

**UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIDADES INTELIGENTES E
SUSTENTÁVEIS**

LETÍCIA MORAIS NERES

**PRODUÇÃO E USO DO BIOGÁS: UM ESTUDO NA REGIÃO METROPOLITANA
DE SÃO PAULO**

São Paulo

2021

LETÍCIA MORAIS NERES

**PRODUÇÃO E USO DO BIOGÁS: UM ESTUDO NA REGIÃO METROPOLITANA
DE SÃO PAULO**

**PRODUCTION AND UTILIZATION OF BIOGAS: A STUDY IN METROPOLITAN
AREA OF SÃO PAULO**

Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Cidades Inteligentes e Sustentáveis.

Orientadora: Profa. Dra. Heidy Rodriguez Ramos

São Paulo

2021

FICHA CATALOGRÁFICA

Neres, Leticia Moraes.

Produção e uso do biogás: um estudo na região metropolitana de São Paulo. / Leticia Moraes Neres. 2021.

81 f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2021.

Orientador (a): Prof^ª. Dr^ª. Heidy Rodriguez Ramos

1. Biogás. 2. Matriz energética. 3. Barreiras. 4. Soluções. 5. Cidades inteligentes.

I. Ramos, Heidy Rodriguez.

II. Titulo.

CDU 711.4

**PRODUÇÃO E USO DO BIOGÁS: UM ESTUDO NA REGIÃO METROPOLITANA
DE SÃO PAULO**

POR

LETÍCIA MORAIS NERES

Projeto de Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Cidades Inteligentes e Sustentáveis da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Cidades Inteligentes e Sustentáveis.

Profa. Dra. Heidy Rodriguez Ramos – Universidade Nove de Julho – UNINOVE

Profa. Dra. Andreza Portella Ribeiro – Universidade Nove de Julho – UNINOVE

Prof. Dr. Diego de Melo Conti – Pontifícia Universidade Católica de Campinas – PUC
CAMPINAS

São Paulo, 25 de junho de 2021.

RESUMO

As discussões modernas a respeito da estrutura de cidades, recaem em encontrar soluções para desafios de grande proporção, ao passo em que busca identificar oportunidades de desenvolvimento. Entre essas dificuldades, a adequação das matrizes energéticas e da gestão eficiente dos resíduos é um tema de oportuna relevância, visto que existem alternativas para a junção do reaproveitamento do lixo, no caso, o resíduo orgânico, com a produção de energia, gerando o biogás. Nesse contexto, o presente estudo buscou identificar quais as principais barreiras para a produção e o uso do biogás na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), bem como soluções para ultrapassá-las. A princípio, foi realizada uma revisão sistemática da literatura visando a identificação das principais barreiras apontadas por autores no contexto nacional e internacional, nas bases de dados Scielo, Scopus e Web of Science no período de 2011 a 2021. A análise de dados da revisão sistemática da literatura identificou três continentes – África, Ásia e Europa, além da padronização dos tipos de entraves, sendo divididos entre econômicos, técnicos, sociais e políticos. Posteriormente foram realizadas entrevistas com especialistas do tema, para apontar as barreiras da produção e uso do biogás na RMSP e as soluções para superar as dificuldades observadas. Os resultados da entrevista foram discutidos com os tópicos abordados no arcabouço teórico obtido a partir da revisão sistemática da literatura. Os especialistas convidados apontaram a grande produção de biogás na RMSP em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto. Neste sentido, obstáculos associados à logística de produção, distribuição e utilização foram apresentados. Barreiras técnicas, econômicas, sociais e políticas foram consideradas, e similaridades com todos os continentes abordados na revisão sistemática da literatura foram observados, realçando a complexidade de fatores que afetam a produção do biogás na RMSP, potencializado pelo fato de que esses gargalos se influenciam, direta ou indiretamente. Nesse contexto, cabe destacar que a falta de um plano de inserção do biogás na matriz paulista e brasileira de forma geral foi considerado como o aspecto que mais trava o aumento da produção e uso do biogás na RMSP. As soluções propostas foram direcionadas essencialmente a ações do poder público, dado que os índices de produção e uso do biogás na RMSP estão condicionados a políticas públicas. Limitações deste estudo foram voltadas a superficialidade das barreiras e soluções identificadas. Por fim, para trabalhos futuros foram sugeridos estudos de caso que busquem apresentar a dimensão dos entraves listados, além de possibilidades de aplicação das soluções.

Palavras-chave: biogás, matriz energética, barreiras, soluções, cidades inteligentes.

ABSTRACT

Modern discussions about the structure of cities fall back on finding solutions to large-scale challenges, while seeking to identify development opportunities. Among these difficulties, the adequacy of energy matrices and efficient waste management is a topic of timely relevance, since there are alternatives to combine the reuse of waste, in this case, organic waste, with energy production, generating biogas. In this context, this study sought to identify the main barriers to the production and use of biogas in the Metropolitan Region of São Paulo (RMSP), as well as solutions to overcome them. At first, a systematic literature review was carried out aiming to identify the main barriers identified by authors in the national and international context, in the Scielo, Scopus and Web of Science databases in the period from 2011 to 2021. Data analysis of the systematic literature review identified three continents – Africa, Asia and Europe, in addition to standardizing the types of barriers, divided between economic, technical, social and political aspects. Subsequently, interviews were carried out with specialists on the subject, in order to point out the barriers to the production and use of biogas in the RMSP and the solutions to overcome the difficulties observed. The results of the interviews were discussed with the topics covered in the theoretical framework obtained from the systematic review of the literature. The invited experts pointed out the large production of biogas in the RMSP in landfills and sewage treatment plants. In this sense, obstacles associated with the logistics of production, distribution and use were presented. Technical, economic, social and political barriers were considered, and similarities with all continents covered in the systematic literature review were observed, highlighting the complexity of factors that affect biogas production in the RMSP, enhanced by the fact that these bottlenecks influence each other, directly or indirectly. In this context, it is worth noting that the lack of a plan for the insertion of biogas in the São Paulo and Brazilian matrix in general was considered as the aspect that most hinders the increase in the production and use of biogas in the RMSP. The proposed solutions were essentially aimed at government actions, given that the production and use rates of biogas in the RMSP are subject to public policies. Limitations of this study were aimed at the superficiality of the identified barriers and solutions. Finally, for future work, case studies were suggested that seek to present the dimension of the barriers listed, as well as possibilities for applying the solutions.

Keywords: biogas, energy matrix, barriers, solutions, smart cities.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2 OBJETIVO	16
1.2.1 OBJETIVO GERAL	16
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.3 RELEVÂNCIA DA PESQUISA	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 O DESAFIO NO CONTEXTO DA ENERGIA EM CIDADES	19
2.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL	21
2.3 BENEFÍCIOS DO REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS	23
2.4 CARACTERIZAÇÃO DO BIOGÁS E SUAS APLICAÇÕES	23
2.4.1 APLICAÇÃO NO MEIO RURAL	25
2.4.2 APLICAÇÃO NO MEIO URBANO	26
2.4.3 TECNOLOGIAS DE PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DO BIOGÁS	27
2.4.4 CASOS DE CUSTO-BENEFÍCIO	30
2.5 LEGISLAÇÃO VOLTADA PARA A GERAÇÃO DE BIOGÁS E BIOMETANO NO BRASIL	31
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
3.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	34
3.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA DOS DADOS	35
3.2.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	35
3.2.3 ENTREVISTAS	37
3.3 PROCEDIMENTO DE ANÁLISE DE DADOS	40
3.3.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	40
3.5.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1 RESULTADOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA	43
4.1.1 BARREIRAS PARA PRODUÇÃO E USO DO BIOGÁS NA ÁFRICA	43
4.1.2 BARREIRAS PARA PRODUÇÃO E USO DO BIOGÁS NA ÁSIA	45
4.1.3 BARREIRAS PARA PRODUÇÃO E USO DO BIOGÁS NA EUROPA	47
4.2. ANÁLISE DOS DADOS EMPÍRICOS	52
4.2.1 BARREIRAS	52
4.2.2 SOLUÇÕES	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
6 REFERÊNCIAS	65

APÊNDICE A – ROTEIRO DAS ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS	81
APÊNDICE B – ARTIGOS ANALISADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA ORGANIZADOS POR ANO DE PUBLICAÇÃO	81

LISTA DE FIGURAS:

Figura 1 - Mapa da Região Metropolitana de São Paulo.....	14
Figura 2 - Matriz energética mundial em 2018.....	20
Figura 3 - Oferta interna de energia do Brasil em 2019.....	21
Figura 4 - Produção primária de energia por fonte renovável no Brasil.....	22
Figura 5 - Biodigestor tipo lagoa coberta.....	28
Figura 6 - Biodigestor tipo UASB.....	29
Figura 7 - Etapas da pesquisa.....	34
Figura 8 - Principais barreiras observadas na revisão sistemática da literatura.....	42
Figura 9 - Principais barreiras identificadas na África.....	43
Figura 10 - Principais barreiras identificadas na Ásia.....	46
Figura 11 - Principais barreiras identificadas na Europa.....	48
Figura 12 - Influência entre as barreiras identificadas.....	57

LISTA DE TABELAS:

Tabela 1 - Segunda etapa da coleta de dados para revisão sistemática da literatura.....	36
Tabela 2 - Terceira etapa da coleta de dados para revisão sistemática da literatura.....	36
Tabela 3 - Quarta etapa da coleta de dados para revisão sistemática da literatura.....	37
Tabela 4 - Dados dos especialistas entrevistados na coleta de dados empírica.....	38
Tabela 5 - Principais barreiras identificadas por especialistas na RMSP.....	56
Tabela 6 - Principais soluções apontadas por especialistas para a RMSP.....	59

1 Introdução

A produção energética é um fator basal para a vida humana dada sua importância em suprir diversas necessidades de populações ao redor do mundo. Está associada com o desenvolvimento de países, sendo base de questões geopolíticas que determinam o presente e o futuro das civilizações humanas (Högselius & Kaijser, 2019). A geração e utilização de energia em todo o mundo há muitas décadas tem sido alvo de discussões e ações globais associadas com os impactos ambientais causados por essas atividades, desde a extração de matérias-primas, cuja maioria são recursos naturais não renováveis, até a instalação das estruturas geracionais do produto energético, além da utilidade propriamente dita, que em diversos contextos estão relacionados com emissão de poluentes (Omer, 2008).

A discussão acerca da mitigação da degradação ambiental está apontada para a minimização desses impactos, uma vez que é impossível que a vida, e no caso, a vida humana, exista sem a interação com produtos da natureza e consequentemente, impactos causados por esse manuseio (Inatomi & Udaeta, 2005). Segundo Calvillo, Sánchez-Miralles e Villar (2016), as discussões modernas associadas com a cadeia energética mundial recaem sobre o contexto importante da constituição de cidades inteligentes. Os autores explicitam que esse tema é de grande complexidade, visto que há uma dificuldade muito relevante em delimitar as mesmas escalas de eficiência energética para regiões distintas.

Outro grande desafio para o futuro das populações humanas é a gestão do lixo. Segundo Singh (2019), o aumento populacional acelerado que segue em crescente escala, conflitando com as dificuldades dos países em controlarem os impactos da produção de resíduos, tenderá a acentuar cada vez mais a necessidade por novas formas de gerir esses materiais, dada a lógica de que, quanto maior a quantidade de pessoas, maior a quantidade de dejetos produzidos. O autor destaca ainda que regiões em desenvolvimento e de alta densidade demográfica devem ser as mais afetadas, visto que essas áreas são as mais propensas a sofrerem as consequências das falhas estruturais que atingem as dinâmicas das cidades.

Alfaia, Costa e Campos (2017) discorrem sobre os desafios com a gestão dos resíduos no Brasil, afirmando que, apesar de o país contar com leis que estão teoricamente de acordo com as principais agendas ambientais, é muito relevante a quantidade de resíduos ainda destinados como se fossem dejetos, ou seja, como materiais considerados sem nenhuma utilidade. Para estas autoras, uma boa gestão de resíduos em território nacional, contemplando principalmente as grandes metrópoles, se daria com o investimento no reaproveitamento

máximo do lixo, principalmente do resíduo orgânico, dado ao fato de que este é o principal tipo de resíduo produzido no país, além das diversas propriedades de reaproveitamento energético deste passivo ambiental.

Apesar de o Brasil apresentar uma matriz com maior quantidade de fontes energéticas renováveis, quando comparado com a matriz energética mundial, é importante ressaltar que a matéria prima mais utilizada para a produção de energia é o petróleo. Além disso, a energia hídrica, a qual mesmo sendo uma energia renovável e sem emissão de gases poluentes, está diretamente ligada a impactos ambientais sérios uma vez que sua instalação requer processos de desmatamento graves e o deslocamento forçado de populações nativas para outras áreas do território nacional (Nascimento & Alves, 2016). O Brasil é um país referência no que tange à utilização de diversos tipos de biomassa para a produção energética (Santos, Nascimento & Alves, 2017). Esses autores ressaltam a diversidade de resíduos orgânicos utilizados para essa geração, sendo o principal a cana-de-açúcar para a produção do etanol, chegando até os resíduos urbanos.

Genovese, Udaeta e Galvão (2006) destacam que dentro dos potenciais de fontes energéticas oriundas desses materiais, o biogás no contexto brasileiro aponta para a possibilidade de usufruir de diversos benefícios para a complementação das matrizes energéticas renováveis nacionais. Os autores ainda apontam as vantagens em áreas rurais do país, dadas as qualidades ambientais e econômicas desse subproduto.

O Brasil dispõe de vantagens em relação aos tipos e quantidade de substratos disponíveis em regiões e áreas diferentes. Nesse sentido, a produção a partir de resíduos de diversas atividades em áreas rurais tem o potencial de gerar certa autonomia na produção energética, graças a projetos de geração descentralizada em residências (Passos et al., 2020). Nas áreas urbanas, o potencial produtivo a partir dos dejetos orgânicos destinados a aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto também apresenta alto grau de reaproveitamento energético, ainda que o uso atualmente seja direcionado para fins energéticos próprios desses serviços (Lima et al., 2018).

No entanto, é importante observar que a produção e o uso do biogás no Brasil trava em certos obstáculos relevantes, como apontam Santos et al. (2018). Segundo os autores, entre outros aspectos, destaca-se a dificuldade da criação de projetos com custo benefício alto, além da falta de suporte público no que tangem políticas de caráter normativo.

1.1 Problema de pesquisa

No Brasil, a Constituição Federal de 1988, levando em consideração o planejamento urbano no país, orienta a criação de regiões metropolitanas em aglomerados de cidades vizinhas cujas dinâmicas se misturem nas suas diversas atividades de forma intensa, a ponto de se tornarem um polo de desenvolvimento relevante à nação (IPEA, 2013). A designação da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) foi feita em 1973, como forma de padronizar a regulamentação e o desenvolvimento das 39 cidades que a compõe, segundo o Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado da Região Metropolitana de São Paulo (PDUI), de 2016. A área de 7.946,96 km² engloba municípios cujas atividades são de extrema importância em diversos setores a nível estadual e nacional, concentrando 18% do PIB brasileiro (PDUI, 2016)

A Região Metropolitana de São Paulo é formada por 39 municípios, divididos em 5 sub-regiões:

Norte: Caieiras, Cajamar, Francisco Morato, Franco da Rocha e Mairiporã.

Leste: Arujá, Biritiba-Mirim, Ferraz de Vasconcelos, Guararema, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Mogi das Cruzes, Poá, Salesópolis, Santa Isabel e Suzano.

Sudeste: Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul.

Sudoeste: Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Juquitiba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista.

Oeste: Barueri, Carapicuíba, Itapevi, Jandira, Osasco, Pirapora do Bom Jesus e Santana de Parnaíba (PDUI, 2016).

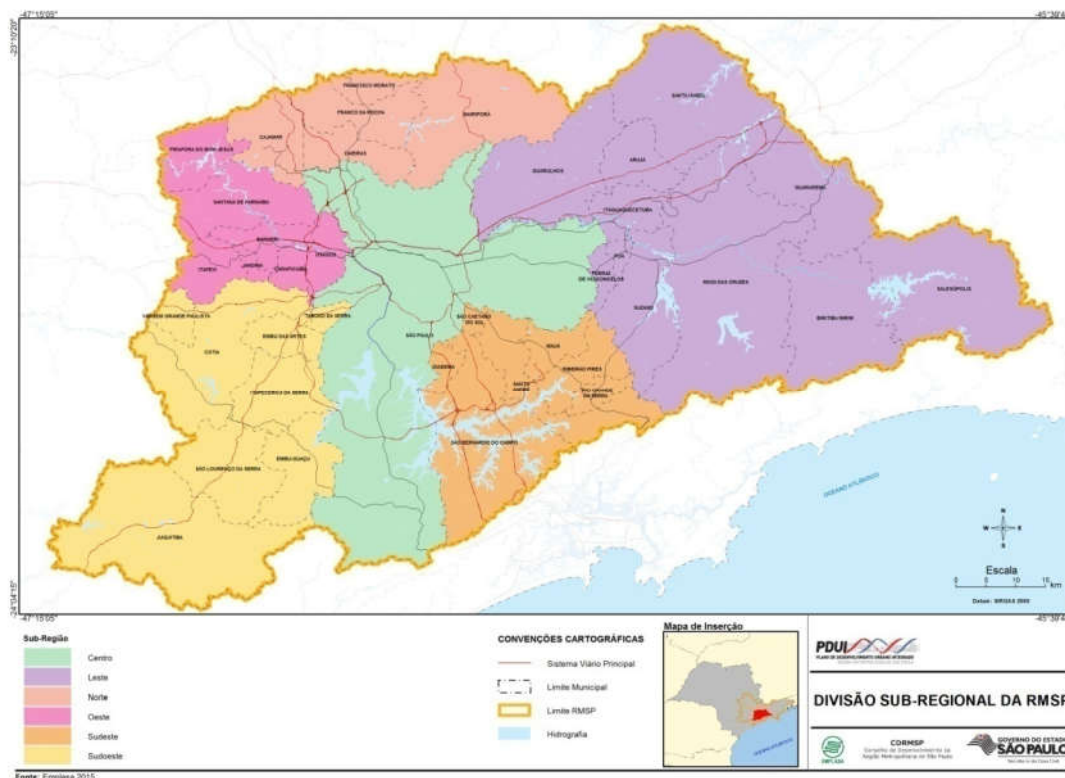


Figura 1: Mapa da Região Metropolitana de São Paulo
Recuperado de: “RMSP” de Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado – PDUI (2016).

É relevante para a região metropolitana de São Paulo a problemática acerca da oferta de gestão dos resíduos e saneamento básico. Besen et al. (2014) explicam que a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, sancionada em 2010, impulsionou mudanças positivas no que diz respeito a maior e melhor estruturação da coleta seletiva na RMSP, dado que o grande princípio que a norteia é a tentativa de minimizar a quantidade de resíduos que podem ser reaproveitados de serem depositados em aterros sanitários como rejeitos, ao passo em que diminua o volume de lixo presente nas áreas da região.

Entretanto, José, Moraes e Hollnagel (2018) ressaltam as falhas associadas com a universalização de saneamento básico, bem como a ineficiência no reaproveitamento dos resíduos que ainda seguem sendo descartados como rejeitos em grandes quantidades. Os autores destacam que, ainda que hajam regulamentações que dão suporte para a melhoria desse cenário, uma série de variáveis prejudicam a influência prática das normativas que orientam uma dinâmica mais sustentável e que provenham mais qualidade de vida para as cidades da região metropolitana de São Paulo.

O biogás presta um papel importante na dinâmica de produção energética e do gerenciamento de resíduos, uma vez que a matéria-prima vem da reutilização do lixo. Os

processos de geração são drasticamente menos impactantes quando comparado a combustíveis fósseis, além disso, a aplicação desse gás tem diferentes potenciais de utilização, tais como: aquecimento, combustível veicular, e até mesmo a substituição do gás natural em diferentes contextos (Weiland, 2010). Nesse contexto, apesar da relevância dada aos resíduos rurais para a produção do gás, de acordo com Santos, Vieira, Nóbrega, Barros e Tiago Filho (2018), até o início de 2017, o Brasil produzira uma quantidade de biogás que equivale apenas a 0,83% de todo o potencial de produção no país.

Nas áreas urbanas, como a RMSP, a produção de biogás está muito ligada com aterros sanitários, os quais são em grande maioria o método de exclusão final dos resíduos sólidos urbanos. Estudos associados com o potencial energético do biogás gerado em aterros apontam a capacidade de ofertar energia elétrica para a própria estação e até mesmo, para o território urbano mais próximo, com a variação de acordo com a dimensão da cidade (Ensinas, 2003; Campos & Galiza, 2016). No contexto urbano, uma quantidade relevante de biogás também pode ser produzida a partir de estações de tratamento de esgoto (ETEs). A degradação da matéria orgânica presente nesses rejeitos é reaproveitada nas próprias estações e a energia produzida é reaproveitada para as atividades das ETEs (Bilotta & Ross, 2016; Santos, 2017).

Entretanto, existem falhas relacionadas com o aproveitamento desse recurso nos aterros e nas estações de tratamento de esgoto, no que tange a distribuição para a rede elétrica ou para a produção de biocombustíveis, e, portanto, é importante o desenvolvimento de novas tecnologias que otimizem a recuperação desse gás (Lima et al., 2017; Bilotta & Ross, 2016). A geração de biogás *in situ* nos aterros sanitários propicia benefícios expressivos, pois os gases poluentes como o metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) provenientes da decomposição natural da matéria orgânica são controlados nos biodigestores e um poluente causador do efeito estufa, torna-se nesse caso matéria-prima para geração de eletricidade e combustível (Piñas et al., 2016).

É importante destacar, contudo, que os aterros sanitários causam degradações ambientais sérias a longo prazo, dado o fato de que, além de a instalação dessas estruturas requererem o desmatamento de áreas verdes extensas, as mesmas possuem vida útil limitada e, ainda que sua operação siga por décadas, uma vez que desativados os passivos ambientais são sérios e difíceis de mitigar, portanto, outras ferramentas de gestão final de resíduos têm sido discutidas (Waldman, 2013).

O estudo realizado por Dalmo et al. (2019), considerando parâmetros no ano de estudo, identificou que nos aterros sanitários que atendem as regiões do estado de São Paulo, incluindo a região metropolitana, a produção de energia a partir da digestão anaeróbia dos

resíduos orgânicos pode chegar a até 6,34% da quantidade de energia demandada por residências em todo o estado. Apesar disso, a Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SIMASP) ressalta que há maior margem para o reaproveitamento dos resíduos orgânicos urbanos, destacando que, se totalmente reutilizado, poderia gerar energia suficiente para suprir em 30% a demanda de energia elétrica em todo o país (SIMASP, 2020).

Diante da problemática exposta, o presente trabalho visou responder a seguinte questão de pesquisa: quais as principais barreiras e soluções para aumentar a produção e uso do biogás na Região Metropolitana de São Paulo?

1.2 Objetivo

1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho teve por objetivo identificar as principais barreiras e soluções para aumentar a produção e uso do biogás na Região Metropolitana de São Paulo.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Elaborar um levantamento teórico acerca do estado da arte atual ligado às principais barreiras e soluções para a maior produção do biogás nacional e internacional.
- b) Validar as barreiras e soluções identificadas na literatura a partir de entrevistas com especialistas sobre biogás que pudessem oferecer contribuições relevantes para o cenário da Região Metropolitana de São Paulo.
- c) Apontar soluções para promover maior produção e uso do biogás na Região Metropolitana de São Paulo com base nos dados obtidos a partir da revisão sistemática da literatura e das entrevistas realizadas.

1.3 Relevância da pesquisa

Até 2050 é esperado que aproximadamente 9,8 bilhões de pessoas no mundo, segundo o World Population Prospects, documento criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2019 (ONU, 2019a). Ainda de acordo com a ONU, por meio do documento denominado World Urbanization Prospects, em 2050 aproximadamente 70% da população mundial viverá em áreas urbanas (ONU, 2019b). Nesse sentido, a demanda de energia é um tópico extremamente importante a ser discutido, posto que seguindo a lógica de oferta e

demanda, quanto maior for a necessidade do uso de energia por parte da civilização humana, serão necessários mais recursos extraídos, alguns deles limitados e cuja manipulação causa sérios danos ambientais (Arto et al., 2016).

Nesse cenário, portanto, a qualidade de vida do planeta está diretamente ligada com planejamentos urbanos que consigam abranger soluções remediadoras para as problemáticas citadas. As autoridades mundiais têm a seu favor a ciência que consegue prever algumas circunstâncias futuras e desta forma, têm uma janela de preparação e delineamento de ações para evitar esses males, fator que não foi considerado no início do processo de urbanização de muitas localidades ao redor do mundo (Stigt, Driessen & Spit, 2015; Ruth & Baklanov, 2012).

Casos como o apresentado por Anyaoku e Baroutian (2018) mostraram que a produtividade descentralizada do biogás possibilitou ganhos principalmente relacionados com a economia na logística de gestão de resíduos, como as etapas de coleta, transporte e disposição final. Além disso, apresentou um decréscimo na quantidade de resíduos aterrados. Na Zâmbia, a produção do biogás a partir dos resíduos sólidos urbanos se mostrou eficiente a ponto de diminuir a necessidade por outros meios de energia térmica como o carvão e a madeira, como explicam Shane, Gheewa e Kafwmbwe (2017). No contexto do país africano, a instalação de uma planta de biogás na cidade de Kitwe seria quitada em dois anos diante da intensidade de geração de eletricidade.

A International Energy Agency (IEA) explica que a geração de biogás no mundo em 2017 esteve em aproximadamente 6% do potencial de geração, enquanto a produção do biometano representa 4% desse potencial, evidenciando a dificuldade no reaproveitamento dessa fonte (IEA, 2018b). Ferreira, Otto, Silva, Souza e Ando Junior (2018) destacam que no Brasil, há uma grande diversidade de possibilidades de geração do biogás. Porém, segundo os autores, é fundamental que no país sejam desenvolvidos procedimentos legais e técnicos para adequar uma organização básica para a aplicação dessa substância na matriz energética.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o potencial de 687.7 GWh por ano corresponde a energia elétrica consumida por 264.000 habitantes, equivalente à população de Foz do Iguaçu/PR. Portanto, combinado com o potencial de geração de biogás a partir dos resíduos gerados por manejo de gado, agroindústria e resíduos urbanos, 12.481.4 GWh por ano seriam gerados, quantidade suficiente para suprir a demanda de 4.793,151 habitantes (Ferreira et al., 2018, p. 449, tradução da autora).

Os estudos de projeção do potencial de aproveitamento de biogás são comuns na literatura, entretanto é relevante observar que alguns autores chamam a atenção para a importância de serem realizadas pesquisas mais detalhadas para identificar os caminhos, os

obstáculos e as soluções dos gargalos que tornem essa prática mais viável (Bößner et al., 2019; Niskanen & Magnusson, 2020). Nesse contexto, Surendra et al. (2014) apontam que um dos principais gargalos para maior disseminação da geração do biogás é suprir a necessidade de se criar formas de levar informação e pontes de diálogo entre os *stakeholders* participantes dessa logística.

2 Referencial Teórico

A seguir, será apresentado o referencial teórico. Esse tópico é iniciado com a contextualização do desafio relacionado à oferta de energia sustentável nas cidades, passando para o cenário atual da matriz energética renovável brasileira. Posteriormente, a temática da gestão eficiente de resíduos é citada, e em seguida é apresentada a problemática ligada ao biogás, desde sua conceituação até as principais normativas em contexto nacional e no Estado de São Paulo associadas ao mesmo.

2.1 O desafio no contexto da energia em cidades

O contexto complexo relacionado com a importância de se repensar a cadeia energética nas cidades já era comentado em pesquisas antigas como apresentado por Dincer e Rosen (1998). Os autores já traziam àquela época a pertinência de tornar as matrizes energéticas o mais sustentáveis possível, dado que já havia projeções apontando para altas populacionais e aumento de perímetros urbanizados no mundo, além da necessidade de uma reorganização da forma com a qual os recursos naturais eram manejados para a geração de energia.

No que tange à discussão desse tema no conceito das cidades inteligentes, Albino, Berardi e Dangelico (2015) frisam que, para atingir matrizes energéticas eficientes e sustentáveis, é interessante a diversificação das matérias-primas usadas para esse fornecimento, além de uma reestruturação da forma com a qual a energia é distribuída, e também a integração dessa logística com o planejamento de outras estruturas importantes para a dinâmica das cidades. Nesse sentido, Perea-Moreno, Hernandez-Escobedo e Perea-Moreno (2018) explicam que de 1977 a 2017 houve um crescimento expressivo na quantidade de pesquisas acerca de mapeamentos e estudos de caso, relacionados com soluções palpáveis para os gargalos que a modernização ambientalmente correta da oferta de energia enfrenta ao longo do tempo.

A International Energy Agency (IEA) apresentou por meio do documento World Energy Balances: Overview, que a principal fonte energética utilizada no mundo foi o petróleo (31,5%), seguido do carvão (26,9%) e do gás natural (22,8%). As três principais fontes são fósseis, e as energias renováveis representaram apenas 13,9% da matriz energética mundial, sendo a mais relevante os biocombustíveis com 9,3% (IEA, 2018a). Tais dados estão representados em gráfico na figura 2.

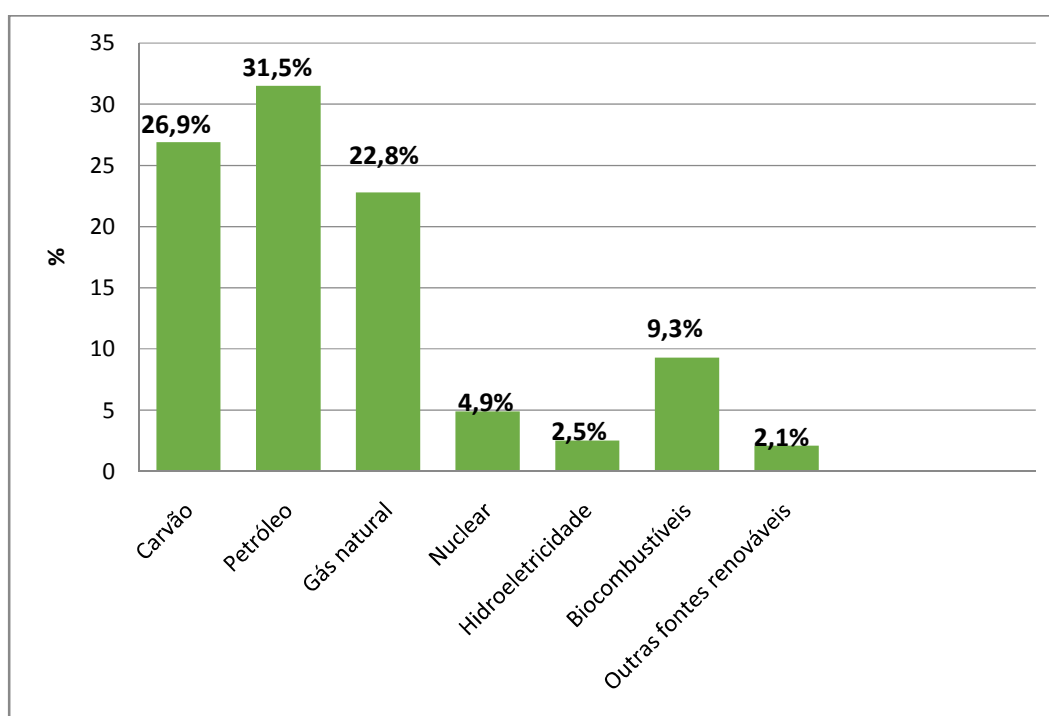


Figura 2. Matriz energética mundial em 2018.

Fonte: Adaptado de “World Energy Balances: Overview”, de International Energy Agency – IEA (2018a).

Nesse contexto, Kamyab et al. (2020) discorrem sobre a oferta energética no mundo, defendendo a reorganização das matrizes energéticas partindo do princípio dos sistemas de energia inteligentes. Segundo os autores, para o desenvolvimento dessa logística é essencial elucidar as características de cada tipo de fonte existente na matriz energética local e quais os principais setores demandantes de energia. Além disso, ainda apontam para a inevitabilidade de serem considerados os níveis de redução de CO₂ emitidos nessas matrizes, e também para a magnitude da influência dos principais *stakeholders* participantes dessa cadeia no processo de criação desse novo sistema.

Para Sorrell (2015), a eficiência energética e a possibilidade de transmissão de energia para todas as pessoas, perpassam pela importância de os principais atores presentes nesse processo terem a percepção prática de que a energia provém, antes de tudo, dos recursos e das ciências naturais. Para o autor, é ideal que as práticas de planejamento energético nas cidades estejam encaixadas dentro do contexto adequado. Além disso, explica que esse roteiro de produtividade, aproveitamento e disponibilização precisa também ser pensado a longo prazo. Ainda que não se possa delimitar esse cenário por completo, a humanidade dispõe de recursos

para uma maior e melhor preparação acerca desse tema, com a responsabilidade por esse processo recaindo nas autoridades públicas, principalmente.

2.2 Energias renováveis no Brasil

De acordo Balanço Energético Nacional (BEN) no ano de 2019, a principal fonte da matriz energética brasileira foi o petróleo e seus derivados (34,4%), o qual somado as outras fontes não-renováveis somaram 53,8% da oferta interna de energia nacional. Em contrapartida, as fontes renováveis representam 46,2% desse montante, com destaque para a energia hidráulica (12,4%) e os derivados da cana-de-açúcar (18%) para a produção de eletricidade e biocombustíveis, respectivamente (BEN, 2020). Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), a região com a maior gama de energias renováveis em sua matriz é a Centro-Oeste, com 58% da sua matriz local sendo renovável, seguida pelo Sul (40,7%), Sudeste (40,5%), Norte (38,7%) e Nordeste (36,5%) (MME, 2017). A figura 3 apresenta os dados referentes à oferta interna de energia brasileira.

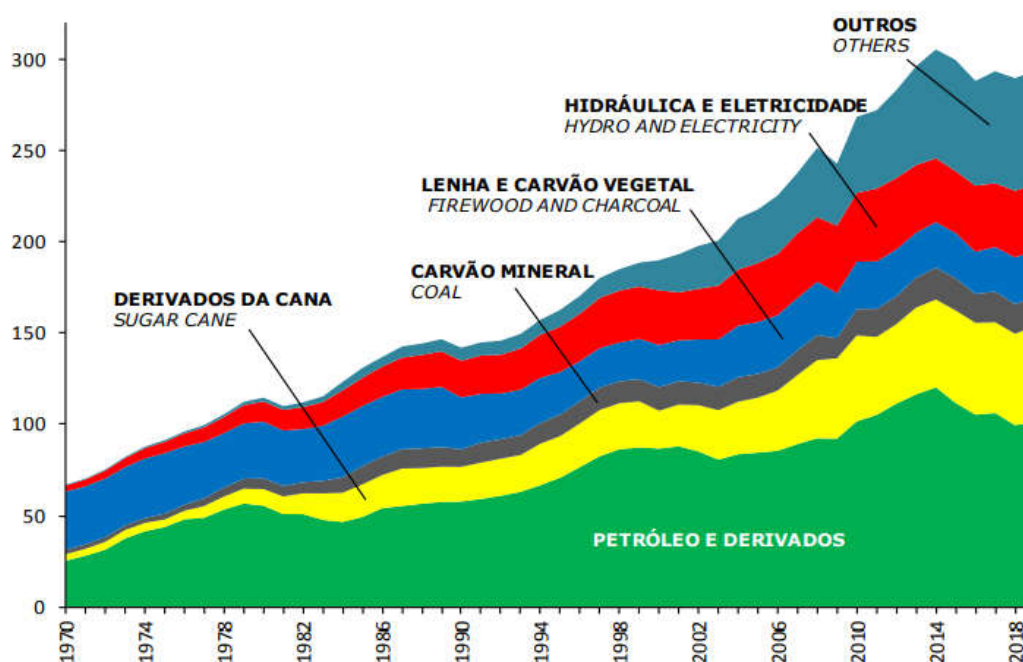


Figura 3. Oferta interna de energia do Brasil em 2019.

Fonte: Recuperado de “Balanço Energético Nacional” – Ministério de Minas e Energia & EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2020, p.23.

Aquila et al. (2017) enfatizam que, no que tange à produção de energia hidráulica, o Brasil é referência mundial frente a outras grandes potências, uma vez que essa fonte

representa 80% da eletricidade gerada no país. Os autores complementam, afirmando que os altos índices se dão pela presença de rios circundantes às cidades, mas contrapõem os ganhos com essa prática, evidenciando os impactos ambientais e sociais relacionados com a inundação de grandes áreas, bem como os gargalos enfrentados com secas e falhas técnicas em hidroelétricas. Além disso, é importante frisar a participação do Brasil como pioneiro na produção de biocombustíveis, desde a década de 70 com o início da geração do etanol principalmente a partir da cana-de-açúcar (Cordellini, 2018).

Segundo Bellote et al. (2018) o Brasil constantemente busca modernizar os procedimentos de extração das propriedades energéticas de diversos tipos de biomassa, principalmente oriundas do setor sucroenergético para a geração do etanol. Nesse sentido, Tolmasquim (2016) comenta que é importante entender as variedades estruturais dos substratos utilizados para se produzir energia. O autor afirma que a geração energética a partir da cana-de-açúcar é influenciada por fatores ambientais, de sazonalidade do próprio ciclo de vida do vegetal. Explica ainda, que em relação ao biogás, os aspectos sazonais não têm a mesma influência dadas as possibilidades de uso de diferentes tipos de substratos.

O BEN (2020) não contemplou o biogás como sendo uma fonte produzida e utilizada em quantidade relevante o suficiente para ser registrado em gráficos. A informação presente no relatório a respeito do biogás está relacionada com a quantidade de plantas de produção no país em operação, que no ano de 2019 ficou em torno de 186. A oferta interna de energias renováveis citadas no BEN (2020) estão registradas na figura 4.

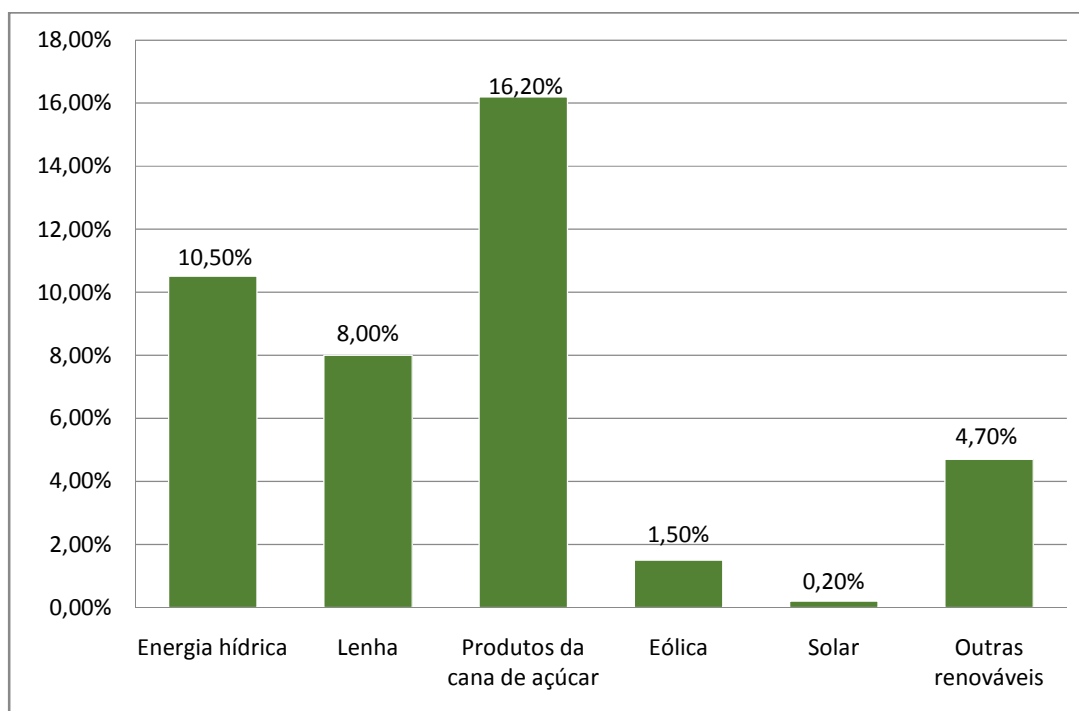


Figura 4: Produção primária de energia por fonte renovável no Brasil

Adaptado de “Balanço Energético Nacional” - Ministério de Minas e Energia & EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2020, p. 22.

2.3 Benefícios do reaproveitamento dos resíduos orgânicos

De acordo com Das et al. (2019), há uma gama relevante de oportunidades para o reaproveitamento de resíduos orgânicos, no sentido de transformá-los visando ganhos financeiros e ambientais, a curto e longo prazo. No contexto de cidades inteligentes, há a premissa de explorar os impactos ambientais relacionados com a destinação final dos resíduos a ponto de torná-los base de novas soluções e ideias, como a pesquisa realizada por Cucchiella, D’Adamo e Gastaldi (2017), a qual explorou alternativas de modificar a gestão dos resíduos em Abruzzo, na Itália, a partir da criação de espaços de geração de energia a partir dos dejetos produzidos na região. Moya et al. (2017) discorrem a respeito das tecnologias de conversão de resíduos em energia, descrevendo opções como a geração controlada do biogás, métodos de incineração, criação de biorefinarias e o gerenciamento multi-integrado dos resíduos, o qual recai em logísticas específicas a depender do contexto de quantidade de rejeitos e capacidade de reaproveitamento.

A gestão de resíduos abre a oportunidade de reaproveitamento de dejetos descartados em áreas urbanas e rurais nas cidades, conforme discorrem Kiyasudeen et al. (2016). Segundo os autores, os resíduos orgânicos podem ser convertidos em energia térmica, e essa prática permite não só criar uma nova fonte energética limpa, como também diminuir a quantidade de lixo despejado na natureza.

Ainda nesse contexto, Pleissner (2018) salienta que os benefícios do reaproveitamento de resíduos orgânicos estão direcionados para a produção descentralizada de energia elétrica, bem como para a mitigação da poluição atmosférica e do solo pela prática do aterramento. O autor explica que o processo natural da decomposição desses materiais emite gases poluentes, e o espaço destinado para os aterros demanda o desmatamento de grandes áreas verdes, além do perigo iminente de substâncias nocivas que percolam pelas camadas do solo. Outra vantagem considerável é o reaproveitamento do digestato subproduto proveniente do substrato aplicado em práticas de digestão anaeróbia para a produção do biogás, e que se mostrou eficiente na adequação de parâmetros químicos e físicos do solo, como apresentado por Castro et al. (2017) para a fertilização e recuperação de frações de solo.

2.4 Caracterização do biogás e suas aplicações

O biogás é altamente inflamável, originado a partir da decomposição anaeróbia de matéria orgânica, processo no qual bactérias com metabolismo adaptado para a funcionalidade com a ausência do oxigênio passam a fermentar esse material, criando como subproduto o metano, componente químico principal do biogás em interação constante com dióxido de carbono e outros gases e nutrientes (Weiland, 2010).

A biodigestão é um processo natural do meio ambiente, uma vez que determinados organismos se alimentam ou retiram dessas substâncias, nutrientes para suas atividades metabólicas por meio de processos de fermentação sem a presença do oxigênio, caracterizando desta forma a biodigestão anaeróbia (Deganutti et al., 2002). Os biodigestores são equipamentos compostos basicamente por uma câmara impermeável e selada na qual esse ciclo acontece de forma controlada. Os formatos desses aparatos dependem de forma geral da quantidade de substrato orgânico que são capazes de receber (Frigo et al., 2015).

Nesse sentido, é importante destacar a diferença entre o biogás para o biometano. Ryckebosch, Drouillon e Vervaeren (2011) explicam que o biometano é o produto purificado do biogás, e esse processo consiste basicamente em retirar componentes químicos como o sulfeto de hidrogênio (H_2S), o dióxido de carbono (CO_2), hidróxido de amônia (NH_3) e até mesmo a água. Os autores explicam que essa “limpeza” pode prevenir problemas relacionados com o desgaste dos equipamentos de geração, armazenamento e distribuição do gás, uma vez que, a depender do objetivo de uso, as etapas de combustão podem gerar impactos de diversas vertentes, inclusive nocivos por perigo de explosões.

A digestão anaeróbia, processo que dá origem ao biogás, tem 4 etapas principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, respectivamente.

Na hidrólise, o metabolismo das bactérias produzem certas enzimas que começam a decompor a matéria orgânica, passando a convertê-la em moléculas menores e mais simples. Compostos como carboidratos, moléculas de gordura e proteínas passam, portanto, a serem convertidas em açúcares, aminoácidos e ácidos graxos (Achinas, Achinas & Euverink, 2017).

A segunda etapa, acidogênese, consiste na absorção das substâncias geradas na hidrólise por bactérias caracterizadas como fermentativas e acidogênicas, uma vez que a partir de sua atividade metabólica são excretados ácidos graxos, álcool, minerais e ácidos láticos, entre outros tipos de compostos (Soares, Feiden & Tavares, 2017).

A acetogênese é constituída por processos nos quais bactérias de metabolismo acetogênico convertem ácidos graxos e outros produtos oriundos da acidogênese, transformando-os em moléculas de ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio (Lohani & Havukainen, 2018).

Última etapa da digestão anaeróbia, a metanogênese tem como particularidade a baixa tolerância a mudanças bruscas do ambiente no qual o processo está acontecendo, e se dá pela conversão do hidrogênio, do ácido acético, água e dióxido de carbono em metano, sendo este último o principal subproduto da digestão anaeróbia e o principal composto do biogás (Valijanian et al., 2018).

De acordo com a Associação Brasileira de Biogás e Metano (ABiogás), o biogás é uma fonte energética que detém características relevantes para a modernização da matriz energética nacional, uma vez que a produtividade por meio dos biodigestores é totalmente controlável e previsível. Além disso, é possível moldar a cadeia de produção conforme as variações de mercado e demanda, tornando possível que todo o ciclo do biogás seja ajustado e adaptado (ABiogás, 2016). As aplicações do biogás no contexto urbano são originadas das mais diversas fontes. Desde o reaproveitamento de lodos de esgoto, resíduos em aterros sanitários e até mesmo por meio de biodigestores de menor escala (Coelho et al., 2006; Dalmo et al., 2019; Anyaoku & Baroutian, 2018).

Nesse sentido, a versatilidade da aplicação de biodigestores se destaca como um ponto positivo, visto que o material orgânico que irá alimentar a produção não precisa ser necessariamente de alimentos descartados em lixos domiciliares, podendo ser utilizado também fezes de animais e outros tipos de matéria orgânica. Além disso, biodigestores acompanham a escala populacional, conseguindo atender demandas variadas em localidades diferentes. O contexto da urbanização de determinadas áreas também precisa ser levado em consideração uma vez que em um dado cenário considerado urbanizado, ainda há a presença de elementos de áreas rurais (Rupf et al., 2017).

Apesar das diversas vantagens, o biogás ainda é uma fonte que carece de estruturação em diversas vertentes, esbarrando em uma série de entraves importantes que impedem sua disseminação de forma mais acentuada, conforme explicam Nevzorova e Kutcherov (2019). De acordo com os autores, a qualidade e a quantidade de biogás produzido é altamente influenciado pelas condições em que esta geração e posterior utilização se dão, fato que torna o biogás dependente da avaliação e controle de variáveis, que, além de não serem totalmente conhecidas, são complexas de controlar.

2.4.1 Aplicação no meio rural

Um estudo realizado por Ortiz, Pfaff e Dienst (2017) aponta que a maior difusão da produção de biogás no contexto rural de países em desenvolvimento de forma geral perpassa

por alguns critérios essenciais. O mais comum, segundo os autores, é que o aproveitamento do biogás se dê para fins domésticos como gás de cozinha, criação de animais e produção agrícola. Para aumentar os ganhos sustentáveis a partir dessa prática é necessário que novas tecnologias sejam acessíveis aos moradores dessas áreas, e que essa população seja capaz de traçar planos estratégicos de integração logística, a partir do seu cultivo, até a geração e utilização final do biogás para potencializar os benefícios.

Na Europa a produção do biogás a partir dos biodigestores está concentrada em fazendas. O reaproveitamento dos resíduos orgânicos para a transformação em energia é fruto de políticas de escalas temporais diferentes (curto, médio e longo prazo), visando principalmente tornar os países europeus sustentáveis e eficientes no que se refere às matrizes energéticas nacionais, como explicam Garcia et al. (2019). Os autores ressaltam que ainda há espaço para impulsionar esse ciclo, principalmente a partir da valorização de outras matérias orgânicas como os oriundos dos excrementos de vacas.

Zemo, Panduro e Termansen (2019) destacam que na Dinamarca plantas de biogás de grande escala no meio rural causaram impactos negativos quando comparados a estruturas com biodigestores de escala doméstica, visto que aqueles de maior estrutura normalmente pertencem a uma dada empresa e principalmente os lucros relacionados com a oferta de energia e simultâneo tratamento resíduo orgânico não fica nas mãos dos moradores dessas áreas, causando dessa forma disparidades até mesmo no conceito no qual a utilização do biogás se encaixa no território rural. Esse quadro, mesmo específico do país nórdico, pode ser aplicado em estudos de outros países.

No Brasil, a pesquisa realizada por Freitas et al. (2019). Investigou a possibilidade de produção do biogás em uma fazenda no Paraná a partir de dejetos de suínos. Os autores observaram que o biogás produzido era de qualidade satisfatória, diminuindo em paralelo as emissões de CO₂ na atmosfera. O estudo feito por Bernal et al. (2017) foi direcionado para a geração de biogás oriundo da vinhaça. Para os autores, as propriedades do gás gerado mostraram condições favoráveis para o uso como biometano, indo de encontro ao benefício do reaproveitamento de grandes quantidades de vinhaça excedentes da produção da cana de açúcar no país.

2.4.2 Aplicação no meio urbano

Segundo Anayaoku e Baroutian (2018), uma aplicação relevante do biogás em áreas urbanas está associada com a descentralização dos resíduos orgânicos residenciais. Ou seja,

um formato de gerenciamento que esteja mais próximo da fonte geradora, no qual os preceitos estejam ligados à máxima separação dos resíduos por parte da própria população, além da instalação de plantas de biogás espalhadas em localidades estratégicas. Os autores ressaltam que os custos a curto prazo é uma das grandes barreiras a serem consideradas em um eventual plano de composição, mas os ganhos a longo prazo, são muito maiores quando comparados aos investimentos em aterros sanitários.

A China é um país modelo no que diz respeito à quantidade de plantas de biogás distribuídas pelo país. Nas áreas urbanas, a geração do biogás obtida principalmente em estações de tratamento de esgoto e a partir de resíduos industriais com o reaproveitamento sendo conduzido para as próprias edificações adjuntas aos locais, conforme apresentado por Deng et al. (2017), que também salientam a crescente adoção de tecnologias para produção do biogás a partir de resíduos orgânicos residenciais em algumas cidades do país asiático, como Chongqing desde 2009 e Beijing, desde 2012.

Em países com processos de urbanização mais avançados, a produção do biogás pode estar ligada por exemplo às áreas mais pobres dos municípios, como apresentam Alexander, Harris e McCabe (2019). Nessas localidades, os biodigestores, assim como em outros estudos, tem aplicação em escala doméstica e estão associados com o gerenciamento de resíduos orgânicos, mas toda a estruturação ainda enfrenta barreiras em diversas esferas, sendo necessário planejamento estratégico detalhado, dado que falhas tendem a causar impactos negativos para as cidades (Alexander, Harris & McCabe, 2019).

No Brasil, a geração de biogás em áreas urbanas é fortemente ligada a aterros sanitários, com uma série de técnicas diferentes em projetos diversos, como apresenta o estudo de Nascimento et al. (2019). De acordo com a pesquisa, os aterros que captam o gás para a produção de energia elétrica estão concentrados principalmente no estado de São Paulo, e a eletricidade produzida é injetada em redes da AES Eletropaulo e da Companhia Piratininga de Força e Luz (CPFL). Neste contexto, cabe destacar que em áreas urbanas a produção e o uso do biogás está essencialmente relacionada com a estrutura do saneamento básico local, uma vez que a quantidade de resíduos, sua composição e forma de tratamento irá embasar toda a cadeia produtiva do gás, sendo estritamente importante todo o investimento feito neste tipo de serviço (Oliveira & Negro, 2019).

2.4.3 Tecnologias de produção e aplicação do biogás

Parte das tecnologias acerca da produção do biogás vêm dos tipos de biodigestores utilizados. Uma vez que o substrato é a base da digestão anaeróbia e conseqüentemente, da produção do gás, biodigestores com sistemas próprios de agitação prestam um papel de muita influência na capacidade geradora de uma planta de biogás, e nesse contexto, equipamentos como os do tipo Continued Stirred Tank Reactor (CSTR), são observados como estruturas capazes de receber substratos mais diversificados, dado que alguns desses reatores são fabricados com sistema de agitação interno, poupando etapas de pré-tratamento dos resíduos (Kress et al., 2018).

Amaral, Steinmetz e Kunz (2019) explicam que, no Brasil, os principais biodigestores utilizados são dos tipos lagoa coberta, Upflow Stirred Tank Reactor (UASB) e CSTR. Os autores afirmam que o tipo lagoa coberta é constituído de uma cobertura sobre uma escavação no solo no qual o substrato é colocado, sendo constantemente utilizado em propriedades rurais. O biodigestor UASB é comumente alimentado por substratos em forma de lodo, é formado por uma estrutura cilíndrica, na qual o substrato entra por canos no interior do equipamento e a digestão anaeróbia acontece.

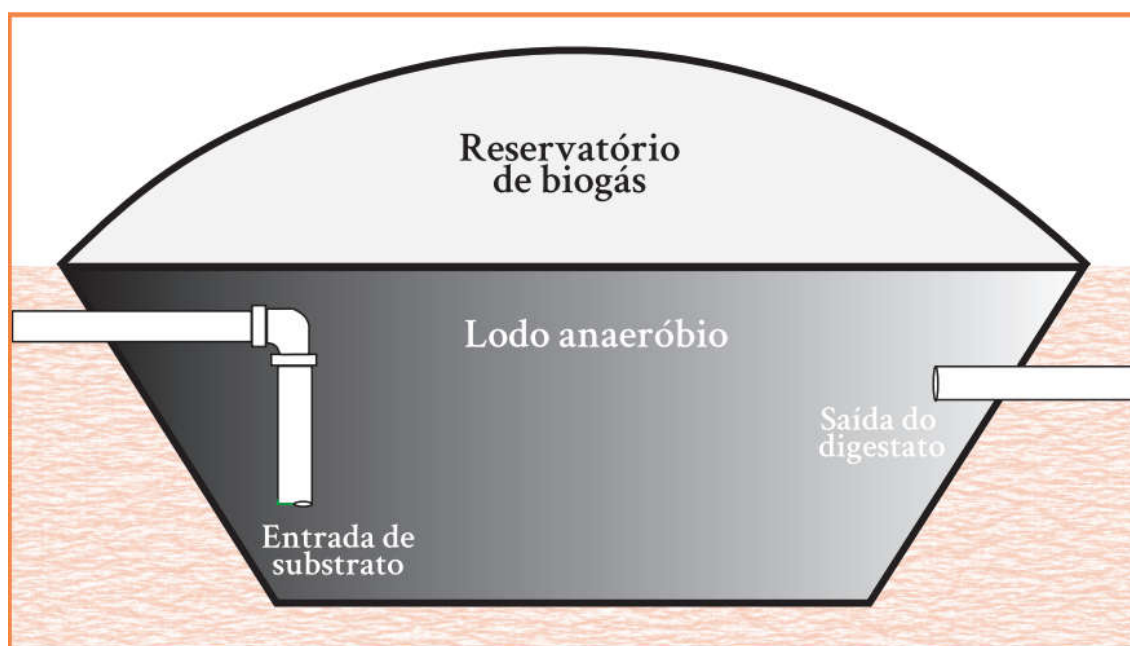


Figura 5 : Biodigestor tipo lagoa coberta .

Fonte: Recuperado de “Os biodigestores” - (Amaral, Steinmetz & Kunz (2019).

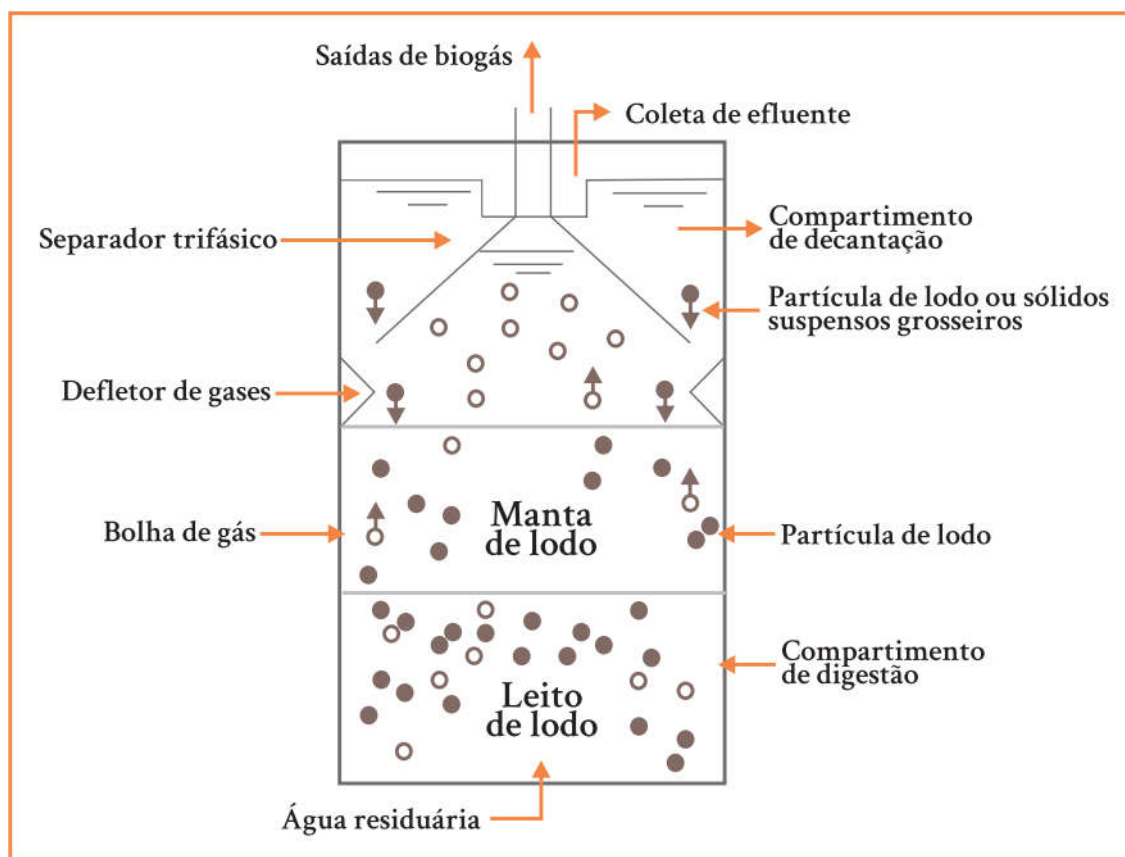


Figura 6: Biodigestor tipo UASB.

Fonte: Recuperado de “Os biodigestores” - (Amaral, Steinmetz & Kunz (2019).

Sahota et al. (2018) descrevem tecnologias para refinar o biogás em biometano de maneira mais sustentável. Os autores citam alguns métodos, como o de absorção física pelo uso da água em depurador, absorção por reação de solvente químico rico em aminas, que aderem e reagem ao sulfeto de hidrogênio (H_2S) e ao dióxido de carbono (CO_2). Além disso, comentam ainda que há algumas tecnologias emergentes, tais como a separação criogênica do metano (que gera altos custos de operação e de energia, mas com índices altíssimos de concentrações de metano ao final do processo), movimentação de substratos lodosos para a absorção do CO_2 , assim como a integração de diversos métodos aplicados paralelamente, quando possível.

No que tange a distribuição, o biogás pode ser introduzido nos canais de distribuição comuns de gás, sendo importante, no entanto, observar a quantidade produzida e a ser distribuída, à fim de verificar se é viável a criação de uma nova rede de disponibilidade caso necessário (Adnan et al., 2019). Gustafsson et al. (2020) observam, em contrapartida, que variáveis relevantes precisam ser previamente consideradas, como a distância da rede de

distribuição, impactos ambientais e viabilidade econômica, ressaltando que para distribuição de grandes distâncias é interessante investir na liquefação do gás.

2.4.4 Casos de custo-benefício

Na Alemanha, um estudo realizado por Lauer, Leprich e Thrän (2020) identificou potenciais benefícios na extensão das plantas de biogás no país entre 2016 e 2035, destacando o crescimento econômico sobretudo nas áreas rurais onde há maior produtividade do gás, especificamente voltado para o crescimento da renda de fazendeiros e valorização territorial da região, além do fornecimento descentralizado de energia, incitando a substituição ainda que em pequena escala de combustíveis fósseis.

Kozłowski et al. (2019) observaram que em uma fábrica de laticínios, o resíduo orgânico excedente da produção é suficiente para produzir quantidade de biogás a ponto de substituir 45% do custo com energia convencional proveniente da rede energética local. Na pesquisa realizada por Zhang e Xu (2020) no bairro Jing An em Xangai foram analisados resultados de uma planta de biogás de cerca de 28 hectares, na qual as projeções dos autores apontaram para um ganho econômico direto baixo a curto prazo, mas muito relevantes quando observada a taxa de retorno interno (7,89%), fazendo com que o investimento “pague a si mesmo” em 5 anos, um dado considerado expressivo considerando que plantas de biogás duram em média 15 anos.

Nesse contexto, Song et al. (2016), evidenciam os ganhos econômicos com a geração de energia a partir de resíduos. O levantamento realizado pelos autores ressalta a variedade de resíduos orgânicos passíveis de reaproveitamento, o que traz à luz a oportunidade de geração descentralizada de energia e de gestão desses dejetos, destacando a economia voltada para o poder público em relação à logística de destinação final desses materiais e os benefícios ambientais com a diminuição do aterramento e da produção de energia fóssil convencional.

Em Campinas – SP, foi estimado o custo benefício de um projeto para captação do biogás no aterro da cidade levando em consideração estimativas de produção de resíduos, de aumento populacional, de disponibilidade orçamentária e de flutuação financeira entre os anos de 2018 e 2038, no qual os autores identificaram boas oportunidades de produção do biogás de aterro (Freitas et al., 2019).

Na cidade de Pouso Alegre, no estado de Minas Gerais, Raimundo et al. (2017) fizeram projeções econômicas com base em aspectos como o custo de produção, o valor estimado da energia que o biogás tem potencial de produzir, e a quantidade de energia utilizada em estação de tratamento de esgoto do município. Foi considerado um biodigestor

do tipo convencional, sem detalhamento, e um biodigestor do tipo UASB. Os autores afirmam que os resultados apontaram para inviabilidade de um projeto que incluía distribuição energética para além da estação de tratamento, porém, verificaram que existem condições para reaproveitamento energético em uso interno nas instalações da ETE da cidade quando a geração foi simulada no reator UASB.

Um exemplo de estudos de custo-benefício em áreas rurais, a pesquisa de Moura et al. (2017) permitiu observar que o projeto estudado em uma chácara em Minas Gerais, com biodigestor alimentado por dejetos de bovinos, apresentou boa viabilidade econômica principalmente no que tange o retorno financeiro de investimento, evidenciando a possibilidade de autonomia energética de produtores rurais com a utilização do biogás. Em contrapartida, Ribeiro et al. (2018) observaram que um projeto para produção de biogás em fazenda cujo substrato foi composto de dejetos de aves não apresentou bons parâmetros de custo-benefício, dado que a produção de energia elétrica projetada a partir do uso do biogás gerado no estudo não foi atrativo do ponto de vista financeiro e econômico, atestando a importância do contexto de produção.

2.5 Legislação voltada para a geração de biogás e biometano no Brasil

No dia 26 de dezembro de 2017, foi instituída a lei nº 13.576/17, a qual dispõe a Política Nacional de Biocombustíveis – o RenovaBIO. Essa normativa é parte integrante da Política Energética Nacional, sobre incentivos relacionados à produção de energia elétrica e outros subprodutos a partir da biomassa para a integração de fontes renováveis na matriz energética nacional (Lei n. 13.576, 2017). O artigo quarto da lei nº 13.576/17 se apresenta como segue:

Art. 4º São instrumentos da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), entre outros:

I - as metas de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na matriz de combustíveis de que trata o Capítulo III desta Lei;

II - os Créditos de Descarbonização de que trata o Capítulo V desta Lei;

III - a Certificação de Biocombustíveis de que trata o Capítulo VI desta Lei;

IV - as adições compulsórias de biocombustíveis aos combustíveis fósseis;

V - os incentivos fiscais, financeiros e creditícios; e

VI - as ações no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.

Gueri et al. (2016) citam pelo menos 16 tipos de normativas nacionais diferentes para aprimorar a estruturação do biogás e do biometano na matriz energética brasileira. Entretanto, os autores explicam que, apesar da quantidade relevante, essas leis não são direcionadas especificamente para a orientação da logística de produtividade do biogás e da purificação até o biometano, fazendo notar que a discussão acerca desse tema ainda está direcionada para formas de inserir essas fontes energéticas na matriz do Brasil daqui a um determinado período.

As resoluções da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) nº 482/12 e nº 687/15 representam um marco na legislação de incentivo a utilização de energias renováveis para produzir eletricidade, entre eles a biomassa (ALTOÉ et al., 2017). A resolução nº 482/12 constitui os sistemas de acesso a micro e minigeração distribuída e de compensação por energia produzida em pequenas unidades geradoras de eletricidade. Ou seja, estabelece que um determinado consumidor, em caso de produção elétrica oriunda de determinadas fontes renováveis, pode ceder parte de sua distribuição para a rede local e posteriormente ser recompensado com tipos diferentes de créditos (ANEEL, 2016). Em formato de revisão desta norma, foi promulgada a resolução nº 687/15, a qual teve por objetivo adequar aspectos e estabelecer normativas novas para ampliar as possibilidades de unidades de micro e minigeração distribuída, autorizando a produção elétrica proveniente de quaisquer fontes renováveis, além de orientações para a organização de consórcios, cooperativas, aumento do prazo para a utilização dos créditos, possibilidade de utilização dos créditos em diferentes instalações de um mesmo titular, entre outros benefícios (ANEEL, 2018).

No Estado de São Paulo, foi instituído em 2012 o Programa Paulista de Biogás, cujo objetivo é aumentar a produção biometano a partir de resíduos do setor sucroenergético, o qual seria integrado na rede de gás natural canalizada e disponibilizada para a população (Decreto n. 58.659, 2012). Em relação a esse decreto, o Governo do Estado de São Paulo – GESP, anunciou em 2015 um projeto no interior do estado para a criação de uma planta piloto de produção do biometano o qual previa gerar 25 milhões de m³ de biometano até 2020, entretanto, não foram encontrados mais detalhes e novas informações a respeito desse projeto (GESP, 2015). Ainda no estado paulista, em 2013 foi criado o Programa Paulista de Biocombustíveis, no qual o biogás e o biometano são citados no parágrafo sexto do decreto, no sentido de ser autorizada sua utilização em veículos da administração governamental

(Decreto n. 59.038, 2013). Novamente não foram encontradas novas informações a respeito de ações voltadas para esse programa atualmente.

Em 2016, a Comissão do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (<https://www.camara.leg.br/noticias/502418-meio-ambiente-aprova-normas-para-uso-debiogas/>, recuperado em 14 de maio, 2020), modificou o texto original da lei 12.187/09 que determina a Política Nacional sobre Mudança do Clima, tornando as normativas mais adequadas para a produção de biogás em escalas menores principalmente no contexto rural. Além disso, a energia produzida a partir do biogás não receberão tributações, sendo assim um incentivo para a ampliação do uso desse recurso energético na matriz nacional.

3 Procedimentos Metodológicos

A seguir serão descritos os itens que descrevem os mecanismos metodológicos que nortearam o presente estudo.

3.1 Delineamento da pesquisa

O método de pesquisa qualitativa é adotado quando o estudo tem por objetivo identificar determinadas características estruturais que propicie variáveis não detectáveis por métodos quantitativos, segundo Creswell (2014). Além disso, conforme este autor, a pesquisa qualitativa possibilita o aprofundamento da investigação de um dado cenário, e apresentar como um certo fenômeno acontece.

Quanto ao objetivo, este estudo foi classificado como exploratório. Gasque (2007) discorre que na pesquisa exploratória são realizadas revisões sistemáticas da literatura e entrevistas com pessoas que possuem certa experiência acerca do assunto estudado, uma vez que o principal objetivo desse estudo foi fornecer informações que permitam maior identificação estrutural de uma dada temática.

O estudo foi dividido em duas partes principais, conforme apresentado na figura 7, abaixo.

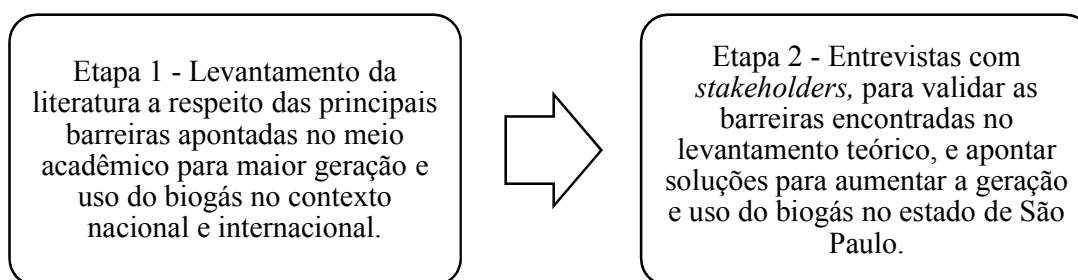


Figura 7. Etapas da pesquisa.
Fonte: elaborado pela autora (2021).

3.2 Procedimentos de coleta dos dados

3.2.2 Revisão sistemática da literatura

A primeira etapa do presente estudo consistiu em uma revisão sistemática da literatura. Donato e Donato (2019, ps. 227 e 228) destacam que o fomento desse procedimento é embasado nos critérios descritos abaixo:

- i. Deve ser exaustiva: toda a literatura relevante na área deve ser incluída.
- ii. Deve ser seguida uma metodologia rigorosa – definir a questão de investigação, escrever um protocolo, pesquisar a literatura, recolher e fazer a triagem e a análise da literatura. Todo o processo também deve ser cuidadosamente documentado.
- iii. Uma pesquisa exaustiva da literatura para encontrar todos os artigos relevantes sobre o tópico. Assim, é importante que a estratégia de pesquisa seja rigorosamente desenvolvida com alta sensibilidade para encontrar todos os potenciais artigos relevantes e efetuar essa pesquisa em várias bases de dados e em outros recursos.
- iv. Pelo menos duas pessoas devem estar envolvidas, especialmente para triagem de artigos e extração de dados.

É essencial que as etapas de extração de dados em uma revisão sistemática sejam detalhadas na pesquisa, visto que a categorização dos temas pesquisados estruturam o estudo como um todo, permitindo a exploração completa do objeto de estudo (Tranfield, Denyer, & Smart, 2003).

A coleta de dados para a revisão sistemática da literatura foi realizada entre os meses de janeiro e fevereiro de 2021. A primeira etapa se deu pela busca nas bases de dados Scopus e Web of Science. Em ambas as bases de dados, foram utilizadas os conjuntos de palavras-chave “biogas barriers” e “biogas challenges worldwide”, uma de cada vez. O critério de busca considerou todas as literaturas existentes nas bases de dados que foram levantadas a partir dessas *strings*. Portanto, foram feitas 4 buscas diferentes, e a para cada uma delas foi estabelecido um código de identificação: S0, S1, S2 e S3. Para cada uma das buscas, foi utilizado um filtro temporal de 10 anos (2011-2021).

Na segunda etapa, foi realizada a leitura dos resumos de cada um dos artigos encontrados nas bases de dados, e foram selecionados estudos de acordo com a pertinência em relação ao tema desta pesquisa. Ao todo, foram aceitos 91 artigos nesta etapa (Tabela 1). Na coleta S3, referente à busca na Web of Science com o conjunto de palavras-chave “biogas challenges worldwide”, nenhum artigo foi selecionado para a etapa seguinte da revisão sistemática.

Base de dados	Código de busca	Palavras-chave	Quantidade de artigos encontrados	Quantidade de artigos selecionados após leitura dos resumos
Scopus	S0	“biogas barriers”	303	51
Scopus	S1	“biogas challenges worldwide”	53	16
Web of Science	S2	“biogas barriers”	287	24
Web of Science	S3	“biogas challenges worldwide”	42	0
Total: 91 artigos				

Tabela 1. Segunda etapa da coleta de dados para revisão sistemática da literatura.
Fonte: elaborado pela autora (2021).

A partir da terceira etapa, os dados foram exportados para o software StArt, criado por pesquisadores do Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software da Universidade Federal de São Carlos/SP (UfScar). Após análise inicial dos 91 artigos, foram excluídos aqueles que não tinham compatibilidade com a revisão sistemática por conta de seu conteúdo, além de serem descartados artigos publicados em congresso. No total, nessa fase, foram excluídos 30 artigos, restando, portanto, 61 artigos na revisão sistemática.

Base de dados	Código de busca	Palavras-chave	Quantidade de artigos aceitos na segunda etapa	Quantidade de artigos selecionados para a terceira etapa
Scopus	S0	“biogas barriers”	51	35
Scopus	S1	“biogas challenges worldwide”	16	7
Web of Science	S2	“biogas barriers”	24	19
Total: 61 artigos				

Tabela 2. Terceira etapa da coleta de dados para revisão sistemática da literatura:
Fonte: elaborado pela autora (2021).

Os 61 artigos restantes passaram para a quarta etapa de revisão. Nesta fase, os artigos foram lidos por inteiro, e foram extraídos os dados que serão apresentados nos resultados. Foram excluídos 34 estudos por conta de duplicação ou por falta de compatibilidade com os critérios de inserção na revisão sistemática. Para os resultados, portanto, foram selecionados de forma definitiva 27 artigos.

Base de dados	Código de busca	Palavras-chave	Quantidade de artigos aceitos na quarta etapa
Scopus	S0	“biogas barriers”	23
Scopus	S1	“biogas challenges worldwide”	1
Web of Science	S2	“biogas barriers”	3
Total: 27 artigos			

Tabela 3. Quarta etapa da coleta de dados para revisão sistemática da literatura:

Fonte: elaborado pela autora (2021).

3.2.3 Entrevistas

Na segunda etapa da coleta de dados, foram aplicadas nessa pesquisa, entrevistas seguindo um roteiro semi-estruturado, o qual é adequado para o objetivo de identificar variáveis dentro do contexto do objeto de estudo (Mattos, 2005). Além disso, a oportunidade de o entrevistado oferecer um ponto de vista técnico ou empírico a respeito do tema traz robustez e permite a comparação das ideias oferecidas pela pessoa entrevistada com outras pesquisas-base que também se utilizaram dessa mesma metodologia.

Os dados foram coletados a partir de entrevistas com 9 *stakeholders* da cadeia de produção e uso do biogás associados com variáveis técnicas, econômicas e ambientais, além de especialistas do meio acadêmico. Todos os especialistas entrevistados são pesquisadores que trabalham em diferentes contextos com o biogás. Dado a este fato, foi designada a letra “P” separado por numerais de acordo com a ordem de data em que as entrevistas foram feitas, ou seja, para a primeira entrevistada na coleta de dados empírica foi dado o código P1, para o segundo P2, e assim por diante.

A escolha dos *stakeholders* citados no quadro 1 foi embasada no estudo realizado por Mittal, Ahlgren e Shukla (2018), no qual tanto o apontamento das principais barreiras para disseminação do biogás na Índia, quanto para as soluções para o aprimoramento desse cenário, foi obtido a partir de especialistas de ramos variados relacionados ao biogás.

O convite aos entrevistados se deu após a análise de seus respectivos currículos acadêmicos e profissionais. Foram encaminhados e-mails informando os dados relevantes a respeito da pesquisa, bem como a descrição do procedimento de entrevista. No total 41 pessoas foram convidadas a contribuir com a pesquisa. 6 pessoas declinaram a participação, 26 não responderam, e 9 aceitaram o convite.

As entrevistas tiveram duração máxima de uma hora, e foram realizadas entre os dias 29/03/2021 e 21/05/2021 de forma virtual. Os áudios foram gravados com o consentimento de cada um dos entrevistados, e posteriormente foram arquivados para o melhor detalhamento dos pontos de vista dos especialistas na transcrição dos resultados e discussão.

A especificação dos perfis de cada um dos entrevistados está descrito na tabela 4:

Código	Descrição	Data da entrevista:
P1	Pesquisadora 1: Engenheira química de formação, é mestre e doutora em energia pela Universidade de São Paulo (USP). É docente do programa de Pós Graduação em Energia (PPGE) oferecido pela Universidade de São Paulo. Possui décadas de experiência atuando com linhas de pesquisas aplicadas a diferentes tipos de geração energética a partir da biomassa, entre elas, o biogás. (Informações retiradas da plataforma Lattes).	26/03/2021
P2	Pesquisador 2: Doutorando em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá / MG. Mestre em Engenharia de Energia pela mesma instituição. É docente em cursos superiores oferecidos também pela Universidade Federal de Itajubá. Possui experiência em pesquisas relacionadas com a produção de biogás, especificamente a otimização das etapas de produção de energia oriunda do gás. (Informações retiradas da plataforma Escavador).	30/03/2021
P3	Pesquisador 3: Graduado em Engenharia Ambiental, mestre em Bioenergia pelo programa em rede UFPR, UEM, UEL, UEPF, UNICENTRO e UNIOESTE desenvolvido na Universidade Estadual do Oeste do	31/03/2021

	Paraná (UNIOESTE). Coordenador do Programa Cidades Sustentáveis, desenvolvido pela Itaipu Binacional. Possui experiência acadêmica em pesquisas voltadas para produção energética a partir do biogás e outras diferentes fontes renováveis. (Informações retiradas da plataforma Escavador)	
P4	Pesquisador 4: É engenheiro ambiental de formação, especialista em Gestão Ambiental em Municípios e mestre em Geografia, Meio ambiente e Desenvolvimento pela UEL – Londrina. Atua como diretor no Centro Internacional de Energias Renováveis (CiBiogás), além de experiência em pesquisas associadas às diversas etapas de produção e uso do biogás (Informações retiradas da plataforma Escavador).	06/04/2021
P5	Pesquisador 5: Mestre em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente pelo Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente do Governo de São Paulo. Doutor em Energia pela Universidade Federal do ABC. Possui experiência como Analista Ambiental em empresa de consultoria ambiental, com função direcionada para atender ao tratamento de resíduos sólidos urbanos e industriais e empreendimentos de valorização ambiental e energética de resíduos e aterros sanitários. Atualmente é docente na Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP) e atua em linha de pesquisa acadêmica voltada para biogás, entre outros tópicos (informações retiradas da plataforma Escavador).	10/05/2021
P6	Pesquisadora 6: Profissional atuante na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) como superintendente de pesquisa, desenvolvimento, inovação e novos negócios. Faz parte de projetos voltados para a recuperação energética de resíduos em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto (informações fornecidas pela entrevistada na ocasião da entrevista).	11/05/2021
P7	Pesquisador 7: Engenheiro civil de formação, é mestre e doutor pela Escola Doutoral <i>Chimie de Lyon</i> (França), reconhecido pela Universidade Federal de Santa Catarina no programa de pós graduação em Engenharia Ambiental. Atualmente é docente na Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Tem experiência em pesquisas voltadas para o pré tratamento mecânico e	13/05/2021

	biológico de resíduos nas suas diversas aplicações, incluindo a produção de biogás a partir desses materiais (informações retiradas da plataforma Escavador).	
P8	Pesquisador 8: Graduado em Ciências Biológicas, possui Licenciatura em Ciências Físicas e Químicas, Pós-Graduação em Ciências do Ambiente - PUC Minas, mestrado em Saneamento, doutorado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos (2003) - DESA/UFMG. Atualmente é docente na instituição de ensino IFTM Campus Uberaba / MG. É ainda responsável pela Câmara Técnica de Resíduos Sólidos e Efluentes do NIEA (Ministério Público de MG e Ministério Público Federal) e faz parte do grupo de professores multiplicadores do Projeto Biogás: ME-LE Energietechnik GmbH (Alemanha) - STEC/MEC - IFTM/IFM.	18/05/2021
P9	Pesquisador 9: Formado em engenharia ambiental, é ainda mestre e doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pelo Departamento de Energia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atua com pesquisas associadas à implementação de projetos de saneamento e gestão integrada de resíduos. Possui o cargo de engenheiro de processos no EcoParque da Companhia Municipal de Limpeza Urbana da Cidade do Rio de Janeiro, sendo responsável técnico de unidades de biometanização e aproveitamento energético do biogás, entre outras atribuições (informações retiradas da plataforma Escavador).	21/05/2021

Tabela 4. Dados dos especialistas entrevistados na coleta de dados empírica.
Fonte: elaborado pela autora (2021).

3.3 Procedimento de análise de dados

3.3.1 Revisão sistemática da literatura

Na primeira parte do estudo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura. Segundo Sampaio e Mancini (2007) uma revisão sistemática da literatura permite explorar o contexto geral de um assunto ou de temáticas associadas a um assunto não tão corriqueiro no meio acadêmico. A partir dessa análise, é possível comparar e discutir dados, encontrar *gaps* no estado da arte de um determinado tópico, embasando uma pesquisa complementar que tem como objetivo enriquecer o arcabouço teórico existente ao tema.

Para esse estudo, a análise da revisão sistemática da literatura foi realizada a partir de uma análise temática, que possibilita a comparação de detalhes de um dado contexto na pesquisa (Onwuegbuzie, Leech, & Collins, 2012). A síntese dos resultados encontrados constitui em uma descrição dos termos comuns em tópicos que organizam as ideias propostas por diferentes autores.

A análise da revisão sistemática da literatura da presente pesquisa foi feita de forma a identificar no arcabouço teórico, as principais barreiras, oportunidades e soluções apontados pelos autores, no sentido de mensurar os principais tópicos abordados nesses estudos e utilizar essa base de conhecimento para estruturar, posteriormente, o roteiro de entrevistas. Posteriormente, todo o conteúdo apresentado na revisão sistemática da literatura embasou a discussão acerca dessas barreiras com as informações coletadas nas entrevistas.

3.5.2 Análise de conteúdo

Na segunda etapa, foi realizada a análise de conteúdo. Bardin (1977) explica que essa técnica é primordial em pesquisas de caráter exploratório, uma vez que é essa investigação que permite a coleta de informações acerca do objeto de estudo. De acordo com Moraes (1999) essa metodologia embasa abordagens quantitativas e qualitativas, e a pesquisa teórica com base em análises de conteúdo traz profundidade e variáveis que estão além da simples demonstração de resultados, viabilizando a explicação lógica que não está relacionada somente com fórmulas ou contextos pré-determinados.

A análise de dados pode ser organizada em três fases principais, sendo essas a pré-análise, a exploração do material e a interpretação. A fase de pré-análise se dá pela separação dos resultados de acordo com os temas que os consistem, a exploração do material é a descrição desses resultados propriamente ditos e a exploração é feita com a interpretação dos resultados e discussão com autores de referência (Silva & Fossá, 2015).

Os dados coletados foram transcritos de forma a tornar evidente o posicionamento dos entrevistados, uma vez que o presente estudo busca trazer à luz um contexto com uma série de variáveis complexas. As perguntas serão direcionadas para a obtenção de respostas opinativas a respeito do tema, e portanto, é essencial que a experiência dos *stakeholders* esteja clara. Essa abordagem permitiu uma discussão produtiva em relação aos resultados encontrados na revisão sistemática da literatura, fornecendo um resultado que seja robusto e sensato para a pesquisa como um todo. Tal método de transcrição é embasado no estudo proposto por McLellan, MacQueen e Neidig (2003).

4. Resultados e discussão

Foi identificado um padrão em relação aos tipos de barreiras encontradas na literatura. De forma geral, se dividem entre gargalos associados com economia, aspectos técnicos, sociais, e políticos. Entre todas as 27 literaturas analisadas, a barreira de menor prevalência foi a social. As barreiras econômicas, técnicas e políticas tiveram a mesma quantidade de ocorrências, considerando todas as pesquisas examinadas. A compilação desses dados está exemplificada na figura 8:

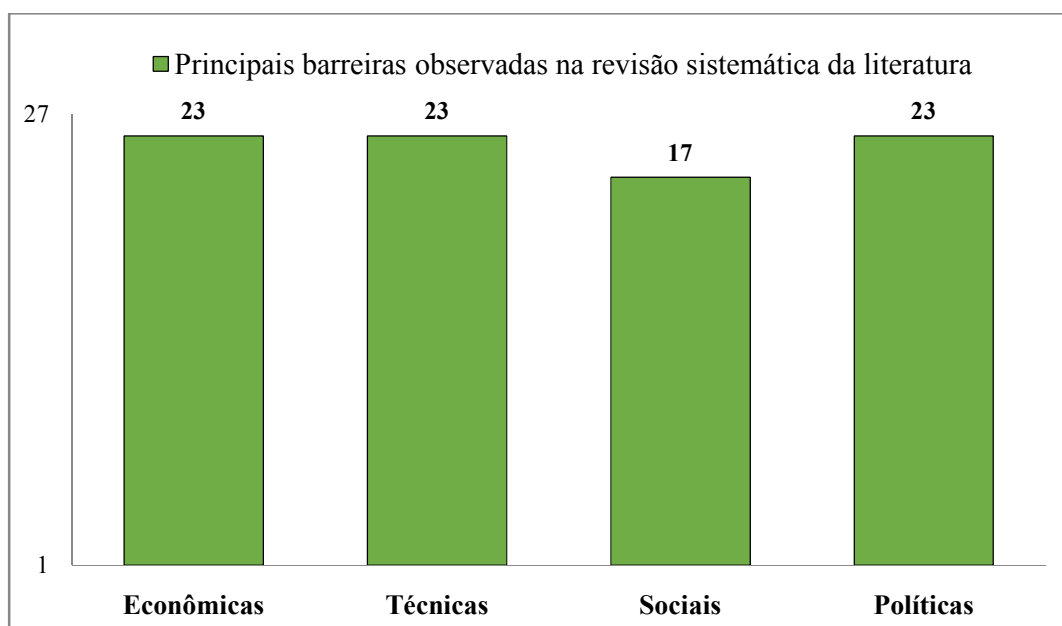


Figura 8. Principais barreiras observadas na revisão sistemática da literatura.
Fonte: elaborado pela autora (2021).

Ao todo, a revisão sistemática da literatura englobou artigos de três continentes – África, Ásia e Europa. Essas localidades apresentaram certas particularidades em relação às condições em que as pesquisas se encaixaram, e portanto, o tópico de resultados da revisão sistemática da literatura está apresentado com a separação entre cada um desses continentes e as respectivas barreiras identificadas nas literaturas correspondentes.

No que diz respeito a apresentação da análise de dados empírica, as informações foram distribuídas em dois tópicos distintos, um em relação a barreiras e outro em relação a soluções propostas pelos entrevistados. Em cada um dos itens, a discussão foi realizada junto da exibição dos dados, com o objetivo de tornar mais dinâmica a estrutura do texto,

apresentando as similaridades e diferenças das falas dos especialistas convidados e das pesquisas analisadas na revisão sistemática da literatura.

4.1 Resultados da revisão sistemática de literatura

4.1.1 Barreiras para produção e uso do biogás na África

Na África foram identificados 4 artigos, os quais foram publicados entre os anos 2015 e 2021. Todos os estudos especificaram os contextos de estudo. Em relação às barreiras discutidas, com exceção da pesquisa de Shane, Gheewala e Kafwembe (2017) que não especificou barreiras técnicas, todos os artigos apresentaram os quatro tipos de entraves considerados na revisão da literatura. A figura 9 sumariza as informações a respeito das literaturas analisadas em território africano.

Autores	Ano	País	Contexto	Barreiras			
				Econômica	Técnica	Social	Política
Mukeshimana et al., 2021	2021	Ruanda	Rural	x	x	x	x
Rupf et al., 2015	2015	África Sub-Saariana	Rural/Urbano	x	x	x	x
Nethengwe, Uhumamure & Tinarwo, 2018	2018	África do Sul	Rural/Urbano	x	x	x	x
Shane, Gheewala & Kafwembe, 2017	2017	Zâmbia	Urbano	x	-	x	x

Figura 9. Principais barreiras identificadas na África

Fonte: elaborado pela autora (2021).

No que tange aos países africanos, a maior parte dos estudos analisados apontam para pesquisas feitas com o uso de biodigestores em residências. Nesta análise, apenas o estudo apresentado por Shane, Gheewala e Kafwembe (2017) abordou as barreiras para produção e uso do biogás a partir do resíduo urbano, no caso, na cidade de Kitwe, na Zâmbia. Todos os países africanos presentes nesta análise de dados - Ruanda (Mukeshimana et al., 2021), África Sub-Saariana (Rupf et al., 2015) África do Sul (Nethengwe, Uhumamure & Tinarwo, 2018) e Zâmbia (Shane, Gheewala & Kafwembe, 2017) deixaram explícita a

dependência desses países no uso da lenha para produção energética por parte da população, que vive nas cidades uma dinâmica de atividades com características rurais, ainda que alguns dos municípios sejam consideradas áreas urbanas. De forma geral, os estudos na África incluídos nesta pesquisa não apresentaram diferenças significativas nas barreiras observadas nos dois contextos. Portanto, um dos principais pontos em comum entre todos os artigos estudados direciona para a conclusão de que o biogás é visto como uma alternativa não só para a questão do desmatamento, como também para que os moradores tenham mais acesso a energia, no caso, para fins de aquecimento.

A principal barreira econômica identificada, em todos os estudos na região do continente africano, foi o alto custo de implantação e manutenção das plantas de biogás. Tanto em locais de estudo concentrados em áreas rurais, como em Ruanda (Mukeshimana et al., 2021) e contextos mistos, como na África Sub-Saariana (Rupf et al., 2015) os autores afirmaram que são barreiras econômicas a falta de subsídios para a criação de projetos de produção do biogás. Para Nethengwe, Uhumamure e Tinarwo (2018) a competição com as fontes eólica e solar, já melhor estabelecidas na África do Sul, travam a comercialização do biogás considerando também regiões rurais e urbanas. Já na Zâmbia, foi listada como entrave financeiro a falta de recursos para a separação do resíduo orgânico municipal da cidade de Kitwe, levando em consideração o contexto de estudo urbano (Shane, Gheewala & Kafwembe, 2017).

Quanto aos obstáculos técnicos, ficaram evidentes em todas as pesquisas que citaram esses entraves a falta de conhecimento técnico dos atores envolvidos nos projetos. Foi comentada a baixa qualidade de biodigestores, que prejudicam todo o processo geracional do gás na África Subsaariana por serem compostos em sua maioria de materiais de alvenaria, levando a rachaduras e outros danos estruturais do equipamento (Rupf et al., 2015). Em Ruanda, os autores afirmaram que os substratos são de má qualidade, além de não passarem por processos de tratamento antes de serem inseridos nos equipamentos (Mukeshimana et al., 2021). Na África do Sul, o grande entrave técnico observado foi a falta de áreas próprias para a instalação das plantas, seja por serem em locais inadequados para a operação, seja por serem terrenos de pequenas dimensões (Nethengwe, Uhumamure & Tinarwo, 2018).

Na África, foram muito relevantes as barreiras sociais como impedimento para maior produção e uso do biogás, especificamente na África Sub-Saariana (Rupf et al., 2015), África do Sul (Nethengwe, Uhumamure & Tinarwo, 2018) e Ruanda (Mukeshimana et al., 2021). De acordo com os autores destes estudos, mesmo abordando regiões rurais e urbanas, os projetos de produção de biogás nessas localidades são domésticos, tornando necessária a participação

direta da população na manutenção dos biodigestores. Nesse sentido, os empecilhos se dão pela falta de interesse dos moradores em assumir a responsabilidade sobre os processos, atrelada à preferência local no uso da lenha para produzir energia, por conta da disponibilidade mais acessível desta matéria prima. Em Kitwe, Zâmbia, conforme destacado por Shane, Gheewala e Kafwembe (2017), o biogás oriundo de resíduos urbanos enfrenta a dificuldade associada com os baixos índices de coleta de lixo comum, que é oferecida a somente 40% da população de Kitwe. Para os autores, este fato evidencia que a prioridade da população local é a universalização de serviços básicos, e não a adoção de práticas de produção de biogás.

A barreira política mais relevante na África foi a falta de políticas públicas básicas, tanto de estruturação do fomento ao biogás, quanto de apoio financeiro aos projetos (Shane, Gheewala & Kafwembe, 2017; Rupf et al., 2015; Nethengwe, Uhunamure & Tinarwo, 2018; Mukeshimana et al., 2021). Para os países da África Subsaariana Rupf et al. (2015) destacam que há uma relevante falta de consenso entre os gestores públicos a respeito da estruturação de projetos de produção de biogás residencial, no sentido em que existem divergências sobre as responsabilidades do poder público e da população nesses processos. Nesse contexto, Mukeshimana et al. (2021) afirmam que a decadência no planejamento de normativas está atrelado com a pouca cooperação e coordenação institucional dos agentes públicos, deixando clara a influência da agenda política falha que existe na África de forma geral.

4.1.2 Barreiras para produção e uso do biogás na Ásia

Na Ásia, foram encontrados 10 artigos, os quais foram publicados entre os anos de 2011 a 2020. O principal contexto de pesquisa foi rural. O tipo de barreira mais citada foi a técnica, discutida em todos os artigos observados na revisão sistemática da literatura nesta região. Em contrapartida, o obstáculo menos discutido foi social.

Nesta análise, os países da Ásia apresentaram de modo geral dificuldades e contextos semelhantes à África. É interessante ressaltar que a maior quantidade de estudos neste continente foi concentrada na China (Huanyun et al., 2013; Wang et al., 2011; Jiang, Sommer & Christensen, 2011; Feiz et al., 2019).

Autores	País	Contexto	Barreiras			
			Econômica	Técnica	Social	Política
Amir et al., 2020	Paquistão	Rural	x	x	x	x
Hasan et al., 2020	Bangladesh	Rural	x	x	x	x
Bekchanov et al., 2019	Sri Lanka	Rural/ Urbano	x	x	x	x
Breitenmoser et al., 2019	Índia	Urbano	x	x	-	-
Feiz et al., 2019	China	Urbano	-	x	x	x
Bößner et al., 2020	Indonésia	Rural	x	x	-	x
Schmidt & Dabur, 2014	Índia	Não especificado	x	x	x	x
Huanyun et al., 2013	China	Rural	x	x	-	-
Wang et al., 2011	China	Não especificado	x	x	-	x
Jiang, Sommer & Christensen, 2011	China	Rural/ Urbano	x	x	-	x

Figura 10. Principais barreiras identificadas na Ásia.

Fonte: elaborado pela autora (2021).

Em áreas rurais asiáticas, a principal barreira econômica citada foi a falta de subsídios do governo para a criação de projetos em Paquistão, Bangladesh, Indonésia e China, respectivamente. Nestes estudos foram analisadas as possibilidades da adoção de práticas de produção de biogás domésticas (Amir et al., 2020; Hasan et al., 2020; Bößner et al., 2020; Huanyun et al., 2013). Além disso, foram mencionadas ainda a competição com fontes melhor estabelecidas que são ofertadas para regiões rurais (Hasan et al., 2020; Bößner et al., 2020) e a falta de renda que impede a população de adquirir biodigestores caseiros (Amir et al., 2020; Huanyun et al., 2013). Os estudos de Bekchanov et al. (2019), no Sri Lanka, e de Jiang, Sommer e Christensen (2011), na China consideraram tanto áreas rurais quanto urbanas, e ambos identificaram altos custos de implantação e manutenção como sendo os principais entraves econômicos. Já Wang et al. (2012) descrevem custos de distribuição do gás como empecilho. Nas áreas urbanas, Breitenmoser et al. (2019) indicam que a falta de renda para a utilização de biodigestores na Índia são a principal barreira econômica. A pesquisa de Schmidt e Dabur (2014) não especifica o contexto de estudo, citando a dificuldade de abertura de mercado para comercialização do gás e falta de investidores interessados como barreiras econômicas também na Índia.

A respeito de barreiras técnicas, no Paquistão (Amir et al., 2020), Bangladesh (Hasan et al., 2020) e China (Huanyun et al., 2013), as áreas rurais enfrentam a falta de substrato de qualidade para produzir o biogás. As pesquisas de Amir et al. (2020) e Hasan et al. (2020)

detectaram ainda a falta de espaço adequado para alocar as plantas de biogás, ainda associado à regiões rurais. O maior obstáculo técnico na Ásia encontrado nesta análise de dados, que contemplou todos os contextos de pesquisa, foi a má qualidade de biodigestores. Suas estruturas são simples, tornando-os inadequados para receberem a quantidade e os diferentes tipos de substratos (Böbner et al. 2019; Huanyun et al., 2013; Breitenmoser et al., 2019; Bekchanov et al., 2019; Wang et al., 2012; Jiang, Sommer&Christensen, 2011).

As maiores dificuldades, no que tangerem barreiras sociais, foram a falta de conhecimento da população a respeito do processo de produção do biogás e também a falta de interesse em fazer parte dos projetos, que foi desencadeado pela premissa de que os próprios moradores precisariam adquirir seus biodigestores e se responsabilizarem pela produção. Este aspecto foi notado tanto em áreas urbanas quanto rurais na Ásia.(Amir et al., 2020; Bekchanov et al., 2019; Hasan et al., 2020; Schmidt &Dabur, 2014; Feiz et al., 2019).

A grande maioria das pesquisas observadas ressalta que os países estudados não contam com políticas públicas de incentivo ao biogás, sendo esta a principal barreira política em todos os contextos de pesquisa (Hasan et al., 2020; Bekchanov et al., 2019; Schmidt &Dabur, 2014; Wang et al., 2012; Jiang, Sommer & Christensen, 2011; Feiz et al., 2019). Na China,Jiang, Sommer e Christensen (2011) e Feiz et al. (2019) indicam impasses com normativas de fomento ao biogás, deixando evidente que em oito anos de discussão não houveram grandes avanços.

Os casos de Bangladesh (Hasan et al., 2020) e Indonésia (Böbner et al., 2019) frisam ainda o obstáculo associado com as agendas políticas dos países. Segundo os autores de ambos os estudos, não é uma pauta nas discussões entre as autoridades competentes a priorização em incluir de forma mais relevante a biomassa nas respectivas matrizes energéticas, situação que é explicada pelo nível de desenvolvimento de ambas as nações, que preza ainda pelo foco em normativas que visam aumentar a oferta de serviços muito básicos para suas populações, buscando aperfeiçoar a oferta energética que já possuem.

4.1.3 Barreiras para produção e uso do biogás na Europa

Foram analisados 13 estudos na Europa. A maior parte das pesquisas nesta região não especificaram o contexto da área de estudo. A barreira mais comentada nos artigos foi a política, presente em 11 das 13 pesquisas. A barreira com menor prevalência foi a social, observada em 8 dos 13 artigos.

Autores	País	Contexto	Barreiras			
			Econômica	Técnica	Social	Política
Nevzorova, 2020	Rússia	Não especificado	x	x	-	x
Pilloni, Hamed & Joyce, 2020	Israel	Rural	x	x	x	x
Petravić-Tominac et al., 2020	Croácia	Não especificado	-	x	-	x
Mateescu & Dima, 2020	Romênia	Rural	x	x	x	x
Dahlgren, Kanda & Anderber, 2019	Suécia	Não especificado	x	x	x	x
Fenton & Kanda, 2017	Dinamarca/Suíça	Urbano	x	-	x	x
Särkilähti et al., 2017	Finlândia	Urbano	x	-	-	-
Capodaglio, Gallegari & Lopez, 2016	Europa	Não especificado	x	x	x	x
Pazera et al., 2015	Áustria, República Tcheca, França, Alemanha e Polônia	Não especificado	x	x	x	x
Cvetković et al., 2014	Sérvia	Não especificado	x	x	-	x
Muradin & Foltynowicz, 2014	Polônia	Rural	-	-	x	x
Börjesson & Ahlgren, 2012	Suécia	Não especificado	-	x	-	-
Roose et al., 2012	Estônia	Rural/Urbano	x	x	x	x

Figura 11. Principais barreiras identificadas na Europa.
Fonte: elaborado pela autora (2021).

Na Europa, o biogás se encaixa em contextos diferentes e mais diversos, divididos entre projetos tanto em áreas rurais quanto em áreas urbanas.

No que diz respeito a barreiras econômicas, a competição da energia oriunda do biogás com outras fontes mais utilizadas foi o entrave mais citado em estudos que não deram especificidade de área urbana ou rural (Nevzorova, 2020; Dahlgren, Kanda & Anderber, 2019; Capodaglio, Gallegari & Lopez, 2016; Pazera et al., 2015; Cvetković et al., 2014). Nas áreas rurais da Europa, o estudo de Pilloni, Hamed e Joyce (2020) foi aplicado à possibilidade de produção de biogás em aldeias beduínas em Israel, que vivem sua dinâmica de atividades sendo basicamente rural. Para esta localidade, os autores apontaram como barreiras econômicas a falta de incentivos governamentais para o fomento de uma planta de biogás. Já na Romênia, Mateescu e Dima (2020) ressaltam que o país vive predominantemente da atividade agrícola e possui disponibilidade relevante de substratos para produzir biogás em grande quantidade. Entretanto, os autores destacam que para o país os custos de instalação das plantas de biogás são altos, além dos recursos públicos limitados e voltados para outros fins de produção energética e gestão dos resíduos.

Em áreas urbanas na Europa, a pesquisa de Fenton e Kanda (2017), identificou que, para o aumento da produção de biogás a partir de resíduos orgânicos na cidade suíça de Basel e em Odense, na Dinamarca, existem barreiras econômicas associadas com a competição em

relação ao gás natural, que tem preço nas regiões, conflitando com os altos valores de produtividade energética do biogás para ambos os municípios. Na cidade de Tampere, na Finlândia, Särkilahti et al. (2017) observaram que a principal barreira econômica para se produzir biogás a partir dos resíduos sólidos urbanos residenciais. Os autores explicam que os obstáculos estão direcionados para a dificuldade dos gestores políticos em dividir os recursos públicos entre a manutenção da gestão de resíduos comum, que é concentrada em aterros sanitários, e entre a fomentação de uma nova estrutura de reaproveitamento energético com a implementação de unidades de produção descentralizada de biogás a partir desses dejetos. Considerando ambos os contextos de estudo, Roose et al. (2012) avaliam que a Estônia enfrenta dificuldades financeiras para produzir biogás visto que, em áreas rurais não estão disponíveis incentivos financeiros públicos para produtores agrícolas, além do fato de que nas áreas urbanas o biogás gerado seria direcionado para ser combustível veicular, esbarrando nos altos valores de purificação para o biometano.

No que tange barreiras técnicas, na Europa diversos desses empecilhos foram citados em diferentes tipos de contexto de pesquisa, como por exemplo a falta de especialistas para a criação e operação dos projetos, fator observado por autores tanto em áreas urbanas, rurais e aquelas não especificadas (Mateescu & Dima, 2020; Nevzorova, 2020; Cvetković et al., 2014; Roose et al., 2012). Destacaram-se ainda aspectos de infraestrutura e logística, como as redes para distribuir o biogás e formas de armazenamento e transporte (Dahlgren, Kanda & Anderber, 2019; Börjesson & Ahlgren, 2012; Roose et al., 2012) e a dificuldade na separação dos resíduos orgânicos para o redirecionamento até as plantas de biogás (Capodaglio, Gallegari & Lopez, 2016; Pazera et al., 2015).

Alguns estudos no continente europeu aprofundaram suas investigações em relação a barreiras técnicas mais específicas. Petravić-Tominac et al. (2020) explicaram que na Croácia, de forma geral, há barreiras técnicas em relação ao mau uso das terras locais para o cultivo de vegetações que poderiam servir de substratos para a produção do biogás. Além disso, os autores destacaram que o país possui alta geração de resíduos florestais, que são em muitas ocasiões direcionados a aterros sanitários, enquanto poderiam ser direcionados para o aproveitamento energético. O caso apresentado na Suécia por Dahlgren, Kanda e Anderber (2019) investigou possibilidades de empresas do ramo de transportes rodoviário, marítimo e da indústria manufatureira em adotar projetos de biogás. Para o setor de indústria, o principal obstáculo técnico foi no sentido de os próprios comércios investirem em sistemas de produção e uso do biogás, e neste contexto a dificuldade se deu pela falta de conhecimento técnico acerca dos processos e etapas de instalação e operação de uma planta de biogás. Nos setores

de transporte marítimo e rodoviário, os entraves identificados foram a pouca quantidade e baixa qualidade do biometano disponível para atender a demanda de atividades dos veículos.

Para a produção e uso do biogás no município finlandês de Tampere, entraves técnicos foram apontados na separação dos resíduos urbanos que são destinados a aterros, bem como para o tratamento dos efluentes de esgoto, além do obstáculo associado com a distribuição do biogás nas redes de gás existentes na cidade, que por serem distantes dos centros de consumo, acarretariam em certa perda do biogás produzido (Särkilahti et al., 2017).

Em relação a barreiras sociais, segundo Muradin e Foltynowicz (2014), na Polônia a geração de biogás em áreas rurais sofre resistência da população por fatores como cheiro e riscos epidemiológicos relacionados com alguns gases produzidos no processo. A preferência da sociedade por formas convencionais de energia também se fez presente na pesquisa de Capodaglio, Gallegari e Lopez (2016), que abrange todo o território do continente europeu, dada principalmente à necessidade da participação popular em determinados projetos associados com o biogás.

Os *stakeholders* envolvidos no setor de bebida e alimentos abordados por Pazera et al. (2015) na Áustria, República Tcheca, França, Alemanha e Polônia demonstraram não ter conhecimento sobre o biogás, levando à falta de interesse em se engajarem como grandes geradores de resíduos em projetos de reaproveitamento energético do dejetos orgânico produzido em suas indústrias. No caso de proprietários de carros, quando perguntados sobre a possibilidade de se utilizar combustível composto pelo biogás, Fenton e Kanda (2017) afirmam que houve desconfiança e desinformações sobre a qualidade do produto em Basel e Odense, na Suíça, evidenciando a desaprovação popular dos projetos. Moradores de ambientes rurais romenos apresentaram resistência a projetos em suas residências também por preferência a outras fontes, que são melhor estabelecidas, e aqueles que tinham interesse nos projetos citaram processos burocráticos como empecilho para a criação de suas plantas de geração (Mateescu & Dima, 2020).

A maior parte dos estudos no continente mencionaram metas impostas pela União Europeia para tornar as matrizes energéticas dos países europeus mais ambientalmente amigáveis nos próximos anos como um estímulo para dar espaço ao biogás (Dahlgren, Kanda & Anderber, 2019; Mateescu & Dima, 2020; Särkilahti et al., 2017; Capodaglio, Gallegari & Lopez, 2016; Pazera et al., 2015; Cvetković et al., 2014; Muradin & Foltynowicz, 2014; Börjesson & Ahlgren, 2012; Roose et al., 2012; Petravić-Tominac et al., 2020), além do ímpeto em aproveitar uma grande capacidade geracional que não é explorada em sua totalidade, como no caso da Rússia, por exemplo (Nevzorova, 2020).

Entretanto, cabe destacar que ainda que a discussão acerca da renovação da matriz energética europeia com maior participação de energias renováveis tenha sido registrada em artigos de 9 anos atrás (Börjesson & Ahlgren, 2012; Roose et al., 2012), estudos recentes apontam que a principal barreira política observada entre os países europeus estudados segue sendo a não padronização das normativas, que por consequência influenciam todas as outras variáveis, principalmente em países da União Europeia, cujas imposições são rígidas e em alguns casos, limitantes (Mateescu & Dima, 2020; Petravić-Tominac et al., 2020). Um exemplo do poder restritivo da União Europeia nesse sentido é explicado por Mateescu e Dima (2020). Os autores afirmam que há restrições deste bloco em relação às características das matrizes energéticas visando equilibrar a dinâmica geopolítica dos países membros. Entretanto, tais normativas suprem a autonomia de países como a Romênia, que possui características específicas relevantes para produzir e utilizar o biogás a partir de sua atividade rural, e que não são condizentes com as exigências acordadas entre os países da União Europeia. No caso da Croácia, a UE realizou imposições que aumentaram o valor da cabeça de gado no país, e por este motivo menos animais têm sido criados, diminuindo a quantidade de resíduos orgânicos gerados, e por consequência diminuindo a quantidade de biogás produzido a partir de atividades agrícolas no país (Petravić-Tominac et al., 2020).

Além disso, diversos autores registraram falta de políticas públicas básicas de incentivo à produção e uso do biogás em contextos diferentes como o principal obstáculo, evidenciando que em determinadas localidades, ainda que a Europa busque cumprir as agendas mundiais em relação a energia e meio-ambiente incluindo o biogás como instrumento de inovação, em alguns casos essa realidade segue distante (Fenton & Kanda, 2017; Pilloni, Hamed & Joyce, 2020; Muradin & Foltynowicz, 2014; Börjesson & Ahlgren, 2012; Roose et al., 2012).

Em países da União Europeia, é observado o clamor por novas plataformas e estruturas de discussão sobre as normativas colocadas aos países, uma vez que a influência constitucional deste grupo e o nível de desenvolvimento dos países são pontos que dão maior possibilidades aos países europeus em relação à fomentação financeira e de disponibilidade de tecnologias (Petravić-Tominac et al., 2020; Mateescu & Dima, 2020). Há ainda o destaque para a importância de ações conjuntas no que tange a logística do biogás nos países, com a aproximação e comunicação entre os principais *stakeholders* envolvidos em todas as esferas da sociedade (Dahlgren, Kanda & Anderber, 2019). Capodaglio, Gallegari e Lopez (2016) e Roose et al. (2012) afirmam que é necessário entender a capacidade de produção dos projetos de biogás, levando em conta a quantidade de substratos disponíveis, bem como a de

biodigestores, estruturando estudos aprofundados antes da instalação das plantas de biogás, a fim de evitar prejuízos.

4.2. Análise dos dados empíricos

4.2.1 Barreiras

Em relação a barreiras econômicas, os entrevistados P2, P3 e P5 destacaram que a competição com outras fontes melhor estabelecidas na matriz energética paulista e nacional, sejam elas renováveis ou não renováveis, é o grande empecilho para o biogás na região metropolitana de São Paulo, dado principalmente a falta de estruturação da comercialização do gás na região, fato que afasta o interesse de investidores. O fator da competitividade do biogás com outras fontes energéticas foi observado também em áreas urbanas e rurais na África do Sul (Nethengwe, Uhunamure & Tinarwo, 2018) onde as fontes eólica e solar possuem estruturação de fomento, e na Suíça e Dinamarca, nas metrópoles de Basel e Odense (Fenton & Kanda, 2017) uma vez que o gás natural supre as necessidades energéticas locais com valor menor do que o biogás.

O entrevistado P4 defende unidades Tratamento Mecânico-Biológico (TMB) para o tratamento de resíduos orgânicos nas áreas urbanas da RMSP, nas quais os dejetos seriam separados entre os passíveis de reaproveitamento e os rejeitos, otimizando o reuso dos resíduos orgânicos e evitando que sejam depositados em aterros sanitários, mas salienta que a instalação dessas estações também dependem de verbas de alto valor financeiro. Um aspecto similar foi apontado por Shane, Gheewala e Kafwembe (2017) em Kitwe, na Zâmbia. Os autores deste estudo afirmaram que não existem recursos financeiros para separar o resíduo orgânico na cidade e redirecioná-los para a produção do biogás. Essa barreira também foi notado por Särkilahti et al. (2017), na Finlândia. Os autores afirmaram haver entraves econômicos na liberação de recursos para criar centrais descentralizadas de reaproveitamento energético dos resíduos orgânicos produzidos na área urbana de Tampere. Para a entrevistada P1, a principal barreira econômica é o custo para aperfeiçoar a produção do biogás em aterros sanitários da Região Metropolitana de São Paulo, além dos gastos com a purificação do biogás. Já de acordo com o entrevistado P5, o atual cenário para reaproveitar o biogás, com tecnologias de purificação ainda emergentes, além das dificuldades estruturais de distribuição são os fatores que oneram o valor do gás, afastando interesse de investidores. A entrevistada P6 enxerga entraves na comercialização do biometano produzido pelas estações de tratamento

de esgoto, ainda que haja o interesse na criação de um mercado para o biogás produzido na Companhia de Saneamento de São Paulo - SABESP. O entrevistado P9 entende que faltam subsídios públicos para custear os equipamentos de produção e limpeza do gás, sendo este, em sua visão, o grande obstáculo financeiro. Em relação aos custos de purificação do biogás, Roose et al. (2012) destacam que este mesmo obstáculo está presente nas áreas urbanas da Estônia, país que, até a data de publicação do estudo, não havia conseguido encontrar um nicho comercial para o biometano. Na Índia, a instabilidade a respeito da produção do biogás e dos procedimentos de limpeza do gás também afastam investidores (Schmidt & Dabur, 2014).

Os entrevistados P7 e P8 entendem que as barreiras econômicas não são de grande relevância para impedir a produção do biogás. O argumento dos especialistas é de que as possibilidades de viabilizar projetos são bem conhecidas, relacionando as dificuldades de custeio à disposição dos atores envolvidos em estudar melhor as oportunidades.

No que diz respeito a barreiras técnicas, todos os entrevistados apontaram a produção de biogás na Região Metropolitana de São Paulo concentrada em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto. Nesse sentido os entrevistados P1, P3, P4 e P5 convergem em seus apontamentos, quando afirmam que as tecnologias de captação do biogás a partir das duas formas de tratamento de resíduos têm avançado na RMSP, assim como o conhecimento técnico de todos os processos.

Ainda assim, cabe ressaltar que para os entrevistados P1, P3, P5 e P7 a perda do biogás, principalmente em aterros sanitários, é muito relevante. Estes especialistas associaram esta barreira ao fato de que aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto não foram concebidos para captar biogás. Principalmente de acordo com o entrevistado P5, para captar o biogás são feitas adaptações às estruturas destes locais, com equipamentos subterrâneos e sobre o solo. Os entrevistados P3 e P6 enfatizam ainda que o gás captado em aterros, por não ser purificado, é composto de diversas substâncias químicas como siloxanos e ácido sulfúrico, por exemplo, que danificam a estrutura de tubulações e outros materiais de colher o biogás. Em estações de tratamento de esgoto, a entrevistada P1 afirmou não haver ainda um tratamento adequado do lodo, que é direcionado para a produção do biogás possuindo compostos químicos nocivos e que impedem o gás de melhor qualidade.

Nenhum dos estudos analisados na revisão sistemática da literatura apontaram para a perda de gás de forma aprofundada em aterros sanitários ou estações de tratamento de esgoto.

Para os especialistas P2, P3 e P9 são barreiras técnicas a falta de biodigestores de boa qualidade produzidos em território nacional, sendo necessária a importação de maquinário

para produzir o biogás. Aspectos parecidos foram citados na Ásia, uma vez que os equipamentos disponíveis neste continente são basicamente rudimentares (Böbner et al. 2019; Huanyun et al., 2013; Breitenmoser et al., 2019; Bekchanov et al., 2019; Wang et al., 2012; Jiang, Sommer&Christensen, 2011) e também na África Sub-Saariana (Rupf et al., 2015).

No que diz respeito a falta de especialistas, os entrevistados P8 e P9 entendem que são barreiras técnicas relevantes para a RMSP o pouco conhecimento técnico dos responsáveis pelos projetos de produção de biogás, mas destacam que aos poucos esta demanda está sendo suprida. Este fator foi observado em diferentes contextos na Europa (Mateescu & Dima, 2020; Nevzorova, 2020; Cvetković et al., 2014; Roose et al., 2012), que englobaram produção de biogás de diversas fontes diferentes, não só específicas para aterros e estações de tratamento de esgoto.

As barreiras sociais, para a maioria dos entrevistados, não são entraves relevantes para a produção e uso do biogás na região metropolitana de São Paulo. Apenas o especialista P4 pontuou aspectos nesse sentido, afirmando que a sociedade tem resistência a aceitar a criação de usinas TMB por questões associadas ao cheiro dos dejetos, por exemplo. Além disso, mencionou que há o desprezo pela responsabilidade de separação dos resíduos, especialmente quando se tratam de grandes geradores. Fatores similares foram citados nos estudos de Muradin e Foltynowicz (2014) e Pazera et al. (2015), na Europa. Em áreas rurais da Polônia, a população local é contrária a produção do biogás também por conta dos odores gerados (Muradin & Foltynowicz, 2014). Em relação a passividade dos grandes geradores, representantes do setor de bebida e alimentos de alguns países europeus demonstraram desconhecimento em relação às etapas e aos benefícios de reaproveitar o resíduo orgânico para produzir o biogás, evidenciando a falta de interesse dessas pessoas em assumirem projetos (Pazera et al., 2015).

As barreiras sociais foram muito relevantes em países africanos e asiáticos em sentidos diferentes dos entraves observados pelos entrevistados nesta pesquisa, uma vez que os estudos analisados na revisão sistemática da literatura na África e na Ásia apresentaram a tendência de o biogás ser produzido em casas, tornando essencial a participação da população na manutenção dos biodigestores, levando à más práticas de produção por fatores diversos (Rupf et al., 2015; Nethengwe, Uhunamure & Tinarwo, 2018; Mukeshimana et al., 2021; Amir et al., 2020; Bekchanov et al., 2019; Hasan et al., 2020; Schmidt & Dabur, 2014; Feiz et al., 2019).

Houve um consenso entre todos os entrevistados no que diz respeito a barreiras políticas. Para os especialistas, o principal obstáculo neste sentido é a falta de normatizações

em diferentes níveis para estruturar um nicho comercial e energético para o biogás no Brasil, sendo este fator o mais relevante e mais influente sobre todas as outras barreiras pontuadas. Este aspecto foi o mais sobressalente em todos os estudos analisados na revisão sistemática da literatura, em todos os contextos na África, Ásia e Europa.

Para a especialista P1, o comportamento dos agentes públicos responsáveis pela gestão de resíduo e energia não contempla o aprimoramento das práticas de produção de biogás em aterros e estações de tratamento de esgoto na região metropolitana de São Paulo, ao passo em que também não priorizam a busca por outras formas de gerar o gás, como em unidades de produção descentralizada, por exemplo. O entrevistado P5 destaca que alguns impasses em relação às tecnologias de produção do biogás na RMSP estão relacionadas com a agenda política, visto que a etapa de aquisição de maquinários e de aperfeiçoamento das etapas de produção e posterior uso depende de incentivos públicos, principalmente porque nesta região o biogás é oriundo de atividades administradas pela gestão pública. Este fator também foi citado pelos entrevistados P3, P8 e P9.

O especialista P4 destaca que o biogás está diretamente ligado à gestão de resíduos. Nesse sentido, afirma que as políticas públicas de gerenciamento do lixo são falhas na RMSP e em todo o território nacional de forma geral, visto que, ainda que hajam normativas importantes como a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a maior parte das regulamentações são punitivas ao passo em que carecem de fiscalização, tornando-se nulas. Além disso, pontua que toda a logística de destinação final dos resíduos é voltada para o aterramento, ressaltando que esse processo é nocivo ambientalmente e prejudicial financeiramente, observando consequências a longo prazo, desperdiçando as possibilidades de tornar os passivos ambientais causados por esses dejetos em ativos econômicos e energéticos.

Os dados das principais barreiras apontadas pelos especialistas a respeito da produção e uso do biogás na RMSP estão compilados na tabela 5 abaixo. A maior variedade de barreiras apontadas pelos entrevistados foram econômicas. Somente o especialista P4 citou aspectos sociais como um empecilho.

Barreiras econômicas	Barreiras técnicas	Barreiras sociais	Barreiras políticas
Competição com fontes melhor estabelecidas (P2, P3 e P5)	Alta perda de biogás em aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto (P1, P3, P5, P7).	Possível resistência da população local a respeito da instalação de usinas TMB, por questões relacionadas a odores e falta de conscientização de grandes geradores a respeito da separação dos resíduos.	Falta de normatizações de forma geral para estruturar um nicho energético e comercial para o biogás (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9).
Custos de construção e operação de unidades de tratamento mecânico biológico (TMB) de resíduos orgânicos (P4) Custos de aperfeiçoamento da produção de biogás em aterros e estações de tratamento de esgoto (P1)	Estrutura de captação de gás em aterros constantemente danificados por substâncias que compõem o biogás (P3, P6) Falta de tratamento adequado do lodo em estações de tratamento de esgoto (P1).		Comportamento dos agentes públicos que não prioriza o reaproveitamento energético dos resíduos orgânicos (P1).
Custos com a purificação do biogás, convertendo-o em biometano, e custos de distribuição do gás (P1, P9)	Falta de biodigestores de qualidade produzidos e/ou utilizados no Brasil (P2, P3 e P9)		Ao não contemplar o biogás na agenda pública, a chegada de novas tecnologias para aumentar a produção e uso do biogás ficam obsoletas, visto que a produção do gás na RMSP se dá, principalmente, a partir de atividades cuja responsabilidade é do poder público (P5, P3, P8 e P9).
Não existência de mercado para comercialização de biometano na RMSP (P6).			

Tabela 5. Principais barreiras identificadas por especialistas na RMSP.

Fonte: elaborado pela autora (2021).

Levando em consideração as contribuições dos especialistas, um fluxograma foi elaborado para ilustrar os sentidos de influência de determinadas barreiras sobre outras. A barreira política foi destacada como sendo a dominante perante todos os outros entraves em relação a produção e uso do biogás na região metropolitana de São Paulo. Barreiras econômicas são influenciadas diretamente por fatores políticos, ao passo em que influenciam também barreiras técnicas e sociais. A apresentação desses dados está demonstrada na figura 12:

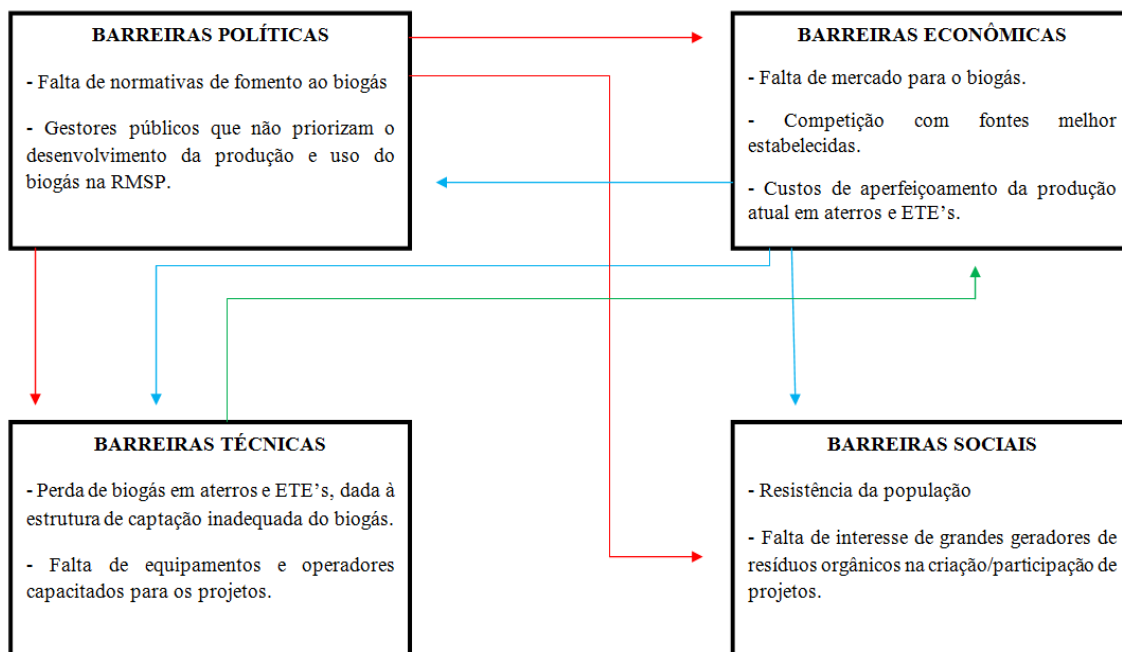


Figura 12. Influência entre as barreiras identificadas.
Fonte: elaborado pela autora (2021).

4.2.2 Soluções

Todos os entrevistados concordaram que a principal solução para se produzir e utilizar mais biogás na região metropolitana de São Paulo é política, sendo essa a estruturação de um plano de uso para esta fonte partindo do poder público que busque aprimorar a produção das fontes disponíveis atualmente, ao passo em que busque a ocupação de diferentes nichos de produção e uso para a região. Os especialistas destacaram que a agenda pública é o aspecto de maior relevância e influência a respeito da logística do biogás na RMSP, visto que as decisões políticas direcionam e orientam a dinâmica das cidades. Estes aspectos também foram apontados na Ásia, em Bangladesh (Hasan et al., 2020), Indonésia (Böbner et al., 2020) e China (Jiang, Sommer & Christensen, 2011).

O especialista P4 recomenda que as políticas públicas contemplem diversos benefícios principalmente a grandes geradores pela produção de biogás produzido. Para o entrevistado, também é essencial investir em outros nichos para a geração e o uso do biogás na região metropolitana de São Paulo de forma descentralizada, insistindo nas unidades de tratamento mecânico-biológico de resíduos orgânicos espalhadas pelos municípios, e na captação técnica levando em consideração a complexidade endêmica dos projetos. Esta sugestão converge com a recomendação do entrevistado P7, que destacou o fato de o biogás

permitir repensar toda a forma de gerir os resíduos, pontuando que aterros sanitários, principalmente, geram grandes gargalos para serem administrados a longo prazo, sejam financeiros, técnicos e ambientais.

Os entrevistados P1 e P8 destacaram que para superar obstáculos técnicos de produção, é importante se mapear a estrutura dos resíduos que chegam aos aterros e estações de tratamento de esgoto, no sentido de compreender os diferentes tipos de substratos e como melhor utiliza-los. A mesma sugestão foi feita por Capodaglio, Gallegari e Lopez (2016) e Roose et al. (2012), na Europa. Além disso, a especialista P1 sugeriu que os aterros sanitários possuam em suas atas de licenciamento ambiental cláusulas que imponham que as construções contenham desde sua concepção a estrutura de captação do biogás.

O entrevistado P5 também partilha deste ponto de vista, afirmando que os projetos de engenharia em aterros e em estações de tratamento de esgoto devem levar em consideração desde a concepção as estruturas de captação do gás. Nesse sentido, cabe destacar a solução proposta pela entrevistada P6, considerada como política, que ressaltou os entraves associados com os órgãos ambientais em relação ao controle dos procedimentos realizados no tratamento do lixo e no reaproveitamento energético desses dejetos, e sugeriu a presença de especialistas a respeito dos processos de produção do biogás dentro destes órgãos como recurso para que esta fonte seja melhor aproveitada na região metropolitana de São Paulo. Nenhum estudo na revisão sistemática da literatura apresentou sugestões similares a estas, dados os diferentes contextos de estudo que não especificaram biogás de aterros e estações de tratamento de esgoto.

Para o especialista P2, em relação às barreiras econômicas, é importante criar incentivos similares aos créditos de carbono voltado para a captação do metano. Além disso, entende que seria interessante criar leilões de energia específicos para o biogás, evitando a competição mercantil direta com outras fontes. O entrevistado propõe ainda a elaboração de consórcios de geração de energia a partir do biogás entre as cidades que fazem parte da região metropolitana de São Paulo, dada a relativa proximidade entre os municípios e a distribuição de serviços que são oferecidos entre essas cidades. Neste contexto, o entrevistado P9 indicou que parcerias público-privadas são de grande valia para inserir o biogás na matriz energética da RMSP. Para o especialista, é interessante criar laços de cooperação entre diferentes setores, tanto para a disponibilização de maquinários de tecnologia mais avançada, quanto para as diferentes formas de distribuição do biogás, seja para a utilização somente de suas propriedades enquanto gás, seja para produzir energia térmica ou elétrica. As parcerias público-privadas também foram observadas em recomendações de estudos analisados na

Europa (Nevzorova, 2020; Mateescu & Dima, 2020), em Ruanda, na África (Mukeshimana et al., 2021) e no Sri Lanka, na Ásia (Bekchanov et al., 2019).

O entrevistado P3 afirmou que, antes de se pensar em soluções mais específicas para as barreiras apresentadas, é essencial que mais pesquisas aplicadas nesta temática sejam realizadas. A mesma recomendação foi feita por Nethengwe, Uhunamure e Tinarwo (2018) na África do Sul.

As principais soluções propostas pelos especialistas entrevistados na coleta de dados empírica estão apresentados na Tabela 6. Assim como observado em relação às barreiras, as soluções para os fatores econômicos foram mais variadas, ao passo em que, para aspectos sociais, apenas uma solução foi apontada.

Soluções para aspectos econômicos	Soluções para aspectos técnicos	Soluções para aspectos sociais	Soluções para aspectos políticos
Criação de consórcios entre as cidades da RMSP para geração de energia oriunda do biogás (P2).	Mapeamento dos resíduos orgânicos que chegam aos aterros sanitários, visando compreender a estrutura dos substratos disponíveis para produzir o biogás (P1 e P8).	Aplicação do biogás de forma a ser atrativo para a população, como o uso do biometano veículos do transporte público, por exemplo (P4).	Estruturação de um plano de fomento à produção e uso do biogás que tenha por objetivo aperfeiçoar a produção atual, e que em paralelo atue no mapeamento de diferentes oportunidades de se produzir e utilizar o biogás na RMSP (P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8 e P9).
Leilões de energia específicos para comercializar o biogás (P2).	Registrar nas atas de licenciamento ambiental dos aterros as estruturas de captação do gás desde sua concepção, evitando a necessidade de adaptações (P1 e P5).		Criação de políticas públicas de incentivos aos grandes geradores de resíduos orgânicos, no sentido de premiar de alguma forma a produção do biogás (P4).
Criação de um mercado de créditos de metano, similar ao feito com créditos de carbono (P2).			Investir na construção de unidades de tratamento mecânico biológico (TMB) espalhadas pelas cidades. Ainda que hajam custos, são mais rentáveis e sustentáveis a longo prazo do que o aterramento (P4 e P8).
Investir em parcerias público privadas em relação a diferentes aspectos da cadeia energética do biogás na RMSP (P9).			

Tabela 6. Principais soluções apontadas por especialistas para a RMSP.
Fonte: elaborado pela autora (2021).

5 Considerações finais

A presente pesquisa foi instigada pela atual conjuntura das agendas públicas mundiais a respeito de aspectos climáticos e sociais que ditam a realidade das populações ao redor do mundo, e que tendem a aumentar ainda mais a sua influência ao longo das próximas décadas. Nesse sentido, a cerne deste estudo está ancorada em instrumentos de inovação e mitigação das problemáticas expostas baseadas na discussão moderna voltada para tornar cidades inteligentes e sustentáveis. Para tanto, foi definido como objeto de estudo o biogás, fonte energética que, entre outras características, permite unir o reaproveitamento de resíduos orgânicos à geração de energia.

O biogás é uma fonte relativamente emergente no Brasil, de forma geral. Em determinadas localidades do território nacional, é inexplorada. Em outras regiões, é instrumento de geração energética na prática para variados setores. Diversas pesquisas científicas atestaram o potencial de produção e uso do biogás pelo país. Entretanto, permanecem até a atual data, as dificuldades de incluir essa fonte nas matrizes energéticas locais, dados justamente a entraves que, diante da disparidade de informações comentada, podem ser considerados de uma forma geral como desconhecidos.

A designação de uma região metropolitana para São Paulo foi promulgada em 1973, e se deu pelo fenômeno de conurbação, o qual se caracteriza pela junção de municípios dado a processos de desenvolvimento paralelos e similares, atrelado à proximidade dos 38 municípios à capital, formando o aglomerado de 39 cidades que formam a RMSP. A distribuição de serviços entre essas localidades, no caso, os serviços de gestão de resíduos e produção, uso e distribuição energética, foi o fator que motivou a presente pesquisa a abranger toda a área como local de estudo, partindo da premissa de que a limitação da pesquisa para apenas a cidade de São Paulo, e a ampliação para todo o estado de São Paulo, seriam inadequadas para o contexto deste estudo.

Por ser um polo industrial e populacional de alta intensidade, a RMSP é também uma região com altíssimos parâmetros de poluição e impactos ambientais, causados principalmente pela emissão de poluentes atmosféricos oriundos de fontes fósseis e pela grande quantidade de dejetos gerados, onde cabe ressaltar que a maior parcela desses materiais são resíduos orgânicos. A gestão dos resíduos é feita pela deposição do lixo em aterros sanitários. A provisão de energia elétrica é realizada pela Companhia Energética de São Paulo (CESP) a partir de usinas hidrelétricas.

Na revisão sistemática da literatura, os continentes africano, asiático e europeu foram observados. Diferentes contextos de pesquisa foram analisados, e foi evidente a diferença dos objetivos da adoção de projetos de biogás nestas localidades. Na África e na Ásia, a produção de biogás está voltada para geração doméstica de energia de maneira autônoma, especificamente a energia térmica, para fins variados de aquecimento. As duas regiões carecem da chegada de tecnologias associadas com a disponibilidade de biodigestores de qualidade. Barreiras sociais nessas localidades apresentaram forte influência, dada a premissa de que a população seria responsável pelos respectivos projetos, levando a observação de outros entraves, como a falta de subsídios financeiros para custear o projeto.

Na Europa, foi constatado que o biogás faz parte do planejamento dos países, principalmente países membros da União Europeia, em relação aos objetivos impostos para a transformação das matrizes energéticas no continente, tornando-as mais sustentáveis e compostas por fontes renováveis. Nesse contexto, os autores tiveram como premissa este fator. Foram apontadas barreiras relacionadas com a competição com outras fontes de energia melhor estabelecidas, custos para a conversão do biogás para o biometano, falta do interesse de grandes geradores em produzir biogás, entre outros aspectos. O ponto em comum na revisão sistemática foram barreiras políticas. Nos três continentes, em todos os países estudados, foi citada a falta de políticas públicas relacionadas à produção do biogás como sendo o principal empecilho.

Em relação à região metropolitana de São Paulo, os especialistas entrevistados mencionaram diferentes tipos de barreiras. Foi registrado que, na RMSP, as principais fontes de geração do biogás são aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto, e a utilização do gás é feita nas próprias instalações.

Nesse sentido, foi notória a dificuldade técnica de perda do gás nos aterros e nas ETE's, a qual, segundo os entrevistados, é consequência das adaptações dessas construções para captar o gás, que não são tão eficientes como seriam se desde a concepção fossem planejadas as estruturas com todo o suporte necessário para captura do gás, além da falta de biodigestores de qualidade utilizados e produzidos no Brasil. Esses fatores são altamente influenciados por aspectos financeiros, relacionados à falta de subsídios públicos para promover melhor aproveitamento do biogás.

Tais aspectos permitiram observar que o principal obstáculo para o aumento da produção e uso do biogás na Região Metropolitana de São Paulo é a falta de uma logística adequada de fomento, causada pelo desarranjo entre as esferas política, técnica, social e econômica. De maneiras diferentes, estes quatro pontos se interrelacionam e se influenciam,

direta ou indiretamente. Cabe pontuar, ainda, que a falta de um plano por parte da agenda política associado ao biogás na RMSP, interfere na condição de todos os outros tipos de barreiras mencionadas. Portanto, considerando todas as informações coletadas e analisadas a partir da revisão sistemática da literatura, bem como a partir das entrevistas com os especialistas convidados, o presente estudo permitiu elaborar as seguintes soluções para aumentar a produção e o uso do biogás na região metropolitana de São Paulo:

i. A criação de um plano de inserção do biogás que considere as esferas nacional, estadual e municipal. As diferentes escalas propostas se dão pelas diferentes variáveis que devem ser consideradas para a produção do biogás, levando em consideração que esta seria feita a partir do reaproveitamento dos resíduos orgânicos em logísticas diferentes a depender da localidade. Para a região metropolitana de São Paulo, este plano deve abranger estratégias de separação dos resíduos orgânicos residenciais e industriais, nas quais a segregação dos materiais gerariam diferentes tipos de créditos, em uma abordagem similar à resolução ANEEL relacionada com a geração distribuída de energia.

ii. A criação de consórcios entre as cidades-membro da RMSP, baseada na proposta do entrevistado P2. A elaboração de parcerias inter-municipais de reaproveitamento energético do lixo orgânico permitiriam benefícios de desenvolvimento que ultrapassariam até mesmo os benefícios da produção energética.

iii. Buscar parcerias público-privadas com fornecedores de maquinário para otimizar o biogás gerado em aterros e estações de tratamento de esgoto na RMSP. Bem como parcerias com instituições que ensinam os métodos de geração do gás, com o objetivo de aprimorar o conhecimento técnico dos operadores dos projetos.

iv. Considerando o cenário atual de produção de biogás na RMSP, a construção de unidades descentralizadas de tratamento do resíduo orgânico para a separação dos materiais são iniciativas relevantes. Nessas unidades, seria possível maximizar o aproveitamento energético dos resíduos, bem como diminuir gastos de transporte e operação de aterros sanitários, uma vez que esse material não seria levado para a destinação final como rejeito. Além disso, é uma forma de oferecer empregos à população.

Cabe ressaltar que a presente pesquisa apresenta limitações associadas ao melhor detalhamento de cada uma das barreiras e soluções identificadas, no sentido em que há a necessidade de maior aprofundamento em aspectos específicos que possam exibir os entraves e as propostas para superá-los de maneira prática. Portanto, sugere-se que pesquisas futuras sejam desenvolvidas, entre outros métodos, em forma de estudos de caso, visando a investigação aplicada de cada uma das barreiras e das possibilidades de se aplicar as soluções

indicadas, aos setores competentes pela geração de biogás na Região Metropolitana de São Paulo.

6 Referências

- Achinas, S., Achinas, V., & Euverink, G. J. W. (2017). A technological overview of biogas production from biowaste. *Engineering*, 3(3), 299-307. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809917304228>
doi: <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.03.002>
- Adnan, A. I., Ong, M. Y., Nomanbhay, S., Chew, K. W., & Show, P. L. (2019). Technologies for biogas upgrading to biomethane: a review. *Bioengineering*, 6(4), 92. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2306-5354/6/4/92>
doi: <https://doi.org/10.3390/bioengineering6040092>
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of urban technology*, 22(1), 3-21. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10630732.2014.942092>
doi: <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Alexander, S., Harris, P., & McCabe, B. K. (2019). Biogas in the suburbs: an untapped source of clean energy?. *Journal of cleaner production*, 215, 1025-1035. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619301350>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.118>
- Alfaia, R. G. D. S. M., Costa, A. M., & Campos, J. C. (2017). Municipal solid waste in Brazil: A review. *Waste Management & Research*, 35(12), 1195-1209. Recuperado de: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X17735375>
doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X17735375>
- Altoé, L., Costa, J. M., Oliveira Filho, D., Martinez, F. J. R., Ferrarez, A. H., & Viana, L. D. A. (2017). Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. *Estudos Avançados*, 31(89), 285-297. Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/ea/a/vPxbFKL9Jvwg559c6cgCZWp/?lang=pt>
doi: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890022>
- Amaral, A. C., Steinmetz, R. L. R., & Kunz, A. (2019). Os biodigestores. *Embrapa Suínos e Aves-Capítulo em livro científico (ALICE)*.
- Amir, S. M., Liu, Y., Shah, A. A., Khayyam, U., & Mahmood, Z. (2020). Empirical study on influencing factors of biogas technology adoption in Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *Energy & Environment*, 31(2), 308-329. Recuperado de: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0958305X19865536>
doi: <https://doi.org/10.1177/0958305X19865536>
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2018). *Geração Distribuída*. Recuperado de: https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_assetEntryId=14461914&_101_type=content&_101_groupId=656827&_101_urlTitle=geracao-distribuida-introducao-1&inheritRedirect=true

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (2016). *Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica*. Recuperado de: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>
- Anyaku, C. C., & Baroutian, S. (2018). Decentralized anaerobic digestion systems for increased utilization of biogas from municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *90*, 982-991. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118300959>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.009>
- Arto, I., Capellán-Pérez, I., Lago, R., Bueno, G., & Bermejo, R. (2016). The energy requirements of a developed world. *Energy for Sustainable Development*, *33*, 1-13. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082616301892>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2016.04.001>
- Associação Brasileira de Biogás e do Biometano - ABiogás (2016). *Renovabio – Biocombustíveis 2030*. Recuperado de: http://www.mme.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=868dc2f2-d486-14dc-2b3b-3aa0d0007f4d&groupId=36224
- Aquila, G., de Oliveira Pamplona, E., de Queiroz, A. R., Junior, P. R., & Fonseca, M. N. (2017). An overview of incentive policies for the expansion of renewable energy generation in electricity power systems and the Brazilian experience. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *70*, 1090-1098. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116310759>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.013>
- Bardin, L. (1977). *Análise de conteúdo*. Lisboa: Edições 70 Ltda.
- Bekchanov, M., Mondal, M. A. H., de Alwis, A., & Mirzabaev, A. (2019). Why adoption is slow despite promising potential of biogas technology for improving energy security and mitigating climate change in Sri Lanka?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *105*, 378-390. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032119301030>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.010>
- Bellote, A. F. J., Andrade, G. D. C., Molinari, H. B. C., Rocha, J. D., da Silva, M. L. B., Steinmetz, R. L. R., & Favaro, S. P. (2018). Biomassa e sua participação na matriz energética brasileira. *Embrapa Territorial-Capítulo em livro científico (ALICE)*.
- Bernal, A. P., dos Santos, I. F. S., Silva, A. P. M., Barros, R. M., & Ribeiro, E. M. (2017). Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO2 emissions. *Journal of cleaner production*, *151*, 260-271. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617304997>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.064>
- Besen, G. R., Ribeiro, H., Günther, W. M. R., & Jacobi, P. R. (2014). Coleta seletiva na região metropolitana de São Paulo: impactos da Política Nacional de Resíduos

- Sólidos. *Ambiente & Sociedade*, 17(3), 259-278. Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/Znmt43xbcJ8jN6yLDj6mgtv/abstract/?lang=es>
doi: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000300015>
- Bilotta, P., & Ross, B. Z. L. (2016). Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 21(2), 275-282. Recuperado de: https://www.scielo.br/pdf/esa/v21n2/1809-4457-esa-S1413_41522016141477.pdf
doi: <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016141477>
- Bößner, S., Devisscher, T., Suljada, T., Ismail, C. J., Sari, A., & Mondamina, N. W. (2019). Barriers and opportunities to bioenergy transitions: An integrated, multi-level perspective analysis of biogas uptake in Bali. *Biomass and Bioenergy*, 122, 457-465. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953419300029>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.002>
- Börjesson, M., & Ahlgren, E. O. (2012). Cost-effective biogas utilisation—A modelling assessment of gas infrastructural options in a regional energy system. *Energy*, 48(1), 212-226. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544212005105>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.06.058>
- Breitenmoser, L., Gross, T., Huesch, R., Rau, J., Dhar, H., Kumar, S., ... & Wintgens, T. (2019). Anaerobic digestion of biowastes in India: Opportunities, challenges and research needs. *Journal of environmental management*, 236, 396-412. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718314233>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.014>
- Calvillo, C. F., Sánchez-Mirallas, A., & Villar, J. (2016). Energy management and planning in smart cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 273-287. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115012125>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.133>
- Campos, A. F., & Galiza, J. D. J. M. (2016). Regulação de resíduos sólidos urbanos para geração de energia a partir do biogás: estudo de viabilidades em regiões da grande Vitória/ES. *Revista Augustus*, 20(40), 56-69. Recuperado de: <http://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/05/Regula%C3%A7%C3%A3o-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos-urbanos-para-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-a-partir-do-biog%C3%A1s-estudo-de-viabilidades-em-regi%C3%B5es-da-Grande-Vit%C3%B3ria-ES.pdf>
doi: <http://dx.doi.org/10.15202/19811896.2015v20n40p56>
- Castro, L., Escalante, H., Jaimes-Estévez, J., Díaz, L. J., Vecino, K., Rojas, G., & Mantilla, L. (2017). Low cost digester monitoring under realistic conditions: Rural use of biogas and digestate quality. *Bioresour. Technol.*, 239, 311-317. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852417306740>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.035>
- Capodaglio, A. G., Callegari, A., & Lopez, M. V. (2016). European framework for the diffusion of biogas uses: emerging technologies, acceptance, incentive strategies, and

- institutional-regulatory support. *Sustainability*, 8(4), 298. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2071-1050/8/4/298>
doi: <https://doi.org/10.3390/su8040298>
- Coelho, S. T., Velázquez, S. M. S. G., Martins, O. S., & Abreu, F. C. D. (2006, maio). A conversão da fonte renovável biogás em energia. In *Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (CBPE)*, Brasília, DF, Brasil. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/228452829_A_conversao_da_fonte_renovavel_biogas_em_energia
- Cordellini, D. F. (2018). O etanol na estrutura dos biocombustíveis no Brasil. *Revista da FAE*, 21(1), 19-35.
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., & Gastaldi, M. (2017). Sustainable waste management: Waste to energy plant as an alternative to landfill. *Energy Conversion and Management*, 131, 18-31. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S019689041631007X>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.012>
- Creswell, J. W. (2014). *Investigação Qualitativa e Projeto de Pesquisa-: Escolhendo entre Cinco Abordagens* (3a ed.) Penso Editora.
- Cvetković, S., Radoičić, T. K., Vukadinović, B., & Kijevčanin, M. (2014). Potentials and status of biogas as energy source in the Republic of Serbia. *Renewable and sustainable energy reviews*, 31, 407-416. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032113008198>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.005>
- Dahlgren, S., Kanda, W., & Anderberg, S. (2019). Drivers for and barriers to biogas use in manufacturing, road transport and shipping: a demand-side perspective. *Biofuels*, 1-12. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17597269.2019.1657661>
doi: <https://doi.org/10.1080/17597269.2019.1657661>
- Dalmo, F. C., Simão, N. M., de Lima, H. Q., Jimenez, A. C. M., Nebra, S., Martins, G., ... & Mello Sant'Ana, P. H. (2019). Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil. *Journal of cleaner production*, 212, 461-474. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618337181>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.016>
- Das, S., Lee, S. H., Kumar, P., Kim, K. H., Lee, S. S., & Bhattacharya, S. S. (2019). Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability. *Journal of cleaner production*, 228, 658-678. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619314209>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.323>
- Decreto n. 58.659, de 4 de dezembro de 2012.* Institui o Programa Paulista de Biogás e dá providências correlatas. Recuperado de: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2012/decreto-58659-04.12.2012.html>.

- Decreto n. 59.038, de 3 de abril de 2013.* Institui o Programa Paulista de Biocombustíveis e dá providências correlatas. Recuperado de: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59038-03.04.2013.html>
- Deganutti, R.; Palhaci M. C. J. P.; Rossi, M.; Tavares, R.; Santos, C.(2002). Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. *Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural*. Recuperado de: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100031&script=sci_arttext&tlng=pt
- Deng, L., Liu, Y., Zheng, D., Wang, L., Pu, X., Song, L., ... & Long, Y. (2017). Application and development of biogas technology for the treatment of waste in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 845-851. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116310528>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.265>
- Dincer, I., & Rosen, M. A. (1998). A worldwide perspective on energy, environment and sustainable development. *International journal of energy research*, 22(15), 1305-1321. Recuperado de: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/\(SICI\)1099-114X\(199812\)22:15%3C1305::AID-ER417%3E3.0.CO;2-H](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1099-114X(199812)22:15%3C1305::AID-ER417%3E3.0.CO;2-H)
doi: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-114X\(199812\)22:15<1305::AID-ER417>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-114X(199812)22:15<1305::AID-ER417>3.0.CO;2-H)
- Donato, H., & Donato, M. (2019). Etapas na Condução de uma Revisão Sistemática. *Acta Médica Portuguesa*, 32(3). Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/62421081/Stages_for_Undertaking_a_Systematic_Review20200320-31418-7eur0o.pdf?1584699058=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DEtapas_na_Conducao_de_uma_Revisao_Sistem.pdf&Expires=1606503381&Signature=MAPtN2G6EYk22YV6kTjndp-9ZTy6tMv5CorpGXLcI~QobziBnA1f1GgGunaoIsEYeawE9JCHPi5wG13WDkV4RpW2opof3nLbDvfKxkeJp9lteGjWL3FNvxOUq5eBH5AjaZUAjKvWlcWOqKQeu32N0NAGueYxSN3JFTnDYs1-yHST7TVRUd9bcZjFQHKCf5c~w06bYZuzQt5bONKbwLwKZRqM16KFvC69z7igHV08B7dJPGU~nCFSI6U4nMrZOLxSJb5X0w0-ZLIXZtpXqkS3A44ZJXKagLiH55eE43VxNGaJGDC30Ryq8DX5~ICXvt6gTcf8k1hb~g5il~DHLyKmQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
doi: <https://doi.org/10.20344/amp.11923>
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2019). *Balanço Energético Nacional*. Recuperado de: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-494/BEN%202019%20Completo%20WEB.pdf>.
- Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2020). *Balanço Energético Nacional*. Recuperado de: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf
- Ensinas, A. V. (2003). *Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas/SP* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas, SP, Brasil. Recuperado de:

<https://limpezapublica.com.br/textos/GAS%20-%20ESTUDO%20ATERRO%20DELTA.pdf>

- Fenton, P., & Kanda, W. (2017). Barriers to the diffusion of renewable energy: studies of biogas for transport in two European cities. *Journal of Environmental Planning and Management*, *60*(4), 725-742. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09640568.2016.1176557?scroll=top&needAccess=true>
doi: <https://doi.org/10.1080/09640568.2016.1176557>
- Ferreira, L. R. A., Otto, R. B., Silva, F. P., De Souza, S. N. M., De Souza, S. S., & Junior, O. A. (2018). Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *94*, 440-455. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118304702#>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.034>
- Frigo, K. D. A., Feiden, A., Galant, N. B., Santos, R. F., Mari, A. G., & Frigo, E. P. (2015). Biodigestores: seus modelos e aplicações. *Acta Iguazu*, *4*(1), 57-65. Recuperado de <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/12528/8708>.
- Garcia, N. H., Mattioli, A., Gil, A., Frison, N., Battista, F., & Bolzonella, D. (2019). Evaluation of the methane potential of different agricultural and food processing substrates for improved biogas production in rural areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *112*, 1-10. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119303533>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.040>
- Gasque, K. C. G. D. (2007). Teoria fundamentada: nova perspectiva à pesquisa exploratória.
- Gebreegziabher, Z., Naik, L., Melamu, R., & Balana, B. B. (2014). Prospects and challenges for urban application of biogas installations in Sub-Saharan Africa. *Biomass and bioenergy*, *70*, 130-140. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195341400124X>
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.02.036>
- Genovese, A. L., Udaeta, M. E. M., & Galvao, L. C. R. (2006). Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. *Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural*.
- Governo do Estado de São Paulo – GESP (2015). *SP lança programa que incentiva geração de energia por biomassa*. Recuperado de: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/ultimas-noticias/sp-lanca-programa-que-incentiva-geracao-de-energia-por-biomassa/>
- Gueri, M. V. D., Buratto, W. G., Ribeiro, C. B., & Schirmer, W. N. (2016). Políticas Nacionais de Incentivo ao Uso Energético do Biogás e Biometano. *Acta Iguazu*, *5*(5), 160-171.
- Gustafsson, M., Cruz, I., Svensson, N., & Karlsson, M. (2020). Scenarios for upgrading and distribution of compressed and liquefied biogas—Energy, environmental, and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, *256*, 120473. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620305205>.

doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120473>

- Feiz, R., Ammenberg, J., Björn, A., Guo, Y., Karlsson, M., Liu, Y., ... & Zhang, F. (2019). Biogas potential for improved sustainability in guangzhou, China—a study focusing on food waste on Xiaoguwei Island. *Sustainability*, *11*(6), 1556. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/6/1556>
doi: <https://doi.org/10.3390/su11061556>
- Freitas, L. C. F., Santiago, Y. C., de Souza Ribeiro, N., Marques, T. E., Pinto, J. A., Mogollón, D. I. N., & Silva, A. T. Y. L. (2019). Avaliação econômica e do potencial energético do biogás de aterro em Campinas-SP. *Research, Society and Development*, *8*(6), e4286788-e4286788. Recuperado de: <https://www.rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/788/899>
doi: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i6.788>
- Freitas, F. F., Souza, S. S., Ferreira, L. R. A., Otto, R. B., Alessio, F. J., De Souza, S. N. M., ... & Junior, O. A. (2019). The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *101*, 146-157. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118307391>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.007>
- Hasan, A. M., Kabir, M. A., Hoq, M. T., Johansson, M. T., & Thollander, P. (2020). Drivers and barriers to the implementation of biogas technologies in Bangladesh. *Biofuels*, 1-13. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17597269.2020.1841362>
doi: <https://doi.org/10.1080/17597269.2020.1841362>
- Högselius, P., & Kaijser, A. (2019). Energy dependence in historical perspective: The geopolitics of smaller nations. *Energy Policy*. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518308243>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.025>
- Huanyun, D., Rui, X., Jianchang, L., Yage, Y., Qiuxia, W., & Intekhab Hadi, N. (2013). Analysis on sustainable development counter measures and barriers of rural household biogas in China. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *5*(4), 043116. Recuperado de: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.4816690>
doi: <https://doi.org/10.1063/1.4816690>
- International Energy Agency – IEA. (2018b) *Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth*. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>
- International Energy Agency – IEA (2018a). *World Energy Balances: Overview*. Recuperado de: <https://www.iea.org/reports/world-energy-balances-overview>
- Inatomi, T. A. H., & Udaeta, M. E. M. (2005). Análise dos impactos ambientais na produção de energia dentro do planejamento integrado de recursos. *Brasil Japão. Trabalhos*, 189-205.

- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2013). *Caracterização e Quadros de Análise Comparativa da Governança Metropolitana no Brasil: Arranjos Institucionais de Gestão Metropolitana*. Recuperado de: https://ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/rel_1_1_caracterizacao_rmosp.pdf
- Jiang, X., Sommer, S. G., & Christensen, K. V. (2011). A review of the biogas industry in China. *Energy Policy*, 39(10), 6073-6081. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421511005301>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.07.007>
- José, F., de Moraes, F. C. C., & Hollnagel, H. C. (2018). Políticas Públicas de Saneamento Básico no Estado de São Paulo. *Revista Internacional De Debates Da Administração & Públicas-RIDAP*, 3(1), 104-121. Recuperado de: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/RIDAP/article/view/1293>
- Kamyab, H., Klemeš, J. J., Van Fan, Y., & Lee, C. T. (2020). Transition to sustainable energy system for smart cities and industries. *Energy*, 207. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544220312111>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118104>
- Kiyasudeen, K., Ibrahim, M. H., Quaik, S., & Ismail, S. A. (2016). An introduction to anaerobic digestion of organic wastes. In *Prospects of organic waste management and the significance of earthworms* (1a ed., Cap. 2, pp. 23-44). Springer, Cham.
- Kozłowski, K., Pietrzykowski, M., Czekala, W., Dach, J., Kowalczyk-Juško, A., Józwiakowski, K., & Brzoski, M. (2019). Energetic and economic analysis of biogas plant with using the dairy industry waste. *Energy*, 183, 1023-1031. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544219313179>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.179>
- Kress, P., Nägele, H. J., Oechsner, H., & Ruile, S. (2018). Effect of agitation time on nutrient distribution in full-scale CSTR biogas digesters. *Bioresource technology*, 247, 1-6. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417316036>
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.054>
- Lauer, M., Leprich, U., & Thrän, D. (2020). Economic assessment of flexible power generation from biogas plants in Germany's future electricity system. *Renewable Energy*, 146, 1471-1485. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148119310031>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.163>
- Lei n. 9.478, de 6 de agosto de 1997*. Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências. Recuperado de: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19478.htm
- Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Recuperado de: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm

- Lei n.13.576, de 26 de dezembro de 2017.* Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBIO) e dá outras providências. Recuperado de: [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113576.htm#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,RenovaBio\)%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAsncias.&text=IV%20%2D%20contribuir%20com%20previsibilidade%20para,no%20mercado%20nacional%20de%20combust%C3%ADveis](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113576.htm#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20Pol%C3%ADtica%20Nacional,RenovaBio)%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAsncias.&text=IV%20%2D%20contribuir%20com%20previsibilidade%20para,no%20mercado%20nacional%20de%20combust%C3%ADveis).
- Lima, A., Borba, E. O., Oliveira, I. C., Gonzaga, N. V., Martins, P. F., Santos, R. M., & Campos, F. (2017). Análise da recuperação energética do biogás de aterros sanitários. *InterfacEHS*, 12(1). Recuperado de: http://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfacEHS/wp-content/uploads/2017/06/6-188_Artigo_revisado.pdf
- Lima, R. M., Santos, A. H., Pereira, C. R., Flauzino, B. K., Pereira, A. C. O., Nogueira, F. J., & Valverde, J. A. R. (2018). Spatially distributed potential of landfill biogas production and electric power generation in Brazil. *Waste Management*, 74, 323-334. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X1730956X>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.12.011>
- Lindfors, A., Feiz, R., Eklund, M., & Ammenberg, J. (2019). Assessing the potential, performance and feasibility of urban solutions: methodological considerations and learnings from biogas solutions. *Sustainability*, 11(14), 3756. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/334377896_Assessing_the_Potential_Performance_and_Feasibility_of_Urban_Solutions_Methodological_Considerations_and_Learnings_from_Biogas_Solutions
doi: <https://doi.org/10.3390/su11143756>
- Lohani, S. P., & Havukainen, J. (2018). Anaerobic digestion: factors affecting anaerobic digestion process. In *Waste Bioremediation* (pp. 343-359). Springer, Singapore. Recuperado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-7413-4_18
- Machado, P. A. L. (2012). Princípios da política nacional de resíduos sólidos. *Revista do Tribunal Regional Federal da 1ª Região*, 24(7), 25-33. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/16037203.pdf>
- Mateescu, C., & Dima, A. D. (2020). Critical analysis of key barriers and challenges to the growth of the biogas sector: a case study for Romania. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-14.
- Mattos, P. L. C. (2005). A entrevista não-estruturada como forma de conversação: razões e sugestões para sua análise. *Revista de Administração Pública-RAP*, 39(4), 823-846. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/2410/241021497001.pdf>
- McLellan, E., MacQueen, K. M., & Neidig, J. L. (2003). Beyond the qualitative interview: Data preparation and transcription. *Field methods*, 15(1), 63-84.
doi: <https://doi.org/10.1177/1525822X02239573>
- Ministério de Minas e Energia – MME (2016). *Região Centro-Oeste tem a maior proporção de renováveis na Matriz Energética.* Recuperado de: <http://www.mme.gov.br/web/guest/todas-as-noticias/->

/asset_publisher/pdAS9IcdBICN/content/regiao-centro-oeste-tem-a-maior-proporcao-de-renovaveis-na-matriz-energeti-
 1?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.mme.gov.br%2Fweb%2Fguest%2Ftodas-as-noticias%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_cur%3D34%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_keywords%3D%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_advancedSearch%3Dfalse%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_delta%3D30%26p_r_p_564233524_resetCur%3Dfalse%26_101_INSTANCE_pdAS9IcdBICN_andOperator%3Dtrue

Mittal, S., Ahlgren, E. O., & Shukla, P. R. (2018). Barriers to biogas dissemination in India: A review. *Energy Policy*, 112, 361-370. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517306869>
 doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.027>

Moraes, R. (1999). Análise de conteúdo. *Revista Educação, Porto Alegre*, 22(37), 7-32. Recuperado: <http://pesquisaeducacaoufrgs.pbworks.com/w/file/fetch/60815562/Analise%20de%20conte%C3%BAdo.pdf>

Moura, R. S., Carpio, R. C., de Carvalho Macedo, C. F., Pinheiro, D. S., Figueiredo, L. S., & Júnior, L. C. F. (2017). Análise da viabilidade do uso de biodigestores em propriedades rurais. *For Science*, 5(3). Recuperado de: <http://forscience.ifmg.edu.br/forscience/index.php/forscience/article/view/282>
<https://doi.org/10.29069/forscience.2017v5n3.e282>

Moya, D., Aldás, C., López, G., & Kaparaju, P. (2017). Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To-Energy Technologies. *Energy Procedia*, 134, 286-295. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021734763X>
 doi: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.618>

Mukeshimana, M. C., Zhao, Z. Y., Ahmad, M., & Irfan, M. (2021). Analysis on barriers to biogas dissemination in Rwanda: AHP approach. *Renewable Energy*, 163, 1127-1137. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148120314713>
 doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.051>

Muradin, M., & Foltynowicz, Z. (2014). Potential for producing biogas from agricultural waste in rural plants in Poland. *Sustainability*, 6(8), 5065-5074. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/2071-1050/6/8/5065>
 doi: <https://doi.org/10.3390/su6085065>

Nascimento, R. S., & Alves, G. M. (2016). Fontes Alternativas e Renováveis de Energia no Brasil: Métodos e Benefícios Ambientais. *Revista UNIVAP*22(40). Recuperado de http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2016/anais/arquivos/0859_1146_01.pdf.
 doi: <http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.713>

- Nascimento, M. C. B., Freire, E. P., Dantas, F. D. A. S., & Giansante, M. B. (2019). Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24(1), 143-155. Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/esa/a/xLRVKFVf9p46XTX563ztCfJ/?lang=pt>
doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019171125>
- Nethengwe, N. S., Uhunamure, S. E., & Tinarwo, D. (2018). Potentials of biogas as a source of renewable energy: A case study of South Africa. *International Journal of Renewable Energy Research*, 8(2), 1112-1123. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/David-Tinarwo/publication/326235863_Potentials_of_biogas_as_a_source_of_renewable_energy_A_case_study_of_South_Africa/links/5e074d96a6fdcc283743b7fb/Potentials-of-biogas-as-a-source-of-renewable-energy-A-case-study-of-South-Africa.pdf
- Nevezorova, T. (2020). Biogas Production in the Russian Federation: Current Status, Potential, and Barriers. *Energies*, 13(14), 3620. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/14/3620>
doi: <https://doi.org/10.3390/en13143620>
- Nevezorova, T., & Kutcherov, V. (2019). Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review. *Energy Strategy Reviews*, 26, 100414. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211467X19301075>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100414>
- Niskanen, J., & Magnusson, D. (2020). Understanding upscaling and stagnation of farm-based biogas production in Sweden through transitional and farming logics. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123235. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620332807>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123235>
- Oliveira, L. G. S., & Negro, S. O. (2019). Contextual structures and interaction dynamics in the Brazilian Biogas Innovation System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, 462-481. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119301236>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.030>
- Omer, A. M. (2008). Energy, environment and sustainable development. *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(9), 2265-2300. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107000834>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.05.001>
- ONU – Organização das Nações Unidas. (2019a). *World Population Prospects – Highlights*. Recuperado de: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf.
- ONU – Organização das Nações Unidas. (2019b). *World Urbanization Prospects*. Recuperado de: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>.
- Onwuegbuzie, A. J., Leech, N. L., & Collins, K. M. (2012). Qualitative analysis techniques for the review of the literature. *Qualitative Report*, 17, 56.

- Ortiz, W., Pfaff, J., & Dienst, C. (2017). Understanding the diffusion of domestic biogas technologies. Systematic conceptualisation of existing evidence from developing and emerging countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 1287-1299.
- Paixão, M. V. F., dos Santos Amarante, M., Ohama, M. A., de Oliveira, A. J., & dos Santos Rodrigues, L. (2018). Biogás como fonte energética. *Revista Pesquisa e Ação*, 4(1), 129-145. Recuperado de: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/390>
- Passos, F., Bressani-Ribeiro, T., Rezende, S., & Chernicharo, C. A. (2020). Potential Applications of Biogas Produced in Small-Scale UASB-Based Sewage Treatment Plants in Brazil. *Energies*, 13(13), 3356. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/13/3356>
doi: <https://doi.org/10.3390/en13133356>
- Pazera, A., Slezak, R., Krzystek, L., Ledakowicz, S., Bochmann, G., Gabauer, W., ... & Kara, J. (2015). Biogas in Europe: food and beverage (FAB) waste potential for biogas production. *Energy & Fuels*, 29(7), 4011-4021. Recuperado de: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ef502812s>
doi: <https://doi.org/10.1021/ef502812s>
- Perea-Moreno, M. A., Hernandez-Escobedo, Q., & Perea-Moreno, A. J. (2018). Renewable energy in urban areas: Worldwide research trends. *Energies*, 11(3), 577. Recuperado de: <https://www.mdpi.com/1996-1073/11/3/577>
doi: <https://doi.org/10.3390/en11030577>
- Petravić-Tominac, V., Nastav, N., Buljubašić, M., & Šantek, B. (2020). Current state of biogas production in Croatia. *Energy, Sustainability and Society*, 10(1), 1-10. Recuperado de: <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13705-020-0243-y>
- Pilloni, M., Hamed, T. A., & Joyce, S. (2020). Assessing the success and failure of biogas units in Israel: Social niches, practices, and transitions among Bedouin villages. *Energy Research & Social Science*, 61, 101328. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629619302889>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101328>
- Piñas, J. A. V., Venturini, O. J., Lora, E. E. S., Oliveira, M. A. D., & Roalcaba, O. D. C. (2016). Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). *Revista Brasileira de Estudos de População*, 33(1), 175-188. Recuperado de: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-30982016000100175&script=sci_abstract&tlng=pt
doi: <http://dx.doi.org/10.20947/S0102-309820160009>
- Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado – PDUI (2016). *RMSP*. Recuperado de: https://www.pdui.sp.gov.br/rmsp/?page_id=56
- Plano Paulista de Energia - PPE (2020). Recuperado de: http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalecv2/intranet/BiblioVirtual/diversos/ppe_2020.pdf

- Pleissner, D. (2018). Recycling and reuse of food waste. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 13, 39-43. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2452223618300051>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2018.03.014>
- Prefeitura da Cidade de São Paulo (2014). *Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade de São Paulo – PGIRS*. Recuperado de: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/servicos/arquivos/PGIRS-2014.pdf>
- Prefeitura do Município de São Paulo – PMSP (2018). *Aterros sanitários e transbordos*. Recuperado de: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/subprefeituras/amlurb/aterros_e_transbordos/index.php?p=4633
- Raimundo, D. R., Pedreira, J. R., Sousa, L. C., Córdova, M. E. H., Miranda, R. T., & Cañote, S. J. B. (2017). ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA E DA PRODUÇÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS GERADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES, APLICADOS À CIDADE DE POUSO ALEGRE-MG. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 6(5). Recuperado de: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/52804>
- Ribeiro, E. M., Mambeli Barros, R., Tiago Filho, G. L., Dos Santos, I. F. S., Sampaio, L. C., Dos Santos, T. V., ... & de Freitas, J. V. R. (2018). Feasibility of biogas and energy generation from poultry manure in Brazil. *Waste Management & Research*, 36(3), 221-235. Recuperado de: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242X17751846>
doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X17751846>
- Roose, A., Reinsoo, K., Oja, A., & Varžinskas, V. (2012). Underdog or bulldog: introducing biogas technologies in Estonia. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14(6), 1085-1093. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-012-0513-2>
- Rupf, G. V., Bahri, P. A., de Boer, K., & McHenry, M. P. (2015). Barriers and opportunities of biogas dissemination in Sub-Saharan Africa and lessons learned from Rwanda, Tanzania, China, India, and Nepal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 468-476. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032115007546>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.107>
- Rupf, G. V., Bahri, P. A., de Boer, K., & McHenry, M. P. (2017). Development of an optimal biogas system design model for Sub-Saharan Africa with case studies from Kenya and Cameroon. *Renewable Energy*, 109, 586-601. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117302392>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.03.048>
- Ruth, M., Baklanov, A. (2012). Urban climate science, planning, policy and investment challenges. *Urban Climate*, 1, 1-3. Recuperado em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212095512000089>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2012.10.001>

- Ryckebosch, E., Drouillon, M., & Vervaeren, H. (2011). Techniques for transformation of biogas to biomethane. *Biomass and bioenergy*, 35(5), 1633-1645. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411001085>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.02.033>
- Sahota, S., Shah, G., Ghosh, P., Kapoor, R., Sengupta, S., Singh, P., ... & Thakur, I. S. (2018). Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*, 1, 79-88. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X18300021>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.01.002>
- Sampaio, R. F., & Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 11(1), 83-89. Recuperado de: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-35552007000100013&script=sci_arttext
doi: <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000100013>
- Santos, G. H. F., Do Nascimento, R. S., & Alves, G. M. (2017). Biomassa como energia renovável no Brasil. *Revista Uningá Review*, 29(2). Recuperado de: <http://revista.uninga.br/index.php/uningareviews/article/view/1966>
- Santos, I. F. S., Vieira, N. D. B., de Nóbrega, L. G. B., Barros, R. M., & Tiago Filho, G. L. (2018). Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. *Resources, Conservation and Recycling*, 131, 54-63. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917304433>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.12.012>
- Santos, O. R. (2017). *Potencial de aproveitamento energético de biogás nas principais estações de tratamento de esgotos que atendem o município de São Paulo* (Dissertação de Mestrado). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de: http://cassiopea.ipt.br/teses/2017_HAB_Osmar_Rayis_Santos.pdf.
- Särkilahti, M., Kinnunen, V., Kettunen, R., Jokinen, A., & Rintala, J. (2017). Replacing centralised waste and sanitation infrastructure with local treatment and nutrient recycling: Expert opinions in the context of urban planning. *Technological Forecasting and Social Change*, 118, 195-204. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162517302007>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.02.020>
- Schmidt, T. S., & Dabur, S. (2014). Explaining the diffusion of biogas in India: a new functional approach considering national borders and technology transfer. *Environmental Economics and Policy Studies*, 16(2), 171-199. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10018-013-0058-6>
- Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo – SIMASP (2020). *Resíduos Sólidos*. Recuperado de: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/infraestrutura/coordenadorias/coordenadoria-de-energias-eletrica-e-renovaveis/residuos-solidos/>

- Shane, A., Gheewala, S. H., & Kafwembe, Y. (2017). Urban commercial biogas power plant model for Zambian towns. *Renewable Energy*, *103*, 1-14. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148116309806>. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.11.017>
- Silva, A. H., & Fossá, M. I. T. (2015). Análise de conteúdo: exemplo de aplicação da técnica para análise de dados qualitativos. *Qualitas Revista Eletrônica*, *16*(1). doi: <http://dx.doi.org/10.18391/qualitas.v16i1.2113>
- Singh, A. (2019). Managing the uncertainty problems of municipal solid waste disposal. *Journal of environmental management*, *240*, 259-265.
- Soares, C. M. T., Feiden, A., Plein, C., & Pastório, I. T. (2018). Uso do biogás no meio rural como um fator de desenvolvimento rural sustentável/Use of biogás in the rural environment as a factor for sustainable rural development. *Brazilian Journal of Development*, *4*(6), 3298-3317. Recuperado de: <http://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/337>.
- Soares, C. M. T., Feiden, A., & Tavares, S. G. (2017). Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. *Revista Nativa*, *5*, 509-514.
- Song, J., Yang, W., Li, Z., & Higano, Y. (2016). Discovering the energy, economic and environmental potentials of urban wastes: An input-output model for a metropolis case. *Energy conversion and management*, *114*, 168-179. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890416300383> doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.014>
- Sorrell, S. (2015). Reducing energy demand: A review of issues, challenges and approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *47*, 74-82. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115001471> doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.002>
- Stigt, R. van., Driessen, P. P. J., Spit, T. J. M. (2015). A user perspective on the gap between science and decision-making. Local administrators' views on expert knowledge in urban planning. *Environmental Science & Policy*. *47*, 167-176. Recuperado em: [sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901114002305](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901114002305) doi: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.12.002>
- Surendra, K. C., Takara, D., Hashimoto, A. G., & Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *31*, 846-859. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113008290> doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.015>
- Tolmasquim, M. T. (2016). *Energia Renovável – Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica*. EPE: Rio de Janeiro.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British journal of management*, *14*(3), 207-222. doi: <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>

- Valijanian, E., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Sulaiman, A., & Chisti, Y. (2018). Biogas production systems. In *Biogas* (pp. 95-116). Springer, Cham. Recuperado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-77335-3_4
- Waldman, M. (2013). Lixo domiciliar brasileiro: modelos de gestão e impactos ambientais. *Boletim Goiano de Geografia*, 33(2), 169-184. Recuperado de: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/25553>
doi: <https://doi.org/10.5216/bgg.v33i2.25553>
- Wang, A. J., Li, W. W., & Yu, H. Q. (2011). Advances in biogas technology. *Biotechnology in China III: Biofuels and Bioenergy*, 119-141. Recuperado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/10_2011_126
- Weiland, P. (2010). Biogas production: current state and perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, 85(4), 849-860. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00253-009-2246-7>.
doi: <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>.
- Zemo, K. H., Panduro, T. E., & Termansen, M. (2019). Impact of biogas plants on rural residential property values and implications for local acceptance. *Energy policy*, 129, 1121-1131. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421519301715>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.008>
- Zhang, C., & Xu, Y. (2020). Economic analysis of large-scale farm biogas power generation system considering environmental benefits based on LCA: A case study in China. *Journal of Cleaner Production*, 120985. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620310325>
doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120985>

APÊNDICE A – Roteiro das entrevistas com especialistas

Para a formulação das perguntas, foi considerado que o objeto de estudo, bem como o contexto estudado, são influenciados por variáveis abrangentes e ainda não tão bem conhecidas. Nesse sentido, foram realizadas somente duas perguntas aos entrevistados:

1 – Em sua opinião, quais são as principais barreiras que impedem maior produção e uso do biogás na Região Metropolitana de São Paulo?

2 – Quais soluções você acredita serem mais adequadas e práticas para superar as barreiras mencionadas em relação a produção e uso do biogás na Região Metropolitana de São Paulo?

APÊNDICE B – Artigos analisados na revisão sistemática da literatura organizados por ano de publicação

