos envolvidos na cadeia.

Palavras-chave: Aproveitamento Energético de Resíduos. Políticas públicas. Energia renovável. Regulamentação. Diversificação da Matriz Energética.

MITO, Jessica Yuki de Lima. **Analysis of political and regulatory aspects of biogas in Brazil and its growth with the energy use of municipal solid waste 2021.** 75 pages. Master's Dissertation – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022.

ABSTRACT

Biogas is a renewable energy source that has several particularities and advantages. These include the possibility of being stored, in addition to flexible energy applications (electric, thermal and as vehicular fuel). These particularities of biogas enable the diversification and decentralization of energy generation in the country. Its production and energy use in Brazil is still small compared to the potential of European countries, for example. Besides the availability of raw material, technologies and human resources, a political and regulatory structure is necessary to guarantee the production and energetic use of this source. This work has an exploratory, bibliographical and documental review character, whose objective is to present the regulatory and political framework of Brazil for the growth of the biogas productive chain by means of the use of the organic fraction of urban solid waste. Information on policies and regulations covering biogas is gathered through research of public databases, national and state governmental websites and through information made available by associations, companies and other institutions that operate in the sector. The political and regulatory panoramas of the biogas source are presented. This information can subsidise and support both Brazilian public policy makers and those from other countries. The investment of efforts for the elaboration of policies and regulations that consider the specificities of biogas will allow conditions for the growth and consolidation of the sector. It will be an important support for the sustainable development of productive units, and for overcoming the bottlenecks involved in the chain.

Key words: Waste-to-energy. Public policies. Renewable energy. Regulation. Diversification of the Energy Matrix.

MITO, Jessica Yuki de Lima. **Análisis de los aspectos políticos y normativos del biogás en Brasil y su crecimiento con el uso energético de los residuos sólidos urbanos.** 2022. 75 páginas. Tesis de Máster – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2022.

RESUMEN

El biogás es una fuente de energía renovable que presenta varias particularidades y ventajas. Entre ellas, la posibilidad de ser almacenada, además de las aplicaciones energéticas flexibles (eléctrica, térmica y como combustible vehicular). Estas particularidades del biogás permiten diversificar y descentralizar la generación de energía en el país. Su producción y uso energético en Brasil es todavía pequeño comparado con el potencial de los países europeos, por ejemplo. Además de la disponibilidad de materias primas, tecnologías y recursos humanos, es necesaria una estructura política y normativa que garantice la producción y el uso energético de esta fuente. Este trabajo tiene un carácter exploratorio, de revisión bibliográfica y documental, cuyo objetivo es presentar el marco normativo y político de Brasil para el crecimiento de la cadena productiva del biogás mediante el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos. La información sobre las políticas y normativas relativas al biogás se recopila a través de la búsqueda en bases de datos públicas, sitios web gubernamentales nacionales y estatales y a través de la información facilitada por asociaciones, empresas y otras instituciones que operan en el sector. Se presentan los panoramas político y normativo de la fuente de biogás. Esta información puede subvencionar y apoyar a los responsables de las políticas públicas brasileñas y de otros países. La inversión de esfuerzos para la elaboración de políticas y reglamentos que consideren las especificidades del biogás permitirá crear condiciones para el crecimiento y la consolidación del sector. Será un apoyo importante para el desarrollo sostenible de las unidades productivas, y para superar los cuellos de botella de la cadena.

Palabras clave: Conversión de residuos en energía. Políticas públicas. Energía renovable. Regulación. Diversificación de la matriz energética

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Energética da América Latina.....	16
Figura 2 - Etapas da pesquisa.....	24
Figura 3 - Principais marcos das políticas e regulações voltadas para o setor de meio ambiente.....	37
Figura 4 - Principais marcos das políticas e regulações voltadas para o setor de energias renováveis.	40
Figura 5 - Principais marcos das políticas e regulações voltadas para o setor elétrico.....	45
Figura 6 - Principais marcos das políticas e regulações voltadas para o setor de biocombustíveis.....	48
Figura 7 - Marcos regulatórios importantes para o setor de biogás.....	51
Figura 8 - a) Distribuição das plantas de biogás com fim energético em operação no Brasil em 2019. b) Localização das plantas de biogás em operação no Brasil.	53
Figura 9 - Resultado da estimativa de biogás do Cenário 1.	57
Figura 10 - Representatividade dos estados brasileiros na produção de biogás – Cenário 1.....	58
Figura 11 - Resultado da estimativa de biogás do Cenário 2.	61
Figura 12 - Representatividade dos estados brasileiros na produção de biogás – Cenário 2.....	62
Figura 13 - Panorama do RSU no Brasil.	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Marcos das Políticas de Fomento de Biogás no Brasil.....	31
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico do fornecimento mundial de energia pelas principais fontes em ktep.....	14
Tabela 2 - Dados e parâmetros adotados nas estimativas dos Cenários 1 e 2. ...	27
Tabela 3 - Parâmetros utilizados para estimar a geração de energia elétrica.....	28
Tabela 4 - Parâmetros utilizados para estimar a equivalência do biogás em biometano.	28
Tabela 5 - Parâmetros utilizados para estimar a equivalência do biogás em diesel.	29
Tabela 6 - Histórico da Relação de Unidades de biogás com Geração Distribuída no Brasil.	42
Tabela 7 - Equivalências Energéticas - Cenário 1.....	59
Tabela 8 - Equivalências Energéticas - Cenário 2.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOGÁS	Associação Brasileira do Biogás
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CH ₄	Metano
CIBIOGÁS	Centro Internacional de Energias Renováveis
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ e	Dióxido de carbono equivalente
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
EBA	Associação Europeia de Biogás
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
GD	Geração Distribuída
GDER	Geração Distribuída com Energias Renováveis
GEE	Gases do Efeito Estufa
GtCO ₂ e	Giga tonelada de dióxido de carbono equivalente
GWh	Gigawatt-hora
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONG	Organização não governamental
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico
PEMC	Política Estadual de Mudanças Climáticas
PNRS	Política Nacional do Resíduos Sólidos
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROBIOGÁS	Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil
PROPIDEL	Programa Piauiense de Incentivo ao Desenvolvimento de Energias Limpas
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
tCO ₂	Tonelada de dióxido de carbono

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1. FONTES DE ENERGIA.....	14
3.1.1. Energias Renováveis.....	17
3.2. BIOGÁS	18
3.2.1 Aproveitamento energético do biogás	19
3.2.2 Benefícios sociais, econômicos e ambientais envolvidos na produção e uso energético do biogás oriundo do RSU.....	20
3.4. POLÍTICAS PÚBLICAS E REGULATÓRIAS.....	21
4. METODOLOGIA	23
4.1 TIPO DE ESTUDO	23
4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS	25
4.3 ESTIMATIVAS DO POTENCIAL TEÓRICO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS DA FRAÇÃO ORGÂNICA DO RSU.....	25
4.4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 SETOR DO BIOGÁS NO BRASIL.....	31
5.2 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DO RSU NO BRASIL	56
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
REFERÊNCIAS	69

1. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo energético mundial tem direcionado esforços para reduzir a dependência das fontes de energia fósseis e esgotáveis de energia (KONRAD *et al.*, 2016). Por esse motivo, a diversificação da matriz energética mundial, principalmente por fontes renováveis, tem sido tema de interesse em pesquisas e discussões nos diversos âmbitos da sociedade.

Dentre essas fontes, o biogás apresenta crescimento no Brasil, despertando o setor energético para o desenvolvimento e consolidação da cadeia. León & Martín (LEÓN; MARTÍN, 2016) relatam que o interesse por essa fonte tem crescido, devido às possibilidades energéticas do biogás, que pode ser convertido na geração de energia elétrica, térmica e veicular.

Segundo a Organização Latino-Americana de Energia (OLADE) mais de 18 milhões de pessoas da América Latina e Caribe, não têm acesso à energia elétrica ou aos serviços energéticos prioritários (OLADE, 2019). Portanto, como uma forma de sanar parcialmente essa deficiência a utilização de resíduos de origem animal ou vegetal, para produção e uso de biogás, permite a agregação de valor ambiental, social e econômico para a sociedade (LUMI *et al.*, 2015).

Além de auxiliar na demanda energética, a produção e uso do biogás contribui para a redução de emissões de gases do efeito estufa. Concomitante, permite a destinação e tratamento adequado de resíduos orgânicos e possibilita a descentralização na geração de energia (BLEY JR., 2009).

Contudo, para o desenvolvimento sustentável dessa cadeia, é necessário contar com capacidades e estratégias que apoiem os atores e tomadores de decisão do setor energético. Assim, será possível identificar oportunidades de crescimento e as melhorias tecnológicas e políticas para estabilização do setor (DUARTE, 2017).

A existência de um potencial energético, oferecido pelas condições de um determinado território, não garante o aproveitamento deste potencial. Uma estrutura política, regulatória e tecnológica são os principais fatores para sustentação e incentivo ao desenvolvimento do setor. As Políticas

Públicas consistem num conjunto de mecanismos, programas e ações específicas, propostas pelo governo, que produzirão resultados e impactos almejados pela sociedade (SOUZA, 2003). Essas influenciarão no desenvolvimento e na consolidação das fontes energéticas de um país.

Sendo assim, a obtenção de dados e informações permite identificar as oportunidades da cadeia e o crescimento do setor. Isto corrobora para a diversificação energética e o desenvolvimento de novas fronteiras tecnológicas para o aproveitamento eficiente e sustentável de matéria para a produção de biogás.

Considerando a grande importância do aproveitamento energético a nível nacional e mundial, este trabalho procura responder as seguintes questões: Quais políticas públicas existentes que podem auxiliar na ampliação da utilização do biogás? Quanto de biogás pode ser produzido a partir de resíduos sólidos urbanos? Por consequência é analisado o potencial de produção de biogás no Brasil, a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, analisando as características territoriais, políticas, econômicas, ambientais e sociais. Trabalho que se justifica pela falta de dados centralizados sobre a fonte biogás e pela necessidade de dialogar sobre as alternativas energéticas para destinação do RSUs no Brasil.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo analisar o potencial teórico de produção de biogás a partir dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, e identificar aspectos políticos e regulatórios que estimulam o desenvolvimento, a instalação de sistemas de biodigestão e sua aplicação energética, bem como avaliar as perspectivas de crescimento e consolidação dessa fonte no país.

Como objetivos específicos pretende-se:

- Analisar informações sobre políticas e regulações, bem como as fontes de financiamento que fomentam a implementação de projetos de biogás;
- Identificar redes e associações relacionadas à cadeia do biogás;
- Calcular o potencial de produção de biogás a partir dos RSUs no Brasil.

2.1 Estrutura da dissertação

Este estudo está organizado em 6 capítulos: **O primeiro** com a Introdução, apresentando a contextualização sobre a temática.

No **Capítulo 2** são apresentados os objetivos e a estrutura desta do trabalho.

No **Capítulo 3** são apresentados alguns conceitos relacionados à temática deste estudo, dados sobre o setor energético nacional. Neste capítulo, concentrou-se em identificar e apresentar o desenvolvimento das fontes renováveis, no biogás especificamente, para diversificação energética do Brasil, como forma de embasar as discussões.

O **Capítulo 4** demonstra a metodologia utilizada para entender as condições tecnológicas, regulatórias e políticas voltadas ao fomento da implementação de projetos para o aproveitamento energético do biogás no setor de saneamento.

Posteriormente no **Capítulo 5** são apresentados os resultados, a análise e as discussões, apresentando os dados e informações coletadas, as necessidades que precisam ser superadas para consolidação do setor de biogás, os entraves, as oportunidades desse setor e os possíveis mecanismos de desenvolvimento que poderiam ser aplicados para consolidação da fonte energética. Além disso, o **Capítulo 5** demonstra, como um estudo de caso, estimativas do potencial de produção do biogás por meio do aproveitamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil.

No **último capítulo** serão apresentadas as conclusões e sugestões para o aprimoramento ou desenvolvimento de trabalhos futuros.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. FONTES DE ENERGIA

Existem várias fontes de energia que são utilizadas nos mais variados locais, dependendo da sua disponibilidade. Essas são reunidas e descritas em um documento que pode representá-las em uma determinada região, estado, país ou até mesmo o mundo. É em consulta da matriz energética que pode-se avaliar a demanda e a disponibilidades das fontes energéticas (EPE, E. De P. E., 2020a). A análise da disponibilidade energética é feita mundialmente e percebe-se que no ano de 2018, cerca de 86% das fontes consumidas foram não renováveis, de acordo com a Agência Internacional de Energia – IEA (IEA, 2020). Na Tabela 1 tem-se o panorama mundial do fornecimento total de energia pelas principais fontes de energia, no período de 1990 até 2018.

Tabela 1 - Histórico do fornecimento mundial de energia pelas principais fontes em ktep.

Ano	Carvão	Gás natural	Nuclear	Hidro	Outras ¹	Biocombustíveis	Óleo
1990	2220587	1662187	525520	184064	36571	904162	3233212
1991	2160777	1719142	549697	189775	37287	918884	3246078
1992	2122883	1720658	554138	189756	38933	936588	3264336
1993	2131798	1752048	571382	200789	39988	936521	3285185
1994	2150012	1751380	584817	202587	41804	950954	3305828
1995	2207669	1806624	608098	212766	42391	967469	3373297
1996	2244249	1870736	630366	215547	44958	980840	3461797
1997	2227647	1891273	624037	218193	45901	989569	3548991
1998	2220003	1908341	637569	219261	48830	998387	3560865
1999	2230215	1994561	659981	220125	53678	1011950	3637204
2000	2317134	2071233	675467	224663	60262	1014659	3669477
2001	2351115	2087462	687798	219828	61793	1009122	3700052
2002	2432523	2156974	693812	226028	59198	1028762	3744107
2003	2617789	2235446	687191	227226	62679	1051041	3827805

¹ Solar, eólica, etc.

Ano	Carvão	Gás natural	Nuclear	Hidro	Outras ¹	Biocombustíveis	Óleo
2004	2824128	2292837	713962	241667	67139	1071527	3969451
2005	2990601	2360022	721706	252334	70143	1088960	4010067
2006	3171943	2419034	727878	261380	75008	1105190	4058950
2007	3339148	2526869	709211	265027	82123	1128399	4097383
2008	3383357	2589787	712793	275817	89474	1154540	4085153
2009	3382106	2535688	703092	280772	100073	1165961	4004822
2010	3649798	2735952	718713	296474	110200	1205287	4127360
2011	3818920	2785335	673468	301920	126515	1212927	4127677
2012	3858777	2838449	641618	316093	141352	1241531	4175541
2013	3905764	2896890	646587	327369	164090	1260999	4196775
2014	3935365	2900755	661177	333660	183107	1264328	4268823
2015	3842742	2928795	670172	334851	203821	1271235	4328233
2016	3735130	3017438	680177	347636	226121	1296089	4382179
2017	3787200	3098870	687380	350064	257470	1311024	4456826
2018	3838326	3261595	706814	362332	286377	1327127	4496998

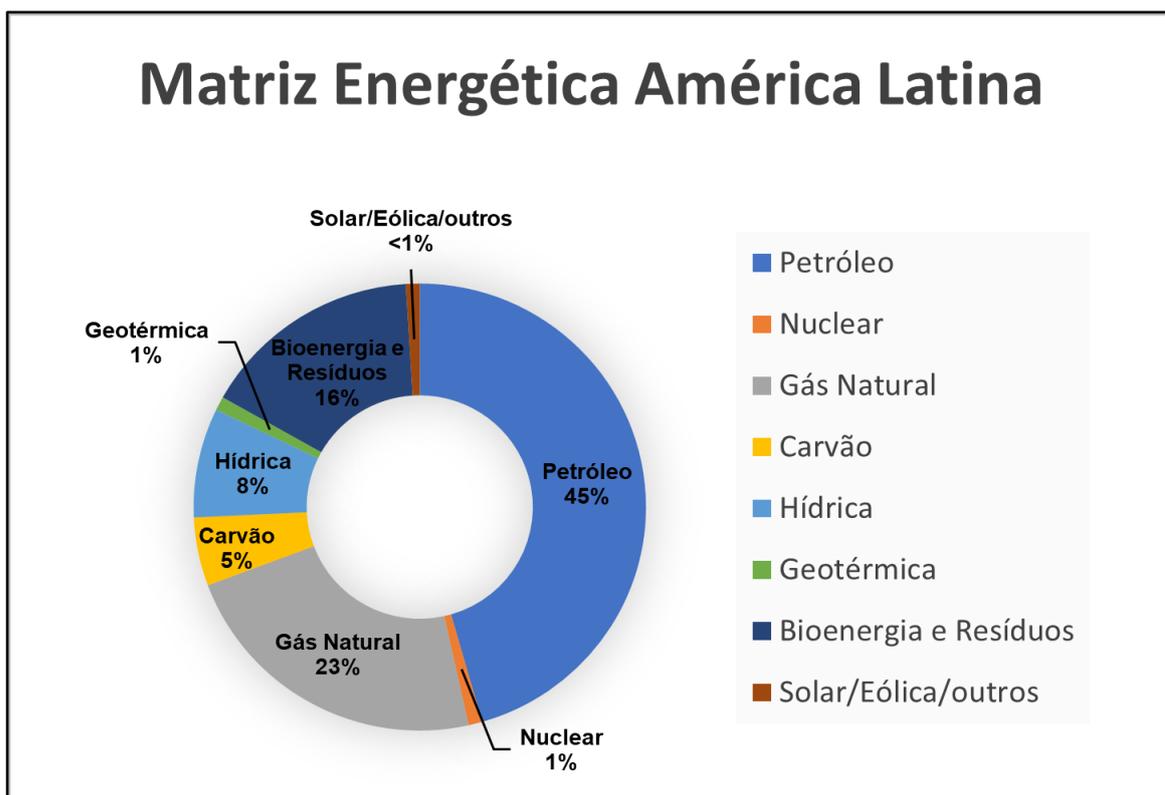
Fonte: IEA, 2020.

O crescimento do consumo energético está relacionado diretamente com o aumento da população, entretanto devem ser considerados os avanços tecnológicos que também são influenciadores. No ano de 1990 a população mundial era de 5,3 bilhões passando para 7,6 bilhões em 2018 (WORLDOMETER, 2020). Considerando estes valores pode-se calcular que houve um acréscimo populacional de 43,25% ao longo destes anos. Em contrapartida, o aumento no consumo energético no mesmo período foi de 62,89%.

A partir da Tabela 1 pode-se perceber que houve um aumento no consumo de todas as fontes de energia. A que teve menor crescimento foi a energia nuclear, 34,5%, seguida pelo óleo, 39,1%. Segundo a World Nuclear Industry, os países têm investido em fontes renováveis como eólica e solar. No período, houve o aumento do consumo do carvão 72,9%, do gás natural 96,2% e hídrica 96,9%, enquanto outras fontes não convencionais como solar/eólica tiveram um crescimento expressivo de 793% e os biocombustíveis de 46,8% (WORLD NUCLEAR INDUSTRY, 2019).

Observa-se que em toda a série histórica as fontes não renováveis predominam na matriz energética mundial. Na América Latina essa predominância se repete, pois diversos países têm grande oferta de recursos fósseis e contribuem para que a matriz seja representada predominantemente por fontes fósseis (IRENA, 2016), Figura 1.

Figura 1 - Matriz Energética da América Latina.



Fonte: IRENA, 2015.

Contudo, as fontes renováveis também têm seu papel no atendimento da demanda energética. Como vantagem trazem mais segurança, redução de emissão de gases do efeito estufa e diversificam a matriz energética (CASTRO *et al.*, 2009), principalmente quando estas fontes são analisadas nos países da América Latina, onde os países tem buscado diversificar suas fontes energéticas, fazendo uso dos recursos disponíveis, garantindo a qualidade e acessibilidade de energia nesses países (IDB, 2020).

Desde a Idade Média as principais fontes de energia eram provenientes dos cursos de água e dos ventos. Mais adiante, devido a Revolução

Industrial, o carvão, petróleo e o gás, derivados das reservas fósseis, tornaram-se as principais fontes de energia (CRISPIM, 2010).

A partir das décadas de 70 e 80, preocupações com a questão energética despertaram a necessidade de revisão do modelo energético mundial. Buscou-se pela diversificação ao se usar fontes alternativas e renováveis de energia para complementar a matriz energética (JOHNSON, 2010).

O petróleo é a principal fonte que move o mundo moderno. Porém há outras fontes de energia como o gás natural, a energia eólica, solar, hidráulica e os biocombustíveis (PETROBRAS-BR, 2019a), sendo estas as fontes renováveis de energia.

Conforme já comentado, o aumento da demanda por energia está diretamente relacionado ao crescimento populacional e ao desenvolvimento tecnológico havendo a necessidade de se pesquisar novas fontes de energia. Porém, até o momento, a produção energética não está acompanhando este crescimento (CARVALHO, 2012).

No entanto, não basta apenas produzir energia sem o cuidado de onde ela vem, mas sim considerar questões ambientais, econômicas e de saúde pública. No Brasil, a dependência de combustíveis fósseis é de 54% e o restante, 46%, utilizam as fontes renováveis (EPE, E. De P. E., 2020b).

3.1.1. Energias Renováveis

As energias renováveis exercem um grande papel no desenvolvimento sustentável (ESPARTA, A. R. J.; LUCON, O. S.; UHLIG, 2004). A energia renovável é a energia oriunda por meio de fontes naturais inesgotáveis e que são capazes de se regenerar por meios naturais mais rapidamente do que fontes não renováveis (CIPAF; INTA, 2008).

As fontes renováveis de energia são amplamente analisadas e parcialmente implementadas, evidenciando os aspectos ambientais, que visam principalmente a redução da poluição atmosférica. Isto ocorre porque são necessários mecanismos que melhorem o aproveitamento dessas energias. Na maioria dos casos, a tecnologia utilizada possui pouca eficiência e é cara. Assim,

é necessário que as tecnologias propostas melhorem o desempenho das mais variadas fontes, sejam elas renováveis ou não (CORDANI; MARCOVITCH; SALATI, 1997).

Como benefícios, as fontes renováveis promovem o desenvolvimento tecnológico, além de apresentar diversas vantagens ambientais como a diminuição dos gases de efeito estufa (PETROBRAS-BR, 2019b). Por estes motivos, tem se buscado um maior desenvolvimento nestas áreas.

A busca por fontes alternativas de energias renováveis tende a aumentar devido à elevação dos custos para a exploração dos combustíveis fósseis. Estes têm se esgotado, e quanto menor a oferta, maior o custo (DEUBLEIN, D.; TEINHAUSER, 2008). O biogás é um exemplo de energia renovável, uma fonte que só tende a crescer no país, sendo que de 2019 a 2020 essa fonte de energia cresceu em torno de 40% comparado a outros anos.

3.2 BIOGÁS

O biogás como um produto inflamável produzido por microrganismos (GENOVESE; UDAETA; GALVÃO, 2006). Estes fermentam a matéria orgânica sob determinadas condições de temperatura, teor de umidade e acidez, em um ambiente sem a presença de ar, sendo o metano o principal produto formado (SOARES; SILVA, S. R. C. De M. Da, 2010).

É por meio da digestão anaeróbia ou biodigestão de materiais orgânicos, seja de origem animal ou vegetal, que o biogás é produzido. A matéria orgânica complexa é degradada a compostos mais simples pela ação de diversos grupos de microrganismos, principalmente dos que não necessitam de oxigênio para o seu desenvolvimento, conhecidos como microrganismos anaeróbios. Esses microrganismos atuam em sinergia dentro do sistema até a formação dos produtos: o biogás e o digestato (CIBIOGÁS, 2018).

O biodigestor é um sistema fechado, onde pode ocorrer, de forma anaeróbia, a digestão da matéria orgânica e produção do biogás (CAMILO, 2012). O biodigestor é uma estrutura que proporciona condições favoráveis para que a degradação da matéria orgânica seja realizada adequadamente, por

microrganismos (BLEY JÚNIOR, 2015). Como resultado é promovido o saneamento ambiental, a geração de uma fonte energética e a produção de digestato (LEÓN; MARTÍN, 2016).

O digestato é o material resultante do processo final de biodigestão e que pode ser utilizado com fins agrônômicos como biofertilizante, pois sua composição, que varia de acordo com o tipo de substrato e tecnologia, é rica em nitrogênio, fósforo, potássio e matéria orgânica (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

O biogás é composto por uma mistura de gases. É constituído principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), contendo também pequenas quantidades de hidrogênio (H_2), amônia (NH_3), outros gases em menor quantidade, e umidade. Sua composição varia de acordo com o tipo e qualidade do substrato, bem como com as condições operacionais do sistema de biodigestão (CIBIOGÁS, 2018).

Dentre os resíduos possíveis de serem tratados, pode-se citar o esgoto urbano, resíduo orgânico urbano, dejetos da produção de animais e efluentes de indústrias, tais como abatedouros de animais, feculárias, usinas de açúcar e etanol, entre outros (KARLSSON *et al.*, 2014). A gestão e o tratamento de resíduos, por meio da biodigestão, não apresentam uma solução engessada, mas demonstra soluções aplicáveis a diferentes realidades e necessidades das diferentes cadeias de atividades produtivas (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

3.2.1 Aproveitamento energético do biogás

O metano, majoritariamente presente no biogás, tem alto potencial energético. Pode ser utilizado em diversas aplicações, como energia térmica, combustível para automóveis, utilização na cozinha e na geração de energia elétrica (SOARES; SILVA, S. R. C. De M. Da, 2010). Dessas, segundo Karlsson *et al.* a forma mais simples, fácil e barata de realizar o aproveitamento do biogás é na geração de calor. Seja em processos industriais ou como fonte de energia para cocção e fins domésticos (KARLSSON *et al.*, 2014).

3.2.2 Benefícios sociais, econômicos e ambientais envolvidos na produção e uso energético do biogás oriundo do RSU

O uso de sistemas de biodigestão é uma alternativa e estratégia utilizada para a sustentabilidade ambiental de diferentes setores produtivos. O setor do agronegócio é um dos grandes beneficiados com a produção de biogás, pois precisa gerir adequadamente os resíduos e efluentes provenientes de suas atividades (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Do ponto de vista econômico, ao se produzir biogás, pode-se obter resultados positivos por meio da diminuição de custos com energia elétrica e térmica, e em determinados casos, com combustíveis. Concomitante pode-se ter a redução de gastos com fertilizantes químicos ao se utilizar o digestato (MARIANI *et al.*, 2014).

Bley apresenta o biogás como agente de promoção da melhoria da qualidade de vida e das condições de trabalho por meio da redução de odores e vetores animais (BLEY JÚNIOR, 2015). Além disso, o uso energético do biogás possibilita o desenvolvimento de um mercado em torno dessa fonte energética, pois ocorre a criação de empregos e a geração de renda (GAHB; MERCOSUL; CIBIOGÁS, 2017).

Mariani (MARIANI, 2018) relata que dentre os benefícios atrelados à produção e uso energético do biogás estão a destinação e o tratamento adequado de efluentes e resíduos. Isto reduz o risco de contaminação do solo, do ar e dos recursos hídricos.

Além dos benefícios econômicos, sociais e ambientais do uso energético do biogás, a fonte contribui diretamente para o atendimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Como por exemplo, o biogás permite a geração de uma energia limpa e acessível, podendo ser gerada em grande e em pequena escala, reduz a emissão de gases de efeito estufa, pois o sistema de biodigestão capta o biogás e este pode ser utilizado na geração de energia reduzindo o teor poluente do biogás.

O crescimento populacional, o desenvolvimento econômico e tecnológico tem desencadeado alterações e aumento na produção de resíduos,

os quais, geralmente, não têm sido destinados sanitariamente e ambientalmente corretos (GOUVEIA, 2012). A má gestão dos resíduos sólidos urbanos, pode gerar impactos ambientais negativos, principalmente relacionados à saúde pública e ao meio ambiente (VGR, 2020).

É necessário que haja uma gestão integrada no gerenciamento dos RSU (MÁTTAR; RIFFO PÉREZ, 2015), e importante que ocorra a adoção de tecnologias que promovam o desenvolvimento sustentável e criem oportunidades para resgatar e dar valor energético para os resíduos, aproveitando-os antes de chegarem aos aterros (IPEA, 2021).

3.4 POLÍTICAS PÚBLICAS E REGULAÇÕES

Seja no setor energético ou em outros, a existência de normas ou regulações são de grande importância para o seu desenvolvimento e aplicação. Regulação é o conjunto de técnicas ou ações, decorrentes da consolidação de leis. Estas regulam o comportamento dos atores envolvidos em um determinado setor e são exercidas por Agências Reguladoras especificadas para cada setor, que normatizam, regulam, controlam e fiscalizam suas aplicações (DESCLAUX, 2019).

Como o setor energético é amplo e engloba toda a população, as regulações necessitam ser criadas e aprovadas nas instâncias superiores onde são elaboradas as políticas públicas. Lima reforça que as políticas públicas são uma forma de ação do governo, com a participação de diversos atores não governamentais, como: atores do mercado, organizações não governamentais (ONGs), associações, acadêmicos e sociedade. Essas são capazes de influenciar, de alguma forma, a elaboração destas Políticas (LIMA, I. C. M. De A., 2020).

Roitman relata que não há um modelo padrão ideal de políticas públicas e privadas para o setor energético renovável (ROITMAN, 2018). O que se deve buscar é atender as necessidades de cada país e do setor produtivo. Além disso, a criação de políticas também é influenciada pelo contexto, necessidades energéticas e a maturidade do território sobre a fonte.

Políticas focadas em financiamento e em isenções fiscais,

conjuntamente com outras políticas de incentivo, são importantes para o desenvolvimento do setor de energias renováveis em geral, especialmente para o biogás (EBA, 2017). Outro fator importante, é a realização de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para melhoria das tecnologias envolvidas e dos processos produtivos de uma determinada fonte. Tais ações aumentam a competitividade do setor e garantem segurança aos usuários em relação à fonte (GOMES, R. D. M.; JANNUZZI, 2003).

O Brasil tem buscado atender aos compromissos globais assumidos na contribuição com o desenvolvimento sustentável e para a minimização das mudanças climáticas (CEPAL; FAO; IICA, 2017).

Um dos importantes acordos relacionados às mudanças climáticas é o acordo de Paris, cujo objetivo principal é reduzir as emissões de gases de efeito estufa para limitar o aumento médio da temperatura global e reforçar a capacidade dos países de responder ao desafio, num contexto de desenvolvimento sustentável (CEBDS, 2019).

Nesse contexto, o biogás é uma solução energética. O governo, iniciativas do setor privado e a sociedade civil estão percebendo a relevância dessa fonte de energia para a matriz energética de diversos países no mundo, seja no âmbito de grandes, médias ou pequenas escalas. Sendo assim, o biogás pode ser empregado em regimes de complementaridade com as fontes convencionais. Sua utilização elevam as perspectivas promissoras para a expansão de sistemas de geração, baseados na integração entre fontes renováveis, e contribui para que os países cumpram com os compromissos de redução de GEE e para atendimento dos ODS (LIMA, I. C. M. De A., 2020).

4. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a estratégia adotada para realização deste estudo para obtenção dos objetivos propostos.

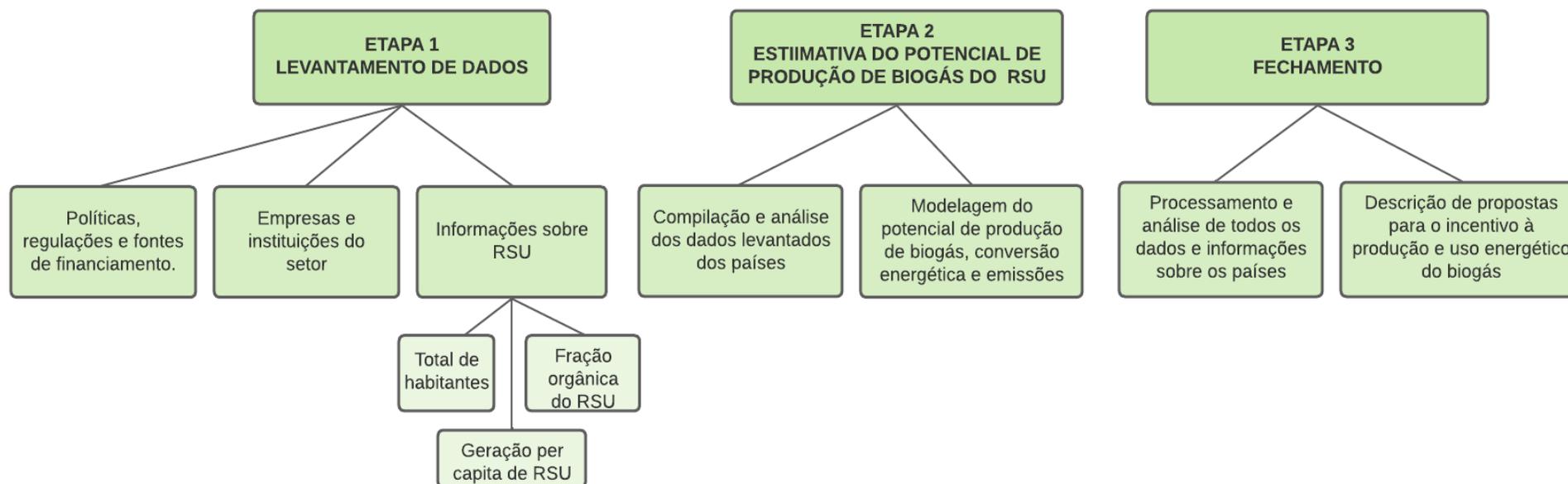
4.1 TIPO DE ESTUDO

A pesquisa teve caráter exploratório e bibliográfico visando levantar informações políticas e regulatórias sobre a produção de biogás no Brasil, e quantitativo com o objetivo de estimar o potencial de biogás a partir da fração orgânica de resíduos urbanos do Brasil. O levantamento de informações versa sobre: redes, associações, empresas e instituições fornecedoras de produtos e serviços; fontes de financiamento; modelos de biodigestores instalados nos países; políticas e regulações; biodigestores instalados no país.

Para definição dos tipos de dados a serem coletados, este trabalho se baseou nos relatórios emitidos pela Associação Europeia de Biogás (EBA). Esses apresentam os elementos decisórios e relevantes para a consolidação do biogás na matriz energética europeia.

A organização e filtragem dos dados é necessária para análise das políticas, regulações e incentivos criados nos últimos anos e o contexto energético dos países para verificar o panorama do biogás no Brasil. A Figura 2 demonstra o resumo das etapas de pesquisa adotadas.

Figura 2 - Etapas da pesquisa.



Fonte: Autoria própria.

4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS

O levantamento de dados envolveu pesquisas em fontes variadas. Consistiram na utilização de ferramentas de busca na internet, acesso a banco de dados de instituições de ensino, pesquisa e desenvolvimento, de órgãos governamentais, buscas em sites de empresas e associações do setor.

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas do excel, para melhor disponibilização, organização, processamento e análise dos dados e informações levantadas.

4.3 ESTIMATIVAS DO POTENCIAL TEÓRICO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS DA FRAÇÃO ORGÂNICA DO RSU

Para fins comparativos e de análise, este trabalho realizou estimativas do a) potencial de produção de biogás, a partir do uso da fração orgânica gerada no RSU no Brasil, b) da equivalência energética elétrica e também c) estimativas do quanto isso equivaleria em redução de emissões de GEE. O intuito de realizar essas estimativas é visualizar o potencial, os benefícios e as oportunidades atreladas ao setor de saneamento no país. Informações que subsidiaram as análises e o capítulo final deste estudo.

a) Estimativa de produção de biogás

Para estimar e analisar o potencial teórico da produção de biogás, baseou-se em dados e informações disponibilizados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) (ABRELPE, 2020), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2020), e, nas equações e parâmetros da Associação Brasileira de Biogás (Abiogás) (ABIOGÁS, 2020a).

Neste estudo, considerou-se a produção de biogás a partir da fração orgânica no RSU, estimando como se esse substrato fosse destinado para um sistema de biodigestão. Além disso, considerou-se dois cenários nesse estudo:

Cenário 1 - Estimativa com a fração de orgânica do RSU coletada e destinada adequadamente para aterros sanitários (entendendo que este é o resíduo que estaria mais disponível para a conversão em biogás).

Cenário 2 - Estimativa com o volume total da fração orgânica de RSU produzidos no Brasil (entendendo que este é o potencial do setor, porém, não totalmente disponível para aproveitamento imediato).

A rota biodigestão foi considerada, pensando na oportunidade de reduzir a destinação destes resíduos para os aterros sanitários, pois estes resíduos representam a maior composição do volume total de RSU no Brasil, e, pensando na maior eficiência na produção e diminuição de perdas de biogás para a atmosfera. Sendo assim, a produção teórica de biogás foi estimada por meio da Equação 1.

$$P_{\text{BiogásRSU}} = (VRSU_{\text{Coletado e destinado adequadamente}} * FORSU) * FC * MS \quad (1)$$

Onde:

P_{BiogásRSU}: Produção de Biogás (Nm³ de biogás. ano⁻¹)

VRSU_{Coletado e destinado adequadamente}: Volume de Resíduos Sólidos Urbanos coletados e destinados adequadamente para aterro sanitário (ton.ano⁻¹)

FORSU: Fração orgânica no RSU (%)

FC: Rendimento de biogás a partir do RSU (Nm³.ton de MS no RSU⁻¹)

MS: Matéria seca (%)

Para estimar o potencial de biogás foi necessário compreender o volume de resíduos gerados no país e identificar a composição da fração orgânica desses resíduos. Sendo assim, foram recolhidos os dados sobre a geração, coleta, destinação e composição orgânica do RSU no Brasil, obtidos por meio do relatório do panorama dos resíduos sólidos, publicado pela Abrelpe em 2020 (ABRELPE, 2020). Os parâmetros de FC e MS foram os mesmos adotados pela metodologia da Abiogás (ABIOGÁS, 2020a). A Tabela 2 apresenta os dados e parâmetros utilizados neste estudo.

Tabela 2 - Dados e parâmetros adotados nas estimativas dos Cenários 1 e 2.

Estado	Geração total de RSU (t/ano)	Disposição final adequada (%)	Volume total de RSU coletado destinado a aterro sanitário (t/ano)	FORSU (%)	FC (Nm ³ .ton de MS ⁻¹)	MS (%)
Acre	239.440		70.221			
Amapá	256.230		84.393			
Amazonas	1.601.255		489.224			
Pará	2.643.695	35,30	716.121	53	415	22
Rondônia	510.635		142.245			
Roraima	165.710		49.219			
Tocantins	449.680		132.453			
Alagoas	1.092.810		326.019			
Bahia	5.071.310		1.518.739			
Ceará	3.534.660		1.007.555			
Maranhão	2.514.120		571.476			
Paraíba	1.282.245	35,60	395.667	53	415	22
Pernambuco	3.285.730		1.017.040			
Piauí	1.141.355		281.060			
Rio Grande do Norte	1.115.075		353.177			
Sergipe	663.570		215.830			
Distrito Federal	1.104.855		433.543			
Goiás	2.528.355	41,30	1.003.962	55	415	22
Mato Grosso	1.207.420		441.683			
Mato Grosso do Sul	974.550		373.094			
Espírito Santo	1.207.785		822.601			
Minas Gerais	6.941.570	72,70	4.640.794	57	415	22
Rio de Janeiro	8.223.815		5.948.728			
São Paulo	23.069.825		16.709.404			
Paraná	3.234.995		2.170.523			
Rio Grande do Sul	3.147.030	70,60	2.121.046	53	415	22
Santa Catarina	1.861.865		1.264.485			
TOTAL	79.069.585	-	43.300.301	-	-	-

Fonte: Adaptado de Abrelpe, 2020 e Abiogás, 2021.

b) Equivalências energéticas

Foram consideradas as equivalências energéticas do biogás em energia elétrica, biometano e o quanto isso representa em diesel.

Para a conversão energética elétrica do biogás, para o Cenário 1 e 2, considerou-se a seguinte equação:

$$\text{Equivalência Energética}_{Elétrica} = (P_{BiogásRSU} * FC_{Elétrica} * CRM) \quad (2)$$

Onde:

Equivalência Energética_{Elétrica}: Número de residências atendidas ao ano com energia elétrica

FC_{Elétrica}: Fator de conversão do biogás na geração de energia elétrica (kWh.m³ de biogás⁻¹)

CRM: Consumo regional médio de energia elétrica (kWh.ano⁻¹)

Os parâmetros de FC e CRM, utilizados para realizar a conversão energética em energia elétrica, e as respectivas referências utilizadas neste estudo são resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros utilizados para estimar a geração de energia elétrica.

Região	*FC (kWh.m ³ de biogás ⁻¹)	**CRM (kWh.ano ⁻¹)
Norte		2.016
Nordeste		1.488
Centro-Oeste	2,04	2.256
Sudeste		2.064
Sul		2.184

Fonte: DALPAZ, 2019; EPE, E. De P. E., 2020c

Para realizar a conversão do biogás para biometano, considerou que o biogás oriundo de RSU contém 50% de metano na sua composição e realizou-se, com base nas premissas da ANP, que para ser considerado como biometano é necessária uma pureza de 90% de metano na composição do combustível. Sendo assim, utilizou-se a seguinte equação:

$$\mathbf{Equivalência\ Energética}_{Biometano} = \frac{(P_{BiogásRSU} * \%metano)}{\%Pureza_{Biometano}} \quad (3)$$

Onde:

Equivalência Energética_{Biometano}: Equivalência do biogás em m³ de biometano ao ano (m³ biometano.ano⁻¹)

%metano: teor metano na composição do biogás oriundo de RSU (%)

%Pureza_{Biometano}: Pureza exigida pela ANP para produção do biometano (%)

A Tabela 4 demonstra os parâmetros utilizados para realizar os cálculos.

Tabela 4 - Parâmetros utilizados para estimar a equivalência do biogás em biometano.

Equivalência energética	%metano	%Pureza _{Biometano}
Biogás - Biometano	50	90

Fonte: ABIOGÁS, 2020a; ANP, AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2017

Para a conversão energética do em equivalência ao diesel, para o Cenário 1 e 2, considerou-se a seguinte equação e parâmetro:

$$\text{Equivalência Energética}_{\text{Diesel}} = (P_{\text{BiogásRSU}} * FC_{\text{Elétrica}}) \quad (4)$$

Onde:

Equivalência Energética_{Diesel}: Equivalência do biogás em litros de diesel no ano (L diesel.ano⁻¹)

FC_{Elétrica}: Fator de conversão da equivalência do biogás em diesel (L diesel.m³ de biogás⁻¹)

A Tabela 5 apresenta o parâmetro adotado para estimar a equivalência do biogás em litros de diesel.

Tabela 5 - Parâmetros utilizados para estimar a equivalência do biogás em diesel.

Equivalência energética	FC (L diesel.m ³ de biogás ⁻¹)	Unidade
Biogás - Diesel	0,66	(L/m ³ de biogás)

Fonte: BARROS, 2021; KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019

c) Emissões de GEE

Para obtenção dos resultados de redução de CO₂ equivalente (CO_{2e}), foram utilizados cálculos diretos, utilizando valores de CO_{2e} especificamente para o metano (CH₄) sugerido pelo IPCC (2006), onde 1 gCH₄ corresponde a 28 g CO_{2e}. Além disso, adotou-se uma qualidade média do biogás com 60% de metano em sua composição.

4.4 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho engloba os estados brasileiros, atualmente composta pela união de 26 estados, do Distrito Federal e dos 5.570 municípios. O Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão territorial, com uma área total de 8.514.876,599 km² (PNUD, 2021). O Brasil é a maior economia da América Latina, sendo os setores agropecuário, minerador, manufatureiro e de serviços os que mais se destacam no país (PNUD, 2021).

Com um total estimado de 211,8 habitantes em 2020 (IBGE, 2020) o país contou com uma produção de aproximadamente 80 milhões toneladas de resíduos em 2020 (ABRELPE, 2020). Esses números demonstram a

necessidade de um tratamento adequado dos resíduos pelas questões ambientais, econômicas e de saúde pública.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fornecimento de dados, informações, entre outros conhecimentos sobre o setor de biogás têm caráter fundamental. São importantes para que se possa propor e analisar medidas de incentivo à sua produção, à aplicação energética e à consolidação da fonte biogás no território.

Sendo assim, para analisar o setor de biogás no Brasil, foram coletadas informações documentais e institucionais. Estas consistem em marcos regulatórios e políticas do setor, além do levantamento de empresas e iniciativas do setor público e privado que incentivam o desenvolvimento do biogás.

Além disso, realizou-se estimativas teóricas do potencial de produção de biogás, a partir do RSU, a fim de complementar a análise dos países. Os resultados desse levantamento, realizado no âmbito das Etapas 1 e 2 da metodologia de pesquisa, são descritos a seguir.

5.1 SETOR DO BIOGÁS NO BRASIL

Ao longo dos últimos anos o setor de biogás tem se destacado no Brasil. Houve um aumento no interesse pela temática junto com a promoção de discussões que fomentam o desenvolvimento de políticas e regulamentações. A necessidade de consolidação da fonte tornou-se pauta no setor energético.

A seguir serão apresentadas regulamentações, políticas públicas e privadas, entre outros mecanismos de incentivos, com ênfase em biogás, e que influenciam e fomentam a estruturação do setor de produção e uso energético do biogás no Brasil. No Quadro 1 são apresentadas as ações.

Quadro 1 - Marcos das Políticas de Fomento de Biogás no Brasil.

ID	Marco	Data	Setor	Âmbito	Vigência
P1	Constituição Federal	09/1988	Outros/Meio Ambiente	Federal	Vigente
P2	Lei n° 6.938	08/1981	Meio Ambiente	Federal	Vigente
P3	Resolução CONAMA n° 001	01/1986	Meio Ambiente	Federal	Vigente
P4	Resolução CONAMA n°6	09/1987	Meio Ambiente	Federal	Vigente
P5	Resolução CONAMA n° 237	12/1997	Meio Ambiente	Federal	Vigente

ID	Marco	Data	Setor	Âmbito	Vigência
P6	Resolução SEMA n° 31	08/1998	Meio Ambiente	Paraná	Vigente
P7	Lei n° 9.605	12/1998	Meio Ambiente	Federal	Vigente
P8	Lei n° 9.795	04/1999	Meio Ambiente	Federal	Vigente
P9	Resolução CONAMA n° 279	06/2001	Meio Ambiente	Federal	Vigente
P10	Lei n° 13.806	09/2002	Meio Ambiente	Paraná	Vigente
P11	Resolução CEMA n° 065	01/2008	Meio Ambiente	Paraná	Vigente
P12	DECRETO N° 28.390	02/2009	Meio Ambiente	Amazonas	Vigente
P13	Instrução Normativa IAP/DIRAM 105.006	09/2009	Meio Ambiente	Paraná	Vigente
P14	Resolução Conjunta SEMA/IAP N° 005	09/2009	Meio Ambiente	Paraná	Vigente
P15	Lei n° 12.187	12/2009	Meio Ambiente	Federal	Vigente
P16	Lei n° 12.305	02/2010	Meio Ambiente	Federal	Vigente
P17	Resolução conjunta SEMA/IAP n° 09	03/2010	Meio Ambiente	Paraná	Vigente
P18	LEI N.º 13.594	12/2010	Meio Ambiente	Rio Grande do Sul	Vigente
P19	Lei n° 12.512	10/2011	Meio Ambiente	Federal	Vigente
P20	Resolução CONAMA n° 436	12/2011	Meio Ambiente	Federal	Vigente
P21	Lei n° 17.133	04/2012	Meio Ambiente	Paraná	Vigente
P22	RESOLUÇÃO INEA/PRES N° 65	12/2012	Meio Ambiente	Rio de Janeiro	Vigente
P23	Resolução CEMA n° 90	03/2013	Meio Ambiente	Paraná	Vigente
P24	LEI N° 9.531	09/2010	Energias Renováveis	Espírito Santo	Vigente
P25	Lei n°12.490/2011	09/2011	Energias Renováveis	Federal	Vigente
P26	Decreto n° 3.453-R	12/2013	Energias Renováveis	Espírito Santo	Vigente
P27	DECRETO N° 53.160	08/2016	Energias Renováveis	Rio Grande do Sul	Vigente
P28	LEI N° 1.109	10/2016	Energias Renováveis	Roraima	Vigente
P29	LEI N° 6.901	11/2016	Energias Renováveis	Piauí	Vigente
P30	Lei n° 9.074 /1995	07/1995	Elétrico	Federal	Vigente
P31	Decreto n° 2.003/1996	10/1996	Elétrico	Federal	Vigente
P32	Lei n° 9.478/1997	06/1997	Elétrico	Federal	Vigente
P33	Decreto n° 2.655/1998	02/1998	Elétrico	Federal	Vigente
P34	Resolução Normativa n° 112/1999	05/1999	Elétrico	Federal	Revogada
P35	Resolução Normativa n° 371/1999	12/1999	Elétrico	Federal	Revogada

ID	Marco	Data	Setor	Âmbito	Vigência
P36	Resolução Normativa nº 021/2000	01/2000	Elétrico	Federal	Revogada
P37	Lei nº 9.991/2000	09/2000	Elétrico	Federal	Vigente
P38	Decreto nº 6.460/2008	05/2001	Elétrico	Federal	Vigente
P39	Lei nº 10.438/2002	04/2002	Elétrico	Federal	Vigente
P40	Decreto nº 4.541/2002	12/2002	Elétrico	Federal	Revogada
P41	Medida Provisória nº 144/2003	11/2003	Elétrico	Federal	Convertida em Lei
P42	Lei nº 10.847/2004	03/2004	Elétrico	Federal	Vigente
P43	Lei nº 10.848/2004	03/2004	Elétrico	Federal	Vigente
P44	Resolução Normativa nº 67/2004	08/2004	Elétrico	Federal	Vigente
P45	Resolução Normativa nº 68/2004	08/2004	Elétrico	Federal	Vigente
P46	Resolução Normativa nº 77/2004	08/2004	Elétrico	Federal	Vigente
P47	Decreto nº 5.163/2004	09/2004	Elétrico	Federal	Vigente
P48	Resolução Normativa nº 206/2005	12/2005	Elétrico	Federal	Revogada
P49	Resolução Normativa nº 247/2006	12/2006	Elétrico	Federal	Vigente
P50	Resolução Normativa nº 271/2007	03/2007	Elétrico	Federal	Vigente
P51	Lei nº 11.488/2007	07/2007	Elétrico	Federal	Vigente
P52	Resolução Normativa nº 284/2007	10/2007	Elétrico	Federal	Vigente
P53	Resolução Normativa nº 312/2008	06/2008	Elétrico	Federal	Vigente
P54	Resolução Normativa nº 323/2008	08/2008	Elétrico	Federal	Revogada
P55	Resolução Autorizativa nº 1.482/2008	09/2008	Elétrico	Federal	Vigente
P56	Resolução Normativa nº 320/2008	10/2008	Elétrico	Federal	Vigente
P57	Resolução Normativa nº 345/2008	12/2008	Elétrico	Federal	Revogada
P58	Lei nº 12.111/2009	09/2009	Elétrico	Federal	Vigente
P59	Resolução Normativa nº 395/2009	12/2009	Elétrico	Federal	Vigente
P60	PRODIST - Módulo 4	01/2010	Elétrico	Federal	Vigente
P61	Resolução Normativa nº 424/2010	12/2010	Elétrico	Federal	Vigente
P62	Resolução Normativa nº 432/2011	05/2011	Elétrico	Federal	Vigente

ID	Marco	Data	Setor	Âmbito	Vigência
P63	Resolução Normativa nº 506/2012	04/2012	Elétrico	Federal	Vigente
P64	Resolução Normativa nº 482/2012	04/2012	Elétrico	Federal	Vigente
P65	Lei nº 17.188	06/2012	Elétrico	Paraná	Vigente
P66	Resolução Normativa nº 517/2012	11/2012	Elétrico	Federal	Vigente
P67	Lei nº 20.824	01/2013	Elétrico	Minas Gerais	Vigente
P68	Decreto nº 8.842	04/2013	Elétrico	Paraná	Vigente
P69	Convênio ICMS nº 112	11/2013	Elétrico	Federal	Vigente
P70	Decreto 11.671/2014	07/2014	Elétrico	Paraná	Vigente
P71	Convênio ICMS 16/2015	04/2015	Elétrico	Federal	Vigente
P72	Lei nº 13.169/2015	06/2015	Elétrico	Federal	Vigente
P73	Lei nº 13.203/2015	08/2015	Elétrico	Federal	Vigente
P74	Resolução Normativa nº 687/2015	11/2015	Elétrico	Federal	Vigente
P75	Portaria nº 538/2015 (PROGD)	12/2015	Elétrico	Federal	Vigente
P76	Convênio ICMS 6/2016 CONFAZ	05/2016	Elétrico	Federal	Revogado
P77	Convênio ICMS nº 42	06/2016	Elétrico	Federal	Vigente
P78	PRODIST - Módulo 3 (versão 7)	01/2017	Elétrico	Federal	Vigente
P79	Decreto nº 9.022/2017	03/2017	Elétrico	Federal	Vigente
P80	Resolução Normativa nº 786/2017	10/2017	Elétrico	Federal	Vigente
P81	PRODIST - Módulo 8	01/2018	Elétrico	Federal	Vigente
P82	Decreto nº 8.673	01/2018	Elétrico	Paraná	Vigente
P83	Convênio ICMS 42/18	05/2018	Elétrico	Paraná	Vigente
P84	Resolução SEPL nº 002	07/2018	Elétrico	Paraná	Vigente
P85	PRODIST - Módulo 1	12/2018	Elétrico	Federal	Vigente
P86	NTC 903107	02/2020	Elétrico	Paraná	Vigente
P87	NTC 905100	06/2020	Elétrico	Paraná	Vigente
P88	NTC 905200	10/2020	Elétrico	Paraná	Vigente
P89	NTC 903105	12/2020	Elétrico	Paraná	Vigente
PML	Marco Legal da GD – Lei nº14.300		Elétrico	Federal	Vigente
P90	Lei nº 6.361	12/2012	Biocombustível	Rio de Janeiro	Vigente
P91	Decreto nº 59.038	03/2013	Biocombustível	São Paulo	Vigente

ID	Marco	Data	Setor	Âmbito	Vigência
P90	Lei nº 6.361	12/2012	Biocombustível	Rio de Janeiro	Vigente
P91	Decreto nº 59.038	03/2013	Biocombustível	São Paulo	Vigente
P92	DECRETO Nº 44.855	06/2014	Biocombustível/Biometano	Rio de Janeiro	Vigente
P93	Resolução ANP nº 8/2015	01/2015	Biocombustível/Biometano	Federal	Vigente
P94	Lei nº 14.864	11/2016	Biocombustível/Biometano	Rio Grande do Sul	Vigente
P95	Resolução ANP nº 685/2017	06/2017	Biocombustível/Biometano	Federal	Vigente
P96	Deliberação ARSESP nº 744	07/2017	Biocombustível/Biometano	São Paulo	Vigente
P97	Lei Complementar nº 205	07/2017	Biocombustível	Paraná	Vigente
P98	Lei nº 13.576	12/2017	Biocombustível	Federal	Vigente
P99	Resolução ANP nº 734	06/2018	Biocombustível	Federal	Vigente
P100	Lei Complementar nº 211	07/2018	Biocombustível	Paraná	Vigente
P101	Lei nº 15.377	11/2019	Biocombustível/Biometano	Rio Grande do Sul	Vigente
P102	Decreto nº 58.659	04/2012	Biogás	São Paulo	Vigente
P103	Lei nº 19.500	05/2018	Biogás	Paraná	Vigente
P104	Lei nº 17.542	12/2018	Biogás	Santa Catarina	Vigente

Fonte: Elaboração com base nas políticas públicas citadas no Quadro 1.

Nota: Dados trabalhados pelo autor.

A utilização de resíduos para produção e uso energético do biogás é, relativamente, recente no Brasil. Conseqüentemente, é um setor que ainda está em processo de consolidação e de constantes mudanças regulatórias e políticas. A fonte biogás permeia diversos setores para sua estruturação, dentre eles os setores de meio ambiente, energia elétrica, energias renováveis e biocombustíveis.

As descrições a seguir apresentam como os instrumentos de políticas do Brasil beneficiam e correlacionam o tratamento de resíduos ao aproveitamento energético do biogás no país. Estas análises estão separadas por: a) Meio Ambiente; b) Energias Renováveis; c) Setor Elétrico; d) Biocombustíveis; e) Políticas que se destinam especificamente ao biogás.

a) Meio Ambiente:

A vertente ambiental impacta diretamente todos os setores produtivos do país. Dentro do setor de meio ambiente, observa-se que a própria Constituição Federal [Quadro 1, ID P1] cita sobre os interesses coletivos em relação ao equilíbrio do meio ambiente e ao uso adequado dos recursos naturais. Estabelece que a competência legal para legislar questões relacionadas à proteção ambiental deve permanecer com o ente federal e os Estados têm competência complementar, agindo para integralizar as decisões entre os entes federal, estadual e municipal.

A Constituição consolidou um movimento de proteção ambiental no país e as devidas responsabilidades à sociedade. Além da defesa e preservação do meio ambiente para usufruto da geração presente, também é de grande importância para as futuras gerações. Esse movimento iniciou em 1981 com a Lei 6.938/81 [Quadro 1, ID P2], após a participação do Brasil na Declaração de Estocolmo de 1972.

Ao longo dos anos observamos o esforço conjunto dos 1º, 2º e 3º setores da sociedade (poder público, empresas privadas e organizações privadas não governamentais e sem fins lucrativos, respectivamente), para garantir que as questões de sustentabilidade, proteção ambiental e de mudanças climáticas sejam pauta de discussão. Das políticas apresentadas no Quadro 1, considerando os IDs P1 a P23, é possível observar que não são políticas específicas para tratar sobre o biogás, contudo, a estruturação do setor ambiental e de saneamento têm contribuído involuntariamente para o avanço do biogás. São políticas que dão suporte ao setor de biogás, e dão oportunidade de aproveitar os desafios da gestão de resíduos para a geração de ativos energéticos.

Políticas como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei Federal nº. 12.305/2010 [Quadro 1, ID P16], dispõem sobre a utilização de tecnologias que visem a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos. Por meio desta lei, o biogás dá suporte ao setor de saneamento na destinação adequada de resíduos, na redução de emissões que intensificam o efeito estufa, e na possibilidade de agregar receita e ativo energético para a gestão dos resíduos.

Outro marco é a Política Nacional sobre a Mudança do Clima [Quadro 1, ID P21], que visa identificar, planejar e coordenar as ações e medidas

que possam ser empreendidas para mitigar as emissões de gases de efeito estufa geradas no Brasil. As políticas apresentadas no Quadro 1, com IDs P10, P12, P15, P18 e P20 também tratam sobre questões voltadas para a poluição atmosférica e mudanças do clima. O biogás promove a descarbonização da matriz energética e contribui com os compromissos do Brasil em reduzir emissões de gases do efeito estufa.

As políticas apresentadas no Quadro 1, com IDs P3, P4, P5, P6, P7, P9, P11, P13, P14, P17 e P22, tratam, dentro dos âmbitos federal e estadual, de questões voltadas ao licenciamento ambiental, dispondo critérios e procedimentos a serem adotadas nas atividades produtivas. Estas políticas exigem que as unidades produtivas apresentem proposta de gestão dos resíduos gerados nas instalações, e o biogás é uma alternativa de rota para gestão adequada desses resíduos. A Figura 3 resume os principais destaques desse setor.

Figura 3 - Principais marcos das políticas e regulações voltadas para o setor de meio ambiente.



Fonte: Elaborado com base nas políticas citadas no Quadro 1.

Vale ressaltar que apesar dos instrumentos de licenciamento serem importantes, existem fatores que carecem de melhorias em relação ao licenciamento de projetos de biogás. Atualmente não existe uma padronização,

nem um enquadramento dos processos de licenciamento ambiental para projetos de produção e aproveitamento energético do biogás. Probiogás (GIZ, 2016) relata que essa carência impacta no aumento do tempo demandado para realização desses trâmites e causa incertezas da parte do órgão ambiental e do próprio investidor.

Allonda (ALLONDA, 2021) comenta que além de beneficiar o meio ambiente, o biogás é um elemento positivo para a reputação das empresas que adotam modelos sustentáveis de gestão de resíduos e de geração de energia renovável. O biogás promove uma sinergia entre a expansão das atividades produtivas do país, o tratamento de resíduos e a geração de energia renovável. A estrutura regulatória do setor ambiental pode abrir oportunidades para destacar o biogás e permitir que as atividades produtivas, também, vejam o biogás como solução para alguns dos desafios sociais, econômicos e ambientais da sociedade.

b) Energias Renováveis:

Na década de 70, o mundo presenciou a séria crise do petróleo. A diversificação das fontes energéticas se tornou fundamental e abriu espaço para que as energias renováveis tivessem reconhecimento e passassem a receber atenção e investimentos (JUNIOR, 2020). Desde então, os órgãos governamentais iniciaram os esforços para expandir e diversificar a matriz energética brasileira, incluindo, também, as fontes renováveis de energia (KRELL; CASTRO E SOUZA, DE, 2020).

O Brasil tem uma interessante vocação territorial para o desenvolvimento das energias renováveis (hídrica, solar, eólica e biomassa). A futura escassez dos recursos fósseis e das fontes renováveis tradicionais, somado às mudanças climáticas e a consciência ambiental, direcionou o país a considerar as energias renováveis como estratégia de desenvolvimento (GALDINO *et al.*, 2009). As políticas apresentadas no Quadro 1, com Ids P24 a P29 são alguns marcos identificados no setor, que incentivam e fortalecem as energias renováveis no Brasil.

A Lei nº12.490/2011 dispõe sobre a política e a fiscalização das

atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis. Complementarmente incentiva o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à energia renovável, à mitigação das emissões de gases intensificadores do efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes [Quadro 1, ID P24].

O Espírito Santo decretou, em 2010, a LEI Nº 9.531 instituindo a Política Estadual de Mudanças Climáticas, PEMC, que estimula o aumento das energias renováveis na matriz dentro e fora do estado. Já em 2013 sancionou o Decreto nº 3.453-R, que dispõe sobre a política estadual de incentivo às energias renováveis, eólica, solar e da biomassa, e outras fontes renováveis, onde já cita o Biogás [Quadro 1, ID P26]. Essas ações incentivam o desenvolvimento da cadeia de suprimentos do setor de energias renováveis, para atendimento das demandas do Estado.

Em 2012, o Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) em conjunto com o Ministério de Minas e Energia atualizou o Atlas de Bioenergia do Brasil. Essa atualização considerou o aproveitamento de resíduos e efluentes urbanos e os resíduos da suinocultura para a produção de biogás (CENBIO, 2012).

O Rio Grande do Sul instituiu em 2016 o Programa Gaúcho de Energias Renováveis (RS Energias Renováveis) [Quadro 1, ID P27]. No mesmo ano o Estado lançou o Atlas da Biomassa ressaltando as biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano.

O estado de Roraima publicou, em 2016, uma lei estadual para incentivo às fontes renováveis no estado, a Lei Nº 1.109 [Quadro 1, ID P28]. Que buscou incentivar o desenvolvimento do setor no Estado e aumentar a contribuição da geração de energia renovável no estado.

Outro marco, na esfera estadual, foi a criação do Programa Piauiense de Incentivo ao Desenvolvimento de Energias Limpas (PROPIDEL), Lei Nº 6.901/2016 [Quadro 1, ID P29]. A PROPIDEL tem por finalidade promover e incentivar a produção e consumo de energia de fontes renováveis e contribuir com o desenvolvimento sustentável do Piauí. Vale ressaltar, que esse programa também já reconhece e nomeia especificamente o biogás como fonte renovável.

Os marcos apresentados nesse tópico, demonstrados na Figura 4, convergem e contribuem com as políticas ambientais, do setor elétrico,

biocombustíveis e, especificamente, para a consolidação do biogás. São políticas que preveem incentivos ao desenvolvimento sustentável, a ampliação e diversificação do setor de energias renováveis, a consolidação do biogás e estimula a redução das emissões de gases de efeito na geração de energia.

Figura 4 - Principais marcos das políticas e regulações voltadas para o setor de energias renováveis.



Fonte: Elaborado com base nas políticas citadas no Quadro 1.

c) Setor Elétrico

A legislação brasileira, até meados dos anos de 1930, era muito generalista abrangendo todos os setores sem definições específicas e diretrizes claras para o setor elétrico do país. A partir de 1933 que o Brasil começou com uma reordenação política e regulatória, e em 1997 foi aprovada a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (ANEEL, 2021a). Vinculada ao

MME, a ANEEL tem como objetivo regular e fiscalizar a geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, além de, implementar políticas e diretrizes e supervisionar os agentes do setor elétrico (ANEEL, 2021b).

Entre 1990 e 2000, o consumo energético do país cresceu cerca de 49% enquanto a capacidade instalada foi expandida em apenas 35% (TOLMASQUIM, 2000). Em 2001 e 2002, o Brasil enfrentou uma grave crise energética causada pela falta de investimentos no setor de transmissão, pela crise hídrica e pela dependência das hidroelétricas na geração de energia no país (PORTAL SOLAR, 2015). As políticas apresentadas no Quadro 1 com IDs P30 a P89 demonstram parte do histórico de como o setor foi se estruturando ao longo dos anos. Essa estruturação é de suma importância para todo o setor elétrico, inclusive para que o biogás e outras fontes renováveis de energia pudessem ser incluídos nas políticas e programas do setor e na própria matriz energética do país.

A geração distribuída (GD) é um termo recente no país, foi mencionada em 2002 e 2004, com a primeira aparição em programas que favorecessem a geração distribuída no país, na Lei nº10.438/2002 [Quadro 1, ID P39] e posteriormente na Lei nº 10.848/2004 [Quadro 1, ID P43]. Ainda em 2004, por meio do Decreto nº 5.163/2004 [Quadro 1, ID P47], foram regulamentadas a comercialização e a caracterização da GD para as distribuidoras.

Em 2008, por meio de uma Chamada Pública da Copel nº 05/2008 e autorizada pela ANEEL na Resolução Autorizativa nº 1.482/2008 [Quadro 1, ID P55], a Unidade Granja Colombari iniciava o processo de comissionamento da primeira unidade do país para injetar e vender o excedente de energia elétrica, a partir do biogás, na rede da Copel. Essa venda de energia foi oficializada por meio de um contrato assinado em 2009 e com duração de 4 anos (FERNANDES, 2012). Com os resultados da estruturação do setor e do monitoramento dessa unidade, foi possível incorporar nas regulamentações do país pequenas unidades geradoras de energia no sistema brasileiro.

O grande marco, da GD e do setor elétrico é a Resolução Normativa nº 482/2012 [Quadro 1, ID P64], alterada pelas resoluções de nº 517/2012 [Quadro 1, ID P66], nº 687/2015 [Quadro 1, ID P75] e a nº 786/2017 [Quadro 1, ID P80]. A 482 trata, atualmente, da compensação de energia elétrica

de mini e micro geradores de energia conectados em Geração Distribuída (GD). Essa normativa permite que o produtor rural faça a compensação de energia gerada na propriedade, ou ainda possa compensar essa energia gerada em outras unidades. Essa normativa tem passado, nos últimos anos, por revisões, atualizações e discussões importantes, que impactam diretamente o setor de biogás e outras fontes renováveis no Brasil.

Ainda dentro desse contexto de GD, o Paraná, por meio da Lei nº 17.188 [Quadro 1, ID P65] instituiu a Política Estadual de Geração Distribuída com Energias Renováveis (GDER) no Estado do Paraná. Além disso, o estado contou com a P68, P70, P84, P86, P87, P88 e P89 para fortalecer o setor de energias renováveis e estabelecer padrões relacionados à GD. Minas Gerais, em 2013, instituiu a Lei nº 20.824 [Quadro 1, ID P67] que prevê a redução do ICMS para projetos, conexões, transporte e geração de energia elétrica a partir do biogás.

Atualmente o país conta com 262 unidades de biogás conectadas em GD (ANEEL, 2021c). A Tabela 6 apresenta o histórico, dos anos de 2014 a 2021, de crescimento de plantas conectadas em GD no Brasil.

Tabela 6 - Histórico da Relação de Unidades de biogás com Geração Distribuída no Brasil.

UF	ANO								Nº Total de UTE/Estado
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	
DF	-	-	1	-	1	-	-	-	2
ES	-	-	-	-	2	-	5	-	7
GO	-	2	-	2	4	3	5	-	16
MA	-	-	-	-	-	1	1	-	2
MG	-	1	17	27	27	33	27	4	136
MS	-	-	-	-	-	3	8	-	11
MT	-	1	1	-	3	8	9	-	22
PE	-	-	1	-	-	3	-	-	4
PR	2	-	4	3	6	1	1	-	17
RJ	-	-	-	-	1	1	4	-	6
RS	-	-	-	-	2	1	3	-	6
SC	-	2	2	-	10	3	1	-	18
SP	-	-	-	2	4	6	1	-	13
TO	-	-	-	2	-	-	-	-	2
TOTAL	2	6	26	36	60	63	65	4	262

Fonte: Adaptado de Aneel, 2021.

Entre os anos de 2016 e 2020 é possível observar um crescimento significativo de unidades de biogás em GD no país. Esse crescimento pode ter relação com alguns fatores:

1º) A publicação do Convênio sobre o ICMS, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) e aos demais Convênios relacionados a essa tributação [Quadro 1, IDs P71, P76, P77, P83], desenhado em consonância a Resolução nº 482/2012. Os Convênios permitiram a isenção do ICMS em relação à geração distribuída e à aquisição de produtos e serviços vinculados a projetos de biogás e biometano, nos estados que aderiram.

2º) A primeira contratação de uma usina de biogás em um leilão de energia elétrica ocorreu em 2016. O projeto da Raízen Geo Biogás, foi contratado para a produção de biogás, a partir de resíduos agrícolas, e geração de energia (RAÍZEN, 2021). Essa contratação trouxe à tona as oportunidades envolvidas no aproveitamento energético de resíduos orgânicos no Brasil.

3º) Em 2018, pela primeira vez, o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE 2027) apresenta a oferta de projetos a biogás na expansão do setor de energia, um acontecimento inédito e importante para o biogás (MME; EPE, E. De E., 2018). Trazendo a pauta biogás para o setor energético do país e dando reconhecimento para a fonte.

4º) Em 2018 uma nova revisão da Resolução nº 482 começou a ser discutida. A ANEEL prevê mudanças impactantes, previstas para essa agenda regulatória, envolvendo a GD, principalmente a respeito das tarifas de uso do fio e diferenciação dos mecanismos de compensação entre os arranjos permitidos. Essas possíveis alterações podem ter implicado no desejo de conectar novas unidades antes das alterações previstas e dar força ao setor para não validação dessas alterações.

5º) O crescimento da estruturação do setor de biogás no país, que promove a disseminação de novos conhecimentos, gera confiança e estimula a instalação de novas unidades no país.

Com essas alterações, o setor de energias renováveis pressionou o Congresso Nacional a aprovar o marco legal da geração distribuída [Quadro 1, ID PML] e trazer segurança e previsibilidade para os consumidores e

empreendedores (ABSOLAR, 2021). A GD insere-se como um importante alicerce do mercado de energia e da economia de baixo carbono. É necessário que este marco legal considere as especificidades valorizando os atributos sistêmicos e as externalidades envolvidas para cada fonte renovável. Falando especificamente do biogás, essas externalidades referem-se ao fato do biogás ser uma fonte de energia não intermitente, o que proporciona uma geração descentralizada e flexível de energia. O Marco Legal, aprovado em janeiro de 2022 [Quadro 1, ID PML], estabelece um período de transição para as novas regras e a manutenção das regras para os atuais consumidores de minigeração e microgeração distribuída, promovendo segurança jurídica e regulatória para o setor.

Na Figura 5 é possível observar os principais destaques do setor elétrico, que embasam a importante estruturação da GD no Brasil.

Figura 5 - Principais marcos das políticas e regulações voltadas para o setor elétrico.



Fonte: Elaborado com base nas políticas citadas no Quadro 1.

d) Biocombustíveis

Dentro do setor de biocombustíveis, recentes políticas têm sido desenvolvidas. O primeiro marco regulatório a ser citado é a Lei nº 6.361/2012, que dispõe sobre a Política Estadual de Gás Natural Renovável (GNR) do Rio de Janeiro [Quadro 1, ID P90]. Nesse contexto, o gás GNR refere-se ao Biometano, obtido pela purificação do biogás. A lei tinha como objetivo incentivar a produção e o consumo do GNR para redução da emissão de GEE, aumento da participação do biocombustível biogás na matriz energética estadual, a destinação adequada e a valoração econômica dos resíduos orgânicos.

Em 2013, São Paulo instituiu o Programa Paulista de Biocombustíveis, por meio do Decreto nº 59.038/2013 [Quadro 1, ID P91]. O programa contemplava explicitamente o biogás como uma das fontes renováveis incentivadas a ampliar a participação nos combustíveis do estado.

No ano seguinte, o Rio de Janeiro, por meio do Decreto nº 44.855/2014, regulamenta a Política Estadual no GNR [Quadro 1, ID P92]. Estipulou e estabeleceu definições quanto às Definição de teto de compra e venda, qualidade do GNR e responsabilidades da concessionária.

Outro marco importante para o setor foi a regulamentação do biometano. Este combustível é oriundo do processo de biodigestão, e, por meio das Resoluções ANP nº 8/2015 [Quadro 1, ID P93] e ANP nº 685/2017 [Quadro 1, ID P95], tornou-se possível o intercâmbio do biometano com o gás natural, e permitido o transporte e venda do biometano em todo o Brasil (ANP, AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, 2020).

Em 2016, o Rio Grande do Sul instituiu a Política Estadual do Biometano, Lei nº 14.864 [Quadro 1, ID P94], e que foi alterada em 2019 pela Lei nº 15.377 [Quadro 1, ID P101]. Trata-se do Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano (RS-GÁS). O Rio Grande do Sul tem apostado no biometano para ampliar a oferta de gás no Estado, estudando o potencial de aproveitamento energético de resíduos orgânicos.

Outras definições importantes para o setor de biocombustíveis foram presenciadas na esfera estadual. São Paulo dispõe sobre as condições de distribuição de Biometano na rede de gás canalizado no âmbito de seu estado,

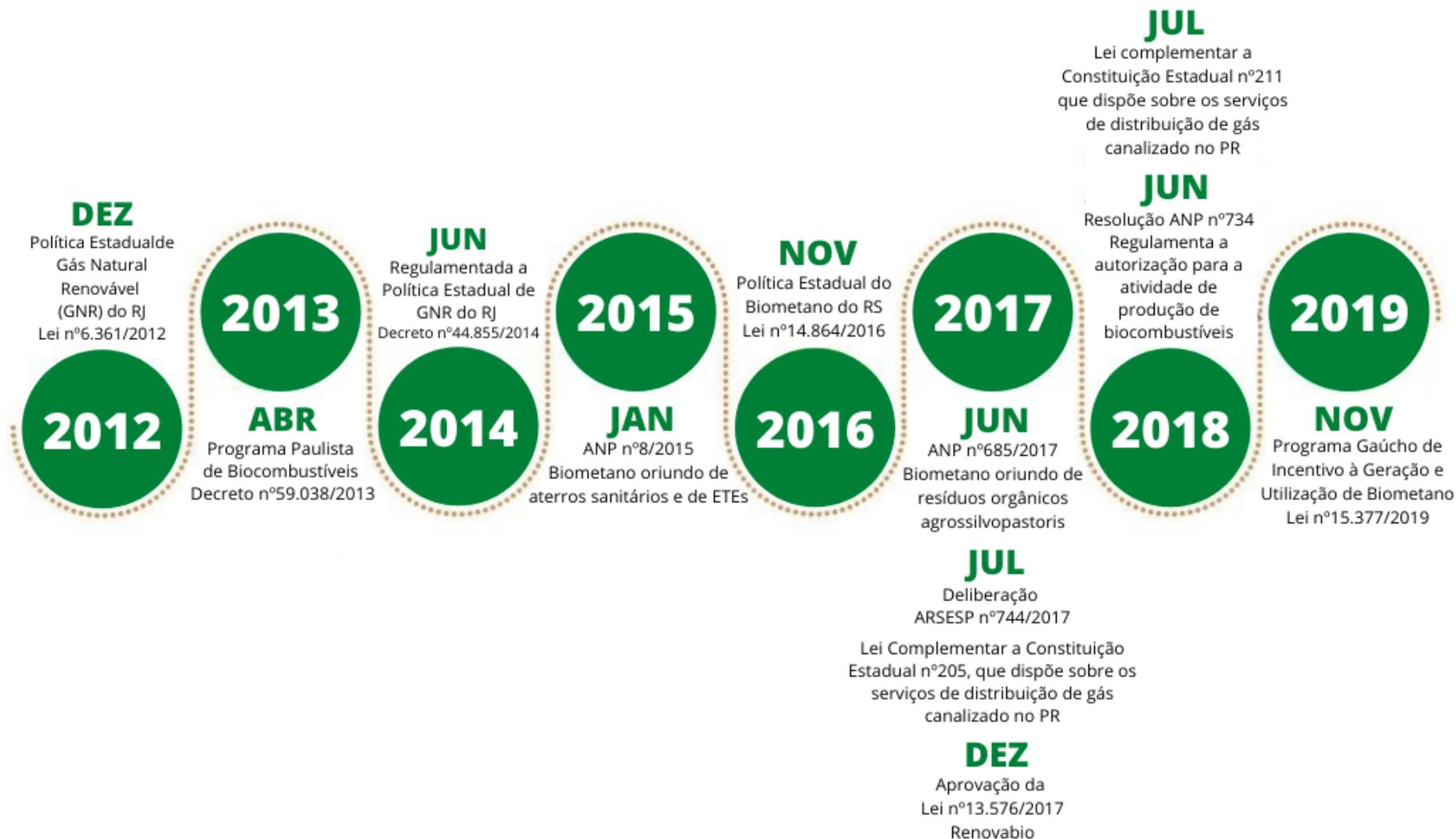
por meio da Deliberação ARSESP nº 744/2017 [Quadro 1, ID P96]. Já o Paraná sancionou a lei complementar à Constituição Estadual, nº 205, que trata sobre os serviços de distribuição de gás canalizado no Estado [Quadro 1, ID P97], e que em 2019 foi alterada pela Lei Complementar nº 211 [Quadro 1, ID P100].

Outra política que está em pauta desde 2017 é a Renovabio, Lei nº 13.576/2017. Esta tem por objetivo ampliar e incentivar a produção de biocombustíveis, além de traçar um planejamento conjunto para reconhecer o papel estratégico de todos os tipos de biocombustíveis na matriz energética brasileira e na redução de gases do efeito estufa (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020).

Apesar de recente, o biometano é considerado uma solução inteligente para gestão de resíduos orgânicos no país. Consequentemente ocorreu o crescimento da demanda de gás no Brasil, que contribuiu para a modernização da matriz energética nacional. As necessidades energéticas do país, as externalidades positivas (ambientais, econômicas e sociais) envolvidas na cadeia do biogás e os marcos regulatórios do setor, têm fomentado a consolidação desse combustível em nosso país.

A Figura 6 compila e resume os principais marcos regulatórios do setor de biocombustível, onde é possível identificar como o biometano tem se destacado ao longo dos últimos 5 anos.

Figura 6 - Principais marcos das políticas e regulações voltadas para o setor de biocombustíveis.



Fonte: Elaborado com base nas políticas citadas no Quadro 1.

e) Políticas que se destinam especificamente ao biogás.

O biogás no Brasil teve sua inserção mais marcante durante a crise do petróleo, tendo o primeiro biodigestor oficialmente instalado em 1979 em Brasília pela Embrater, na Granja do Torto. Esta foi uma experiência que tinha por objetivo demonstrar que era possível instalar uma unidade de baixo custo, para produção de biogás e biofertilizante a partir de resíduos orgânicos (GASPAR, 2003). Em 1982, o governo federal desenvolveu o Programa de Mobilização Energética (PME) que citou o biogás como uma alternativa para complementar o atendimento da demanda dos derivados de petróleo, com a intenção de diminuir a dependência do país dos combustíveis fósseis (CIBIOGÁS, 2020a).

Em 2000, com a estruturação do mercado de créditos de carbono, empresas começaram a dar mais atenção para o biogás, o que incentivou a instalação de diversos biodigestores no Brasil. Contudo, devido à carência de conhecimento e de empresas que realizassem a manutenção dos sistemas, ocorreram diversas dificuldades operacionais dos biodigestores, o que ocasionou abandono e desconfiança da tecnologia (SILVA, J. E. P. Da, 2016). Nos anos de 2001 e 2002, durante a crise dos apagões, o biogás voltou a ser pauta de discussão e a ser cogitado novamente como uma interessante fonte alternativa de energia para o Brasil (GASPAR, 2003).

Dentro do marco regulatório específico para o biogás, segundo o Quadro 1, citamos as P90, P92, P93, P94, P95 e P96, no item de biocombustíveis, que tratam sobre o Biometano. Outras três importantes políticas estaduais foram sancionadas no Brasil: A primeira delas é o Decreto nº 58.659/2012 de São Paulo, que institui o Programa Paulista de Biogás para incentivar e ampliar a participação de energias renováveis na matriz energética do Estado de São Paulo [Quadro 1, ID P102]. A segunda foi a Política Paranaense do Biogás e Biometano, instituída pela Lei nº19.500/2018 [Quadro 1, ID P103]. Em 2018, Santa Catarina instituiu a Política Estadual do Biogás, Lei nº 17.542 [Quadro 1, ID P104], que estabelece definições sobre biogás e fomenta o aproveitamento de biomassa para produção de biogás e biometano.

A Figura 7 compila e resume os principais marcos regulatórios de todo setor de biogás no Brasil. Além disso, também é possível ver o quanto o

setor de biogás tem se estruturado, evoluído e aproveitado as oportunidades técnicas e políticas ao longo dos últimos anos.

Figura 7 - Marcos regulatórios importantes para o setor de biogás.

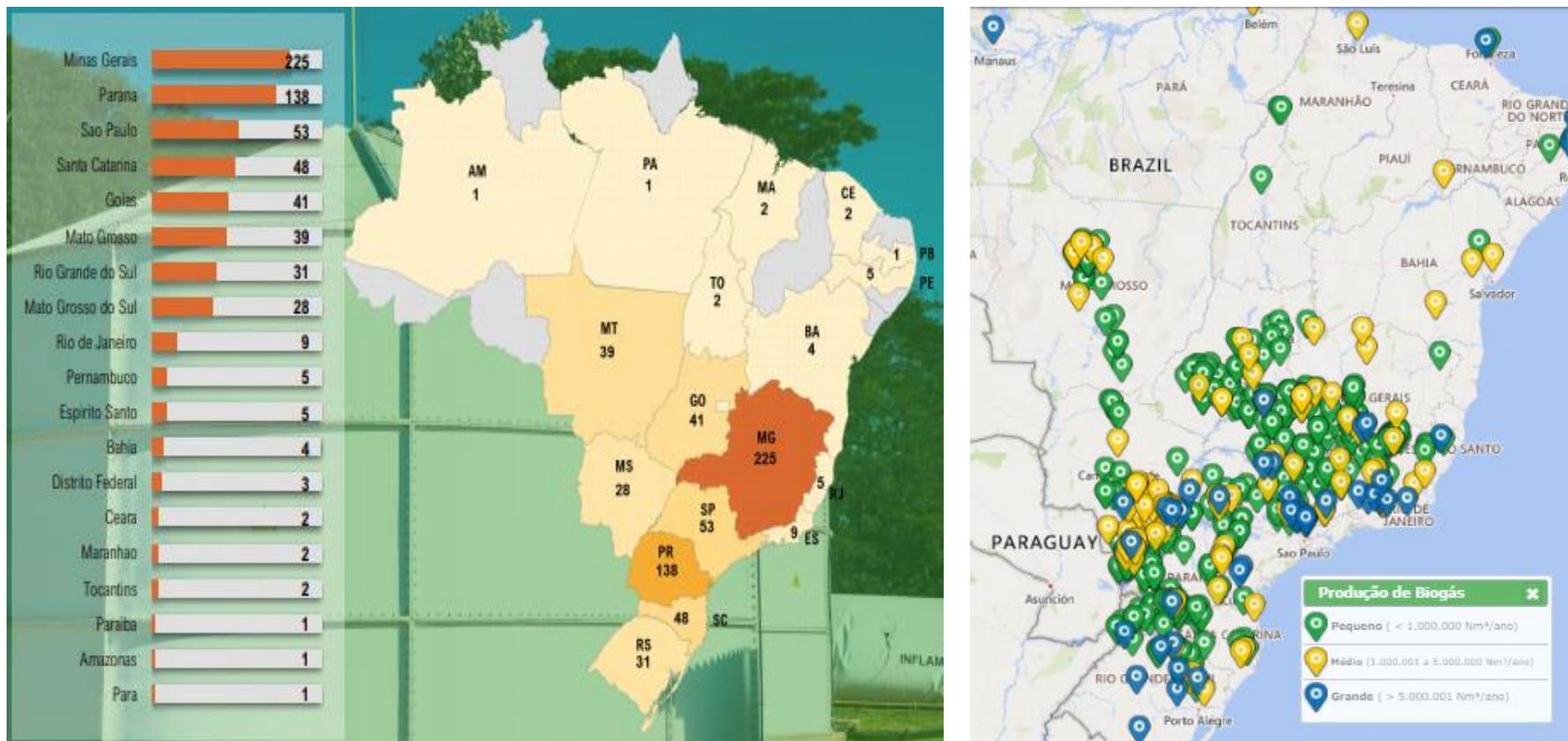


Fonte: Adaptado de Abiogás, 2021 e com base nas informações do Quadro 1.

Atualmente, nota-se que a maior parte das políticas públicas que incentivam o biogás no Brasil, não foram criadas exclusivamente para promover a produção e uso energético dessa fonte. Contudo, as políticas apresentadas no Quadro 1 e na Figura 4 são precursoras para o desenvolvimento das recentes políticas de biogás. Além disso, vemos que diversos setores e segmentos já têm incluído o biogás nas diretrizes, normas e no planejamento do setor energético do país.

Dentre os estados que se destacam no fomento de biogás estão o Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, com iniciativas específicas e/ou direcionadas em prol deste energético. Observa-se que nestes estados há uma quantidade maior de plantas de biogás instaladas que realizam o aproveitamento energético da fonte, conforme Figura 8 que apresenta as plantas de biogás no Brasil. Esta iniciativa, chamada BiogasMap (CIBIOGÁS, 2021a), é um importante instrumento para comprovação tecnológica, disseminação de conhecimentos, a consolidação de novos empreendimentos e até mesmo para o desenvolvimento de políticas públicas.

Figura 8 - a) Distribuição das plantas de biogás com fim energético em operação no Brasil em 2019. b) Localização das plantas de biogás em operação no Brasil.



Fonte: a) CIBiogás, 2021; b) CIBiogás, 2021.

O CIBiogás tem realizado um levantamento anual para identificar as plantas de biogás com uso energético da fonte. Até o final de 2020, havia 638 unidades em funcionamento, sendo o setor de resíduos urbanos o responsável por 73% do montante total de biogás produzido, com apenas 57 plantas em operação (CIBIOGÁS, 2020b). Outra observação interessante deste estudo é que 85% do total de unidades em operação, optam por gerar energia elétrica, o que aponta para a necessidade de desenvolver questões tecnológicas, de conhecimento, regulatórias e normativas para toda a cadeia deste setor.

A produção de biometano tem se destacado em algumas regiões do Brasil, como é o caso do Sudeste, Sul e Nordeste do Brasil. O país conta com uma produção total de 334 mil $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$ e o Sudeste se destaca com 313,5 mil metros cúbicos de biogás purificado em 2020 (CIBIOGÁS, 2021b). Ao todo são 15 unidades, que realizam a produção e uso do biometano, sendo que 7 unidades entraram em operação em 2020. O biometano tem latente crescimento no Brasil e os setores já têm observado as oportunidades desse energético, mas está longe de atingir as estimativas realizadas pela Abiogás que prevê um potencial de 177 milhões de m^3 de biometano sendo produzidos por dia (ABIOGÁS, 2020b), ou seja, o país realiza o aproveitamento energético de 0,18% do potencial brasileiro.

Sendo assim, apesar dos avanços, ainda há a necessidade da criação e/ou alteração de políticas, públicas e privadas, e regulamentações que considerem as externalidades e particularidades do biogás. Que criem um ambiente favorável para o desenvolvimento, crescimento e consolidação da fonte em todo o Brasil.

Exemplos de iniciativas e mecanismos que podem ser melhorados e desenvolvidos com foco no biogás são: a) Linhas de crédito que considerem as particularidades do biogás no acesso ao crédito; b) Implementação de incentivos fiscais para os produtores e consumidores de biogás; c) Regulamentações que considerem as especificidades do biogás em relação aos substratos utilizados (tecnologias, porte das unidades, aplicações energéticas, e sinergia com os diferentes substratos, inclusive de outras fontes renováveis de energia); d) Realização de projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (P&D) em biogás.

Atualmente, existem diversos bancos e agências de

financiamento que estão disponíveis para financiamento de projetos, que abrangem a fonte biogás, com condições mais atrativas. A seguir, são apresentados alguns desses bancos e agências de fomento que disponibilizam mecanismos e linhas de financiamento para projetos no Brasil, instituições nacionais e internacionais.

- Banco Nacional de Desenvolvimento (BNDES);
- Banco Regional do Extremo Sul (BRDE);
- Fundo de Desenvolvimento do Centro-Oeste (FDCO);
- Banco do Nordeste (BNB);
- Banco do Brasil (BB);
- Banco de Fomento do Estado do Espírito Santo (BANDES);
- Banco de Desenvolvimento de Minas Gerais (BDMG);
- Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF);
- Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP)
- Banco de Desenvolvimento da América Latina (CAF);
- Banco Europeu de Investimento (EIB);
- Banco Inter Americano de Desenvolvimento (IDB);
- Agência Francesa de Desenvolvimento (Proparco).

Mariani (MARIANI, 2018) relata que, embora existam várias iniciativas que incentivem o uso energético do biogás no país, é essencial que informações sobre o setor estejam organizadas e disponibilizadas. Pois, servirão para o desenvolvimento de políticas públicas que tornem as tecnologias envolvidas no processo viáveis, até que seus custos de implementação sejam absorvidos pelo mercado. Neste sentido, algumas instituições que têm atuado e contribuído para publicação e organização de conhecimentos sobre o setor de biogás, além do aproveitamento energético da fonte e incentivos na destinação adequada de resíduos, são:

- Abiogás
- Abrelpe
- CIBiogás;
- Diaconia;

- EPE;
- Embrapa;
- Itaipu;
- Sebrae;
- Unido/GEF;
- Instituto 17.

5.2 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS DO RSU NO BRASIL

O setor de Resíduos Sólidos Urbanos, no Brasil, apresenta diversos gargalos e desafios a serem superados, principalmente a respeito dos impactos gerados com a disposição irregular dos RSU, e os custos de investimento atrelados ao uso das tecnologias necessárias para o cumprimento das metas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (IPEA, 2021). Ainda de acordo com o PNRS, o Brasil teria até o ano de 2075 para realizar as adequações necessárias e/ou desativar lixões e aterros controlados, rumo a destinação mais adequada de resíduos.

Considerando que os RSU são gerados constantemente pela população e que apesar dos aterros sanitários serem considerados a forma mais barata, esses podem ser utilizados como matéria prima na geração de energia. Comparada a outras tecnologias, para se destinar o RSU produzido, os sistemas de biodigestão são uma das alternativas apresentadas no PNRS para realizar a destinação mais adequada e o aproveitamento energético de resíduos orgânicos.

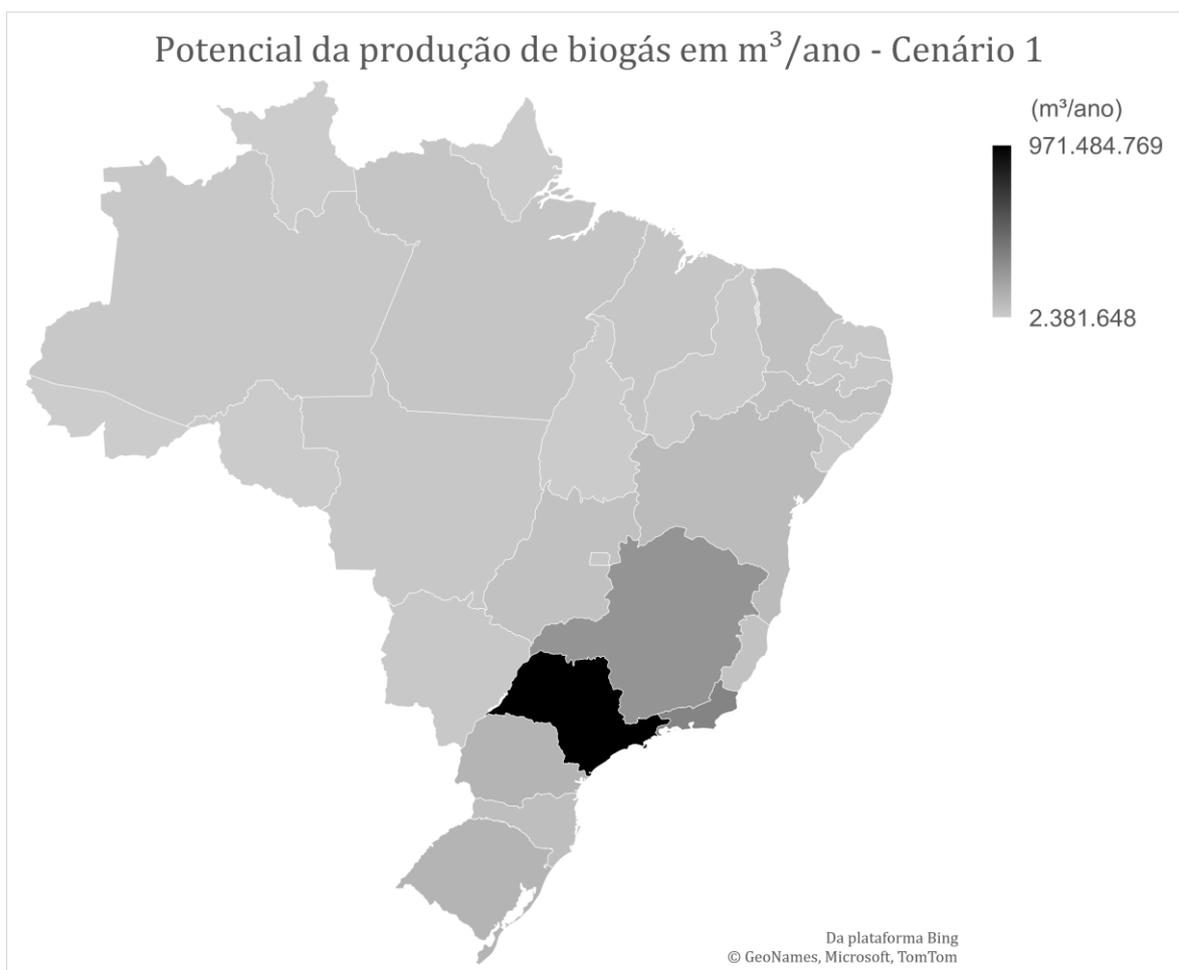
O volume de RSU gerado, bem como sua composição dependem principalmente dos fatores econômicos, sociais, culturais e climáticos de cada estado, região e/ou país. Sendo assim, nesta seção são apresentados os resultados das estimativas para o Cenário 1 e 2, considerando as particularidades de cada uma das regiões do Brasil.

a) Estimativas Cenário 1

Este Cenário 1 considerou estimativas para os resíduos que atualmente são coletados e destinados adequadamente para aterros sanitários, e

que estão mais disponíveis e preparados para fazer uma gestão visando a produção de biogás por meio do uso de sistemas de biodigestão. A Figura 9 apresenta o mapa com resultados das estimativas de produção de biogás para este cenário a nível estadual.

Figura 9 - Resultado da estimativa de biogás do Cenário 1 por estado.



Fonte: Elaboração a partir dos dados estimados do RSU gerados e destinados adequadamente no Brasil para aterro sanitário em 2021, segundo o IBGE.

Considerando a fração orgânica do RSU para este cenário, estima-se a produção de aproximadamente 2,45 bilhões de m³ de biogás ao ano no país. A Figura 10 dispõe sobre a representatividade dos estados no potencial de produção de biogás do Brasil com RSU.

Figura 10 - Representatividade dos estados brasileiros na produção de biogás – Cenário 1.

Fonte: Elaboração própria.

A região sudeste é detentora de 66,7% do Brasil, resultado justificado pelo volume populacional e pelo volume de resíduos coletados e destinados adequadamente. O estado de São Paulo se destaca, disparadamente, nesse potencial, detentor de 39,5%, em comparação ao potencial total. Em seguida Rio de Janeiro e Minas Gerais, com 14 e 11%, respectivamente.

Com esse potencial de produção de biogás é possível fornecer energia elétrica para 2,5 milhões de residências ao ano, referente a 3.674 GWh ao ano, considerando o consumo médio respectivo de cada uma das regiões. Além disso, caso esse volume de biogás fosse destinado ao setor de combustíveis seria possível atender o equivalente a 1,6 bilhões de litros de diesel, com o uso do biometano em veículos. A Tabela 7 apresenta essas estimativas por estado.

Tabela 7 - Equivalências Energéticas - Cenário 1.

Estado	Geração de Energia Elétrica (GWh.ano⁻¹)	Residências atendidas ao ano	Equivalente em Diesel (L de Diesel.ano⁻¹)
Acre	6	3.438	2.242.615
Amapá	7	4.132	2.695.252
Amazonas	42	23.955	15.624.235
Pará	61	35.065	22.870.555
Rondônia	12	6.965	4.542.838
Roraima	4	2.410	1.571.888
Tocantins	11	6.486	4.230.106
Alagoas	28	24.163	11.632.244
Bahia	129	112.561	54.187.990
Ceará	86	74.674	35.949.151
Maranhão	48	42.355	20.390.039
Paraíba	34	29.325	14.117.251
Pernambuco	86	75.377	36.287.594
Piauí	24	20.831	10.028.116
Rio Grande do Norte	30	26.176	12.601.211
Sergipe	18	15.996	7.700.740
Distrito Federal	37	21.993	16.052.349
Goiás	85	50.930	37.172.686
Mato Grosso	37	22.406	16.353.749
Mato Grosso do Sul	32	18.927	13.814.174
Espírito Santo	70	47.270	31.565.155
Minas Gerais	394	266.678	178.078.388
Rio de Janeiro	505	341.837	228.266.985
São Paulo	1.418	960.188	641.179.947
Paraná	184	109.602	77.443.388
Rio Grande do Sul	180	107.104	75.678.087
Santa Catarina	107	63.851	45.116.313
TOTAL	3.675	2.514.694	1.617.393.046

Fonte: Elaboração Própria.

Embora seja possível verificar que alguns estados têm elevado potencial para a produção de biogás a partir de RSU, o Brasil possui 48 aterros sanitários que atualmente realizam algum uso energético do biogás (térmico, elétrico ou como biometano) (CIBIOGÁS, 2021a), contudo o país possui em torno de 621 aterros sanitários (SNIS, 2019). Ou seja, muitas unidades têm instalações apropriadas para captar o biogás produzido nas células do aterro sanitário, no entanto, 92% dessas unidades realizam a queima do energético biogás.

O processo de biodigestão com produção e uso energético do biogás é um processo que impacta positivamente nas metas de aquecimento global, possibilitando por exemplo a redução das emissões de GEE (CETESB, 2017). Em 2015, o Brasil assinou o acordo de Paris e se comprometeu a reduzir cerca de 37% das emissões de CO₂ até o ano 2025 (BRASIL, 2020) de um total de 450 milhões de tCO₂ (WORLD POPULATION REVIEW, [s.d.]), ou seja, se comprometeu com a redução de 166 milhões de tCO₂. O volume de biogás estimado neste trabalho equivale à redução de 27,5 MtCO₂e, volume que representa a redução de aproximadamente 2,2% da meta para 2030, sendo o compromisso assumido pelo Brasil de 1,204 GtCO₂e (BRASIL, 2017; OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2020).

b) Estimativas Cenário 2

Este Cenário 2 considerou estimativas para o volume total de resíduos produzidos no Brasil segundo dados da Abrelpe (ABRELPE, 2020), ano base de 2019. Cenário apresentado para demonstrar o potencial total do setor de RSU na produção e uso energético do biogás. A Figura 11 apresenta o mapa com resultados das estimativas de produção de biogás para este cenário a nível estadual.

Figura 11 - Resultado da estimativa de biogás do Cenário 2.



Fonte: Elaboração a partir dos dados estimados do RSU total produzido no Brasil em 2021, segundo o IBGE.

Neste cenário, considerando a fração orgânica do RSU, estima-se a produção de aproximadamente 4,44 bilhões de m³ de biogás ao ano no país. Por meio da Figura 12 é possível observar os estados mais representativos.

Figura 12 - Representatividade dos estados brasileiros na produção de biogás – Cenário 2.

Fonte: Elaboração Própria.

Observa-se que o padrão do potencial encontrado no Cenário 1 se repete no Cenário 2. Neste cenário, a região sudeste também se destaca com 51,7% do potencial do Brasil. Os estados de São Paulo (30%), Rio de Janeiro (10,7%), Minas Gerais (9%) e Bahia (6%) são os estados que se destacam no potencial de produção de biogás no Brasil.

Com esse volume de biogás é possível fornecer energia elétrica para 4,5 milhões de residências ao ano, referente a 9.000 GWh ao ano, considerando o consumo médio respectivo de cada uma das regiões. Além disso, caso esse volume de biogás fosse destinado ao setor de combustíveis seria possível atender o equivalente a 2,9 bilhões de litros de diesel, com o uso do biometano em veículos. A Tabela 8 apresenta essas estimativas por estado.

Tabela 8 - Equivalências Energéticas - Cenário 2.

Estado	Geração de Energia Elétrica (GWh.ano⁻¹)	Residências atendidas ao ano	Equivalente em Diesel (L de Diesel.ano⁻¹)
Acre	26	13.098	8.543.123
Amapá	28	14.017	9.142.184
Amazonas	177	87.594	57.132.138
Pará	292	144.620	94.325.980
Rondônia	56	27.934	18.219.253
Roraima	18	9.065	5.912.467
Tocantins	50	24.599	16.044.403
Alagoas	121	59.781	38.991.024
Bahia	559	277.419	180.942.312
Ceará	390	193.359	126.115.255
Maranhão	277	137.531	89.702.796
Paraíba	141	70.143	45.749.989
Pernambuco	362	179.741	117.233.532
Piauí	126	62.436	40.723.090
Rio Grande do Norte	123	60.999	39.785.430
Sergipe	73	36.300	23.675.912
Distrito Federal	126	62.720	40.908.361
Goiás	289	143.529	93.614.872
Mato Grosso	138	68.543	44.705.933
Mato Grosso do Sul	112	55.323	36.083.688
Espírito Santo	143	71.057	46.345.609
Minas Gerais	823	408.387	266.364.701
Rio de Janeiro	975	483.825	315.567.519
São Paulo	2.736	1.357.247	885.244.553
Paraná	357	176.966	115.423.328
Rio Grande do Sul	347	172.154	112.284.772
Santa Catarina	205	101.851	66.430.598
TOTAL	9.072	4.500.236	2.935.212.820

Fonte: Elaboração Própria.

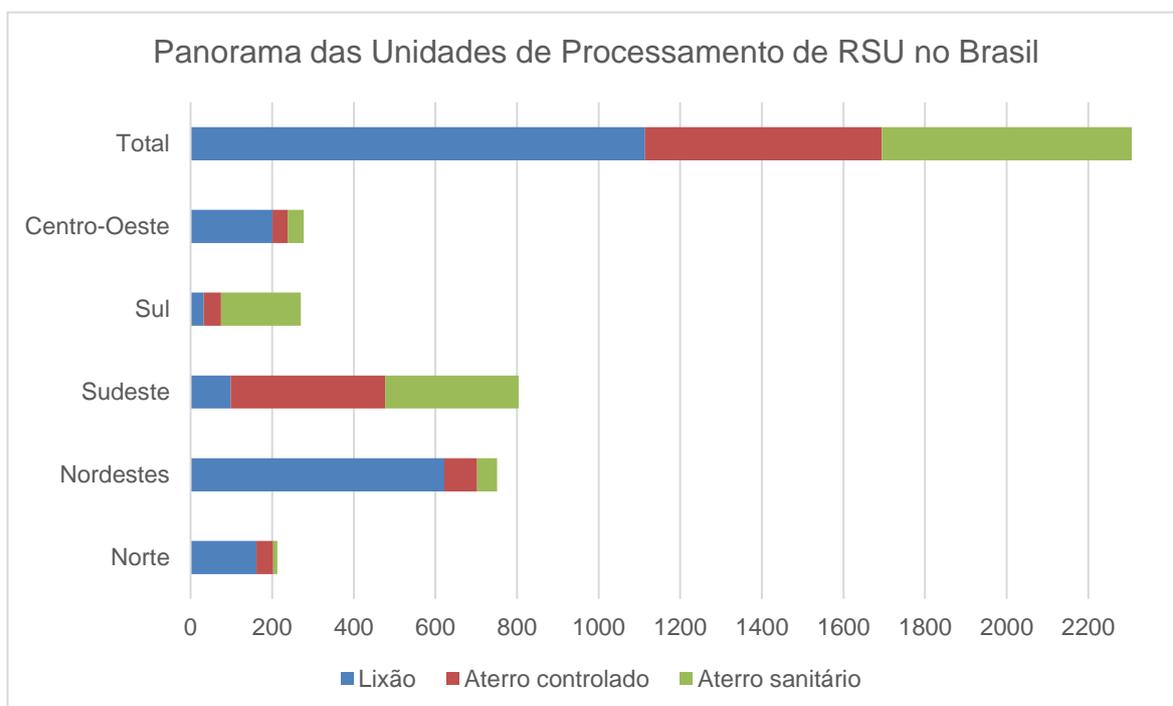
O volume de biogás estimado neste trabalho equivale à redução de 50 MtCO_{2e}, volume que representa a redução de aproximadamente 4% da meta assumida pelo Brasil para o ano de 2030.

Sendo assim, observa importante relevância do setor de saneamento do país no cumprimento da PNRS e as oportunidades envolvidas no âmbito energético, uma vez que em todo o território nacional há a produção dessa matéria prima.

5.3 PANORAMA DO SETOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL

Atualmente o país tem um considerável percentual dos resíduos sólidos sendo destinados para aterros controlados ou lixões. Em 2019, 1.114 lixões e 580 aterros controlados ainda estavam em plena operação no Brasil, e, contando com 621 aterros sanitários. A Figura 13 apresenta o panorama por região da situação da destinação de RSU no país por região.

Figura 13 - Panorama dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.



Fonte: SNIS, 2019.

Dos 5.570 municípios brasileiros, Norte e Nordeste são as regiões que ficam na lanterna, depositando a maior parte dos resíduos em locais inadequados. Os dados expressam a triste realidade do país com a gestão de RSU, dificuldades e gargalos que precisarão ser superados ou amenizados ao longo dos próximos anos. A produção e uso do biogás a partir da fração orgânica do RSU é uma alternativa para o gerenciamento adequado de resíduos sólidos no Brasil, processo que permite a reciclagem de outros materiais além dos resíduos orgânicos.

5.4 BARREIRAS PARA O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS ORIUNDO DE RSU

Com base nas pesquisas realizadas e na análise de dados sobre as políticas, regulações e o potencial de produção de biogás no Brasil a partir da fração orgânica de RSU, foi possível levantar os entraves envolvidos no setor². A seguir listam-se gargalos envolvidos e que necessitam ser superados para o desenvolvimento do biogás do saneamento no Brasil:

- a) Baixa disseminação dos casos de sucesso no aproveitamento energético;
- b) Falta de políticas e regulamentações específicas que incentivem a utilização de soluções que realizem o aproveitamento energético dos RSU;
- c) Falta de informação e pouca disseminação de dados sobre o potencial de produção de biogás que poderia ser aproveitado a curto prazo;
- d) Falta de empresas, de equipamentos e prestadoras de serviços, qualificadas para atender as necessidades deste setor;
- e) Baixa disponibilidade de profissionais capacitados para atuarem na frente técnica, educacional, estratégica e política;
- f) Falta de clareza sobre linhas de financiamento disponíveis para projetos voltados para a produção e aproveitamento energético do biogás;
- g) Baixo desenvolvimento de projetos de P&D voltados para criar modelos de negócios para esse segmento;

² Dentre as publicações analisadas estão: Barreiras e Propostas de Soluções para o Mercado de Biogás no Brasil da Probiogás (GIZ, 2016) e Proposta de Programa Nacional de Biogás da Abiogás (ABIOGÁS, 2018).

- h) Pouco envolvimento do setor de pesquisa no desenvolvimento de ações aplicáveis, e tecnicamente viáveis, para as demandas reais para aproveitamento energético do biogás de RSU;
- i) Falta de estrutura no sistema elétrico atual, que está centralizado e dependente principalmente da fonte hídrica;
- j) Altos custos envolvidos na destinação adequada dos RSU;
- k) Falta de agendas estratégicas nacionais para dialogar sobre a temática;
- l) Poucos incentivos fiscais explorados para projetos dessa origem.

Apesar das dificuldades levantadas, oportunidades relacionadas aos gargalos e ao aproveitamento do potencial oferta de biogás foram identificadas como:

- a) Desenvolvimento de estudos técnicos do potencial de curto prazo para embasar, tomadores de decisão e investidores, a consolidar projetos futuros;
- b) Aumento do desenvolvimento e da oferta de cursos profissionalizantes para qualificação de profissionais;
- c) Envolvimento das universidades com empresas do setor de saneamento na busca de desenvolverem estudos e protótipos voltados ao atendimento das necessidades do mercado;
- d) Possibilidade de desenvolver consórcios intermunicipais entre municípios e projetos de intercooperação com outros setores, para desenvolvimento de projetos de aproveitamento energético de resíduos que não teriam viabilidade sozinhos;
- e) Descentralização do fornecimento de energia de municípios;
- f) Possibilidade de aumentar a competitividade do setor de saneamento e de fornecedores de produtos e serviços para este segmento.

Os maiores desafios para o aproveitamento energético do biogás estão ligados ao desenvolvimento de ações do setor privado, governamental, instituições de pesquisa e desenvolvimento, que dificultam a estruturação política, social, ambiental, econômica e técnica do biogás no Brasil.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho visa apoiar planejadores do setor energético, entidades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico, órgãos reguladores, investidores e financiadores, apresentando oportunidades para o desenvolvimento energético sustentável da cadeia produtiva do biogás, e, difundir e centralizar conhecimentos e dados sobre a fonte biogás no setor de RSU.

A população nacional tende a crescer 28% até 2050 (UNITED NATIONS, 2017). Este número mostra a necessidade em apresentar alternativas para destinação adequada e que vise o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos produzidos. O monitoramento de plantas de biogás em operação no Brasil corrobora para a estruturação do setor de saneamento para o aproveitamento energético da fonte, pois permite avaliar o crescimento e analisar a necessidade de realizar melhorias de políticas específicas para o uso dessa fonte alternativa.

O crescimento de plantas de biogás com uso energético no país pode alertar o setor de saneamento para o aproveitamento energético da fonte e trazer benefícios para a sociedade, com a diversificação das fontes alternativas e a descentralização na geração, com o desenvolvimento da cadeia de fornecedores e prestadores de serviços, bem como o desenvolvimento e geração de empregos diretos e indiretos. Para o meio ambiente, potencializa a redução de impactos ambientais devido a emissão de gases de efeito estufa, redução de impactos no solo e na água, devido a destinação mais adequada dos resíduos sólidos orgânicos e por permitir melhor reciclagem de outros resíduos.

Embora o potencial de 2,45 bilhões de biogás ao ano, o que representa o atendimento de 2,5 milhões de residências com energia elétrica ao ano, apontem para oportunidades sociais, ambientais e econômicas, por meio da produção e uso energético do biogás a partir de resíduos orgânicos de origem urbana, existem desafios para a implantação de sistemas de produção e aproveitamento energético do biogás oriundo do RSU. As políticas dos setores de clima, meio ambiente, energias renováveis e elétrico do país dão sustentação para a produção e aproveitamento energético do RSU, ainda é necessário o desenvolvimento, criação ou ampliação das políticas públicas e privadas que

apoiam, estimulem, regulem e facilitem a adoção de técnicas e processos que aumentem, especificamente, a produção e uso do biogás na geração de energia, além disso, é fundamental o desenvolvimento de estudos e de novas tecnologias para a mitigação das barreiras, expansão e consolidação do setor.

Os dados e informações apresentadas neste estudo servem como base para fundamentar novas estratégias e ações práticas para o destravamento da produção e uso energético do biogás a partir do RSU no Brasil, e novos estudos devem ser desenvolvidos para subsidiar o setor de saneamento.

Ainda há a necessidade de avaliar, a nível estratégico, como esse potencial poderia ser aproveitado a curto e médio prazo visando o atendimento das metas de universalização do saneamento no Brasil, a fim de já aproveitar nos municípios brasileiros a matéria prima que tem sido desperdiçada. Além disso, vale o aprofundamento de estudos para avaliar o potencial de produção de biogás em aterros sanitários que já realizam a captação do biogás, mas que em alguns casos realizam a queima do metano, sem uso energético da fonte biogás.

REFERÊNCIAS

- ABIOGÁS, A. B. Do B. **PNBB: Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano**. ABIOGÁS. Disponível em: <http://www.abiogas.org.br/%0Ahttps://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2021/01/PNBB_Versao_Final.pdf>.
- _____. **Nota Técnica - Abiogás: O potencial brasileiro de biogás**. São Paulo/SP, Brasil: ABIOGÁS, 2020a. Disponível em: <https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2020/11/NOTA-TECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf>.
- _____. **Biogás no Brasil: conhecendo o mercado no país**. ABiogás. ABIOGÁS. Disponível em: <<https://abiogas.org.br/biblioteca/>>.
- ABRELPE, A. B. De E. De L. P. E R. E. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE**. ABRELPE. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>.
- ABSOLAR. O que pensamos – REN 482. 2021. Disponível em: <<http://www.absolar.org.br/deixeasolarcrescer/o-que-pensamos-ren-482/>>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- ALLONDA. Conheça as vantagens do biogás. **Allonda**, 2021. Disponível em: <<https://allonda.com/sustentabilidade/conheca-as-vantagens-do-biogas/>>. Acesso em: 15 abr. 2020.
- ANEEL, A. N. De E. E. Breve histórico da regulação antes da ANEEL. **ANEEL**, 2021a. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/historico>>. Acesso em: 8 mar. 2021.
- ANEEL, A. N. De E. E. Bem-vindo à ANEEL! 2021b. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/a-aneel>>. Acesso em: 9 mar. 2021.
- ANEEL, A. N. De E. E. Geração distribuída UTE - Biogás. **ANEEL**, 2021c. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/scg/gd/gd_fonte_detalhe.asp?Tipo=2>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- ANP, AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, G. N. E B. **Resolução ANP Nº 685 DE 29/06/2017**. ANP.
- _____. Biometano. **ANP**, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biometano>>. Acesso em: 20 fev. 2020.
- BARROS, T. D. Biogás - Equivalências. **AGEITEC**, 2021. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn102wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html>>. Acesso em: 14 abr. 2021.
- BLEY JR., C. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e Ambientais**. 2ª Edição ed. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, 2009.
- BLEY JÚNIOR, C. **Biogás: a Energia Invisível**. 2ª Edição ed. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 2015.

BRASIL. **Promulga o Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, celebrado em Paris, em 12 de dezembro de 2015, e firmado em Nova Iorque, em 22 de abril de 2016.** Presidência da República.

BRASIL. **Apresentação da Contribuição Nacionalmente Determinada do Brasil perante o Acordo de Paris. Ministério das Relações Exteriores.** Ministério das Relações Exteriores. Disponível em: <https://www.gov.br/mre/pt-br/canais_atendimento/imprensa/notas-a-imprensa/2020/apresentacao-da-contribuicao-nacionalmente-determinada-do-brasil-perante-o-acordo-de-paris>.

CAMILO, N. C. **Viabilidade técnica e econômica para implantação de um condomínio de agroenergia na microbacia de lajeado grande - Toledo – PR.** UDC.

CARVALHO, L. W. **Identificação do potencial hidroenergético da bacia São Francisco Verdadeiro e simulação de cenários energéticos.** Faculdade União das Américas.

CASTRO, N. J. De *et al.* A Importância das Fontes Alternativas e Renováveis na Evolução da Matriz Elétrica Brasileira. **V Seminário de geração e Desenvolvimento Sustentável. Fundación MAPFRE**, 2009. p. 1–31. Disponível em: <[http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/artigos/GESEL_-_Estudo_Mapfre_-_260809\[1\].pdf](http://www.nuca.ie.ufrj.br/gesel/artigos/GESEL_-_Estudo_Mapfre_-_260809[1].pdf)>.

CEBDS, C. E. B. Para O D. S. O que é o Acordo de Paris? 2019. Disponível em: <<https://cebds.org/o-que-e-o-acordo-de-paris/#>>. Acesso em: 3 mar. 2021.

CENBIO, C. N. De R. Em B. **Atlas de Bioenergia do Brasil.** CENBIO. Disponível em: <<http://143.107.4.241/download/atlasbiomassa2012.pdf>>.

CEPAL; FAO; IICA. **Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural de las Américas 2017-2018.** 1ª edição ed. San José-CR: IICA, 2017.

CETESB, C. A. Do E. De S. P. Energias renováveis e eficiência energética são metas para o Brasil. **cetesb**, 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/2017/06/05/energias-renovaveis-e-eficiencia-energetica-sao-metas-para-o-brasil/>>.

CIBILOGÁS, C. I. De E. R.-B. **Conceitos básicos e digestão anaeróbia. Curso de Biogás: fundamentos e aplicações do CIBiogas.** Foz do Iguaçu: CIBiogas, 2018.

_____. Biogás no Brasil, história e perspectiva de futuro. **CIBiogas**, 2020a. Disponível em: <<https://cibiogas.org/blog-post/biogas-no-brasil-historia-e-perspectiva-de-futuro/>>. Acesso em: 20 fev. 2021.

_____. **Nota Técnica: N° 002/2010 – Panorama do Biogás no Brasil em 2019.** CIBiogas. Disponível em: <<https://biblioteca.cibiogas.org/biblioteca/notatecnica/pdf/panorama-do-biogas-no-brasil-em-2019.pdf>>.

_____. BiogasMap. **CIBiogas**, 2021a. Disponível em: <<https://mapbiogas.cibiogas.org/>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

_____. **Nota Técnica: N° 001/2021 – Panorama do Biogás no Brasil 2020.** CIBiogas.

CIPAF, C. De I. Y D. T. Para La P. A. F.; INTA. **Energías Renovables para el Desarrollo Rural**. (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Org.). CIPAF. Disponível em: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-energia_renovable.pdf>.

CORDANI, U. G.; MARCOVITCH, J.; SALATI, E. Avaliação das ações brasileiras após a Rio-92. **Estudos Avançados**, 1997. v. 11, n. 29, p. 399–408. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/8988/10540>>.

CRISPIM, J. E. **Considerações sobre produção de energia no Brasil**.

DALPAZ, R. **Avaliação energética do biogás com diferentes percentuais de metano na produção de energia térmica e elétrica**. Lajeado, Brasil: Universidade do Vale do Taquari - Univates, 2019.

DESCLAUX, L. **Desafios para o desenvolvimento do biogás no Brasil: a importância da coordenação na formulação de políticas públicas e na regulação**. [S.l.]: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <[https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPED/Dissertacao/2019/Laurene Desclaux.pdf](https://www.ie.ufrj.br/images/IE/PPED/Dissertacao/2019/Laurene%20Desclaux.pdf)>.

DEUBLEIN, D.; TEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources. An Introduction**. Alemanha: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2008. V. 4.

DUARTE, D. V. D. **Biogás no Brasil : Desafios à Implementação do Biogás Gerado a Partir de Biomassa de Origem Animal**. [S.l.]: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <[https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/4690/1/Monografia Diego Dias Victoria Duarte - Biogás no Brasil.pdf](https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/4690/1/Monografia%20Diego%20Dias%20Victoria%20Duarte%20-%20Biog%C3%A1s%20no%20Brasil.pdf)>.

EBA, E. B. A. **European Biogas Association Annual report 2017**. Disponível em: <<https://issuu.com/european-biogas/docs/annual-report-2017->>. Acesso em: 20 out. 2019.

EPE, E. De P. E. Matriz Energética e Elétrica. 2020. **EPE**, 2020a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

_____. **Balanco Energético Nacional 2020: Ano base 2019**. EPE. EPE.

_____. **Resenha Mensal - Janeiro 2020**. EPE. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-510/Resenha Mensal - Janeiro 2020_v4.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-510/Resenha%20Mensal%20-%20Janeiro%202020_v4.pdf)>.

ESPARTA, A. R. J.; LUCON, O. S.; UHLIG, A. Energia renovável no Brasil. **X Congresso Brasileiro de Energia - CBE**, 2004. v. 10, p. 2221. Disponível em: <<http://www.iee.usp.br/sites/default/files/biblioteca/producao/2004/Trabalhos/Esparta-energia.pdf>>.

FERNANDES, D. M. Biomassa e biogás da suinocultura. 2012. p. 211. Disponível em: <[http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/821/1/Dangela Maria Fernandes.pdf](http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/821/1/Dangela%20Maria%20Fernandes.pdf)>.

GAHB, G. A. H. De B. Do; MERCOSUL; CIBIOGÁS. **Relatorio de Biogas e Biometano do Mercosul**. 1ª Edição ed. Foz do Iguaçu: CIBiogás, 2017.

GALDINO, M. *et al.* O Contexto das Energias Renováveis no Brasil. **Revista da**

DIRENG, 2009. p. 17–25. Disponível em:

<<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Direng.pdf>>.

GASPAR, R. M. B. L. **Propriedades Rurais Com Ênfase Na Agregação De Valor : Um Estudo De Caso Na Região De Toledo-Pr Propriedades Rurais , Com Ênfase Na Agregação De Valor : Um Estudo De Caso Na Região De Toledo-Pr**. UFSC. Disponível em:

<<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85585/224646.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. **Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006. p. Atlas de 2 0 1 3. (n.d.). International Energy Age. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100021&script=sci_arttext>.

GIZ. **Barreiras e Propostas de Soluções para o Mercado de Biogás no Brasil**. Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

GOMES, R. D. M.; JANNUZZI, G. D. M. **Pesquisa & Desenvolvimento de Interesse Público e as Reformas no Setor Elétrico Brasileiro Pesquisa & Desenvolvimento de Interesse Público e as Reformas no Setor Elétrico Brasileiro**. [S.l.]: Universidade Federal de Campinas, 2003. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/TeseRodolfo.pdf>>.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: Impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciencia e Saude Coletiva**, 2012. v. 17, n. 6, p. 1503–1510.

IBGE, I. B. De G. E E. **População Brasil - tabela6579**. IBGE.

IDB, I.-A. D. B. **From Structures to services: The path to better infrastructure in Latin America and the Caribbean**. IDB.

IEA, I. E. A. Fornecimento total de energia (TES) por fonte, Mundo 1990-2018. 2020. Disponível em: <[https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy supply&indicator=TPESbySource](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TPESbySource)>. Acesso em: 25 nov. 2019.

IPEA, I. De P. E. A. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. **ipea**, 2021. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>>.

IRENA, I. R. E. A. **Renewable Energy Market Analysis: Latin America**. Irena. IRENA. Disponível em: <https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_Market_Analysis_Latin_America_2016.pdf>.

JOHNSON, É. C. **O Etanol Como Alternativa Energética E Sua Consolidação Na Política Externa Brasileira**. Brasília: Universidade de Brasília, 2010. Disponível em:

<https://www.bdm.unb.br/bitstream/10483/1036/1/2010_ErikaCruzJohnson.pdf>.

JUNIOR, C. L. D. O. **Energia fotovoltaica, sustentável e viável para**

consumidor residencial. FACULDADE DE EDUCAÇÃO E MEIO AMBIENTE. ARIQUEMES – RO. FAEMA. Disponível em:

<[http://repositorio.faema.edu.br/bitstream/123456789/2791/1/ENERGIA FOTOVOLTAICA%2C SUSTENTÁVEL E VIÁVEL PARA CONSUMIDORES RESIDENCIAIS - Assinado Thiago e Hugo e João %281%29.pdf](http://repositorio.faema.edu.br/bitstream/123456789/2791/1/ENERGIA_FOTOVOLTAICA%2C_SUSTENTÁVEL_E_VIÁVEL_PARA_CONSUMIDORES_RESIDENCIAIS_Assinado_Thiago_e_Hugo_e_João_%281%29.pdf)>.

KARLSSON, T. *et al.* **MANUAL BÁSICO DE BIOGÁS 1ª edição.** Lajeado: https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/71/pdf_71.pdf, 2014.

KONRAD, O. *et al.* Enhancing the analytical capacity for biogas development in Brazil: Assessment of an original measurement system for low biogas flow rates out of agricultural biomass residues. **Engenharia Agrícola**, 2016. v. 36, n. 5, p. 792–798. Disponível em:

<https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162016000500792>.

KRELL, A. J.; CASTRO E SOUZA, C. B. DE. **A sustentabilidade da matriz energética brasileira: o marco regulatório das energias renováveis e o princípio do desenvolvimento sustentável.** *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*. [S.l.]: [s.n.], 2020.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. Do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.** 1ª edição ed. Concórdia-SC: Embrapa suínos e Aves, 2019.

LEÓN, E.; MARTÍN, M. Optimal production of power in a combined cycle from manure based biogas. **Energy Conversion and Management**, 2016. v. 114, p. 89–99.

LIMA, I. C. M. De A. **Perspectivas e propostas para a expansão do biogás no brasil: uma análise de políticas públicas.** Rio de Janeiro/RJ, Brasil: UFRJ, 2020. ISBN 9789896540821. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/IsabelaLima-_Mestrado.pdf>.

LUMI, M. *et al.* Potencial de geração de biogás a partir da suplementação de óleo de babaçu em dejetos de animais. **Ciência e Natura**, 2015. v. 37, n. 3.

MARIANI, L. *et al.* Políticas públicas e privadas de incentivo ao uso do biogás na matriz energética brasileira. **IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético**, 2014. n. February 2016, p. 1–12.

_____. **Biogás : diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil.** [S.l.]: [s.n.], 2018. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/333144/1/Mariani_Leidiane_D.pdf>.

MÁTTAR, J.; RIFFO PÉREZ, L. Notas sobre el desarrollo regional en América Latina y el Caribe y los desafíos para el cambio estructural con igualdad. **Ipea**, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6312>>.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **RenovaBio.** 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/renovabio>>. Acesso em: 13 mar. 2021.

MME, M. De M. E E.; EPE, E. De E. **Plano Decenal de Expansão de Energia**

2027. EPE. Disponível em: <file:///C:/Users/Jessica Yuki/Downloads/PDE 2027_aprovado_OFICIAL.pdf>.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **NDC e “pedalada” de carbono: como o Brasil reduziu a ambição de suas metas no Acordo de Paris.** Observatório do Clima.

OLADE, O. L. De E. **Boletim: Conoce 13 hitos importantes que conforman la Declaración de Lima de la XLIX Reunión de Ministros de Olade.** OLADE. Disponível em: <<http://extranet.olade.org/ministros/xlix-reunion-ministros/>>.

PETROBRAS-BR. Fontes de Energia. 2019a. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

_____. Outras Fontes de Energia. 2019b. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/energia-e-tecnologia/fontes-de-energia/>>. Acesso em: 25 nov. 2019.

PNUD, P. Das N. U. Para O D. Brasil. 2021. Disponível em: <<https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/countryinfo.html>>.

PORTAL SOLAR. Crise de Energia: Como se Prevenir? 2015. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/crise-de-energia--como-se-prevenir-.html#:~:text=1°GRANDECRISEDE,energiaelétrica,nopaístodo.&text=Estescortesforçadosforamentãoapelidadosde“apagões”pelaimprensa.>>>. Acesso em: 13 abr. 2021.

RAÍZEN. Raízen e Geo Energética anunciam joint venture para construção de planta de biogás. 2021. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/sala-de-imprensa/raizen-e-geo-energetica-anunciam-joint-venture-para-construcao-de-planta-de-biogas>>. Acesso em: 14 mar. 2021.

ROITMAN, T. **Perspectivas e propostas de inserção de bioquerosene de aviação no transporte aéreo de passageiros no Brasil.** UFRJ. Disponível em: <http://www.ppe.ufrj.br/images/publicações/mestrado/Tamar_Roitman._MESTRADO-2018.pdf>.

SILVA, J. E. P. Da. **Avaliação técnica e econômica de um biodigestor de fluxo tubular: estudo de caso do modelo implantado no ETEC “Orlando Quagliato” em Santa Cruz do Rio Pardo, SP.** UNESP. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/138855/silva_jep_me_bot.pdf;jsessionid=46114607D9945637E631705F9835C90B?sequence=3>.

SNIS, S. N. De I. Sobre S. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2019.** SNIS. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico-SNIS-RS-2019-Capitulo-11.pdf>>.

SOARES, R. Da C.; SILVA, S. R. C. De M. Da. Evolução histórica do uso do biogás como como combustível. Maceió: V CONNEPI, 2010. V. 02, p. 1–6. Disponível em: <<http://www.congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/843/570>>.

SOUZA, C. Políticas Públicas: questões temáticas e de pesquisa. **Caderno CRH**, 2003. n. 39, p. 11–24. Disponível em:

<<https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/2789/1/RCRH-2006-273%5B1%5DADM.pdf>>.

TOLMASQUIM, M. The origins of the Brazilian energy crisis. **Ambiente & Sociedade**, 2000. n. 6–7, p. 179–183. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2000000100012&lng=pt&tlng=pt>.

UNITED NATIONS. World Population Prospects: The 2017 Revision, World Population 2017 Wallchart. **United Nations. Department of Economic and Social Affairs. Population Division**, 2017. p. 1–2. Disponível em: <www.unpopulation.org>.

VGR. Impactos da má gestão dos resíduos sólidos. 2020. Disponível em: <<https://www.vgresiduos.com.br/blog/impactos-da-ma-gestao-dos-residuos-solidos/>>. Acesso em: 2 dez. 2021.

WORLD NUCLEAR INDUSTRY. Status da indústria nuclear mundial em 1º de janeiro de 2019. 2019. Disponível em: <<https://www.worldnuclearreport.org/Updated-World-Nuclear-Industry-Status-as-of-1-January-2019.html>>. Acesso em: 16 dez. 2020.

WORLD POPULATION REVIEW. CO2 Emissions by Country 2021. [s.d.]. Disponível em: <<https://worldpopulationreview.com/country-rankings/co2-emissions-by-country>>. Acesso em: 2 fev. 2021.

WORLDOMETER. População Mundial por Ano. 2020. 2020. Disponível em: <<https://www.worldometers.info/world-population/world-population-by-year/>>. Acesso em: 11 dez. 2020.