

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**

MATHEUS MÜLLER

**ESTUDO SOBRE A CADEIA PRODUTIVA DO BIOMETANO E SEU USO
EM VEÍCULOS NO BRASIL**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA - PR

2018

MATHEUS MÜLLER

**ESTUDO SOBRE A CADEIA PRODUTIVA DO BIOMETANO E SEU USO
EM VEÍCULOS NO BRASIL**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Profa. Dra. Maria de Fátima dos Santos Ribeiro

CURITIBA – PR

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

MATHEUS MÜLLER

ESTUDO SOBRE A CADEIA PRODUTIVA DO BIOMETANO E SEU USO EM VEÍCULOS NO BRASIL

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 29 de agosto de 2018, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

Prof. Me. Romildo Alves dos Prazeres

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria de Fátima dos S. Ribeiro
Orientadora - UTFPR

Prof. Dr. Bill Jorge Costa
UTFPR

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior
UTFPR

| |
|---|
| O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso |
|---|

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por estar sempre comigo me orientando e guiando, e por tudo o que conquistei até aqui.

Aos meus pais, Vilmar Müller e Janete de Camargo Müller por me incentivarem sempre e me proporcionarem condições para ter um bom estudo, sem pouparem esforços.

A minha namorada, Ma. Bruna Martins Bomfati, por todo o carinho, amor, encorajamento, sabedoria, grande apoio, extrema ajuda, e enérgica paciência em todos os momentos.

A minha Profa. orientadora Dra. Maria de Fátima dos Santos Ribeiro, pela sugestão do trabalho, ajuda nos momentos difíceis, e pelo auxílio com seu conhecimento nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala, pelo companheirismo e troca de experiências realmente construtivas.

A Coordenação do Curso, pela cooperação.

E a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

MÜLLER. Matheus. **Estudo sobre a cadeia produtiva do biometano e seu uso em veículos no Brasil**. 2018. 74f. Monografia (Especialização em Energias Renováveis), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

A utilização intensiva de combustíveis fósseis no Brasil, nos diversos setores, vem causando muitos problemas ambientais, sendo que a área de maquinários e transportes possui grande participação neste cenário. Outro fator preocupante ao ecossistema é a produção de dejetos pela criação intensiva de bovinos de leite, suínos e aves. Estes fatores unidos levam a discussão da cadeia produtiva do biometano, combustível renovável com possível aplicação veicular, gerado a partir da limpeza e purificação do biogás proveniente da digestão anaeróbica dos diversos tipos de matéria orgânica existentes. Assim, esta pesquisa tem o objetivo de explorar a cadeia produtiva deste combustível renovável, mostrando como se encontra a situação atual da geração e do uso do biometano no país. No trabalho é verificada a atuação dos ambientes organizacional e institucional para que o biometano seja mais uma opção viável de combustível para a matriz energética nacional, assim como as tecnologias envolvidas, empresas, instituições e organizações que trabalham nessa área e, finalmente, os consumidores que podem usufruir deste combustível. Por fim, a pesquisa mostra as vantagens ambientais da produção e do uso do biometano, além de mostrar as experiências e estudos desenvolvidos neste contexto. Conclui-se com este estudo, que o biometano pode ser um combustível promissor, desde que vença determinadas barreiras, como por exemplo, a escala de produção, altos custos, falta de equipamentos nacionais e o baixo incentivo das políticas públicas. Sendo assim, são necessários mais investimentos em pesquisa e desenvolvimento para uma maior evolução do setor.

Palavras-chave: Biometano. Cadeia produtiva. Resíduos agrossilvopastoris. Combustível veicular.

ABSTRACT

MÜLLER. Matheus. **Study on the supply chain of biomethane and its use in vehicles in Brazil**. 2018. 74f. Monografia (Especialização em Energias Renováveis), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

The intensive use of fossil fuels in Brazil, at the various sectors, has been causing many environmental problems, and the area of machinery and transportation has great participation in this scenario. Another worrying factor for the ecosystem is the production of manure by the intensive breeding of dairy animals, pork cattle, and laying hens. These factors together lead to discussion of the biomethane supply chain, renewable fuel with possible vehicular application, generated from the cleaning and purification of biogas from anaerobic digestion of the various types of organic matter. Thus, this research has the objective of exploring the supply chain of this renewable fuel, showing how is the current situation of the generation and use of biomethane in the country. In this work, the performance of the organizational and institutional environments are verified so that biomethane is considered as a viable fuel option for the national energy matrix, as well as the technologies involved, companies, institutions and organizations that work in this area and, finally, consumers who can use this fuel. Finally, the research highlights the environmental advantages of the production and use of biomethane, in addition to showing the experiences and studies developed in this context. It is concluded from this study that biomethane can be a promising fuel as long as it overcomes certain barriers, such as production scale, high costs, lack of national equipment and the low incentive of public policies. Therefore, more investments in research and development are needed to further develop the sector.

Keywords: Biomethane. Supply Chain. Farming waste. Vehicular fuel.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| QUADRO 1 - FASES DO PROCESSO DA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA (SIMPLIFICADO)..... | 19 |
| QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE GERAÇÃO DO BIOGÁS SEGUNDO DIFERENTES CRITÉRIOS. | 21 |
| FIGURA 1 - FONTES DE OBTENÇÃO DO BIOGÁS E DO BIOMETANO E SUAS POSSÍVEIS APLICAÇÕES. | 24 |
| FIGURA 2 - CADEIA PRODUTIVA DO BIOMETANO..... | 28 |
| FIGURA 3 - BIODIGESTOR DO TIPO CSTR. | 30 |
| FIGURA 4 - BIODIGESTOR DO TIPO LAGOA COBERTA..... | 31 |
| FIGURA 5 - REATOR ANAERÓBICO DE FLUXO ASCENDENTE..... | 32 |
| FIGURA 6 - ESQUEMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO SIMPLIFICADO DO BIOMETANO..... | 33 |
| FIGURA 7 – ESQUEMA DE COMPRESSÃO DO BIOMETANO..... | 35 |
| FIGURA 8 - REDE DE GASODUTOS NO BRASIL..... | 37 |
| FIGURA 9 – ESQUEMA DE POSTO DE GNV..... | 38 |
| FIGURA 10 – COMPONENTES DE CONVERSÃO PARA USO DE GNV..... | 40 |
| FIGURA 11 – RESULTADOS DE EMISSÕES DE MONÓXIDO DE CARBONO. | 53 |
| QUADRO 3 - ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOMETANO | 64 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 - FAIXAS DE COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS PROVENIENTE DE DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS | 20 |
| TABELA 2 - ESPECIFICAÇÃO DO BIOMETANO ORIUNDO DE ATERROS E ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO. | 46 |
| TABELA 3 - ESPECIFICAÇÃO DO BIOMETANO ORIUNDO DE PRODUTOS E RESÍDUOS AGROSSILVOPASTORIS E COMERCIAIS. | 47 |
| TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE PARÂMETROS DE AFLUENTES DE GRANJAS SUÍNAS E RESPECTIVOS EFLUENTES LÍQUIDOS TRATADOS EM BIODIGESTOR. | 50 |
| TABELA 5 - QUANTIDADE DE ANIMAIS NECESSÁRIA PARA SUPRIR A CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO DO MICROPOSTO. | 56 |
| TABELA 6 - COMPARAÇÃO DE CUSTOS E CONSUMO ENTRE COMBUSTÍVEIS EM VEÍCULOS LEVES. | 57 |
| TABELA 7 - COMPARAÇÃO DE CUSTOS E CONSUMO ENTRE TRATORES UTILIZANDO DIFERENTES COMBUSTÍVEIS. | 57 |
| TABELA 8 - CUSTOS DO SISTEMA DE BIODIGESTÃO PARA PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE ENERGIA VEICULAR NO CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA DO LAJEADO GRANDE, TOLEDO, PARANÁ. | 62 |

LISTA DE SIGLAS, ACRÔNIMOS E SÍMBOLOS

| | |
|-----------------|---|
| ABC | - Agricultura de Baixa emissão de Carbono |
| ABiogás | - Associação Brasileira do Biogás e Biometano |
| ANP | - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis |
| ARSESP | - Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo |
| atm | - Atmosfera |
| bar | - Unidade de Pressão |
| BNDES | - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social |
| C | - Carbono |
| °C | - Graus Celsius |
| CBIO | - Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis |
| CH ₄ | - Metano ou Gás Metano |
| CIBiogás-ER | - Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás |
| Cl | - Cloro |
| CO | - Monóxido de Carbono |
| CONAMA | - Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CO ₂ | - Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico |
| CSTR | - Reator Contínuo de Mistura Completa |
| dB | - Decibel |
| DBO | - Demanda Biológica de Oxigênio |
| DQO | - Demanda Química de Oxigênio |
| ECOCITRUS | - Cooperativa de Citricultores |
| ECU | - Unidade de Controle Eletrônico |
| ETE | - Estação de Tratamento de Esgoto |
| F | - Fluor |
| g | - Grama |
| GN | - Gás Natural |
| GNC | - Gás Natural Comprimido |
| GNL | - Gás Natural Liquefeito |
| GNV | - Gás Natural Veicular |

| | |
|------------------|---|
| h | - Hora |
| HC | - Hidrocarbonetos |
| H ₂ | - Hidrogênio ou Gás Hidrogênio |
| H ₂ O | - Água |
| H ₂ S | - Ácido Sulfídrico |
| IPVA | - Imposto Sobre a Propriedade de Veículos Automotores |
| J | - Joule |
| kg | - Quilograma |
| L | - Litro |
| m | - Metro |
| MEA | - Monoetanolamina |
| mg | - Miligrama |
| ml | - Mililitro |
| mm | - Milímetros |
| MME | - Ministério de Minas e Energia |
| m ³ | - Metro Cúbico |
| N | - Nitrogênio |
| NMP | - Número Mais Provável |
| NH ₃ | - Amoníaco (NH ₃) |
| Nm ³ | - Normal Metro Cúbico |
| N ₂ | - Nitrogênio ou Gás Nitrogênio |
| O | - Oxigênio |
| pH | - Potencial Hidrogeniônico |
| PIGUBB | - Programa de Incentivo à Geração e à Utilização do Biogás e de Biometano |
| ppm | - Parte Por Milhão |
| PRFV | - Plástico Reforçado em Fibra de Vidro |
| PTI | - Parque Tecnológico Itaipu |
| rpm | - Rotações por Minuto |
| S | - Enxofre |
| SABESP | - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo |
| SASE | - Serviço Autônomo de Água, Saneamento e Energia |
| Si | - Siloxanos |

| | |
|----------|---|
| SV | - Sólidos Voláteis |
| UASB | - <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> ou Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente |
| UNIVATES | - Universidade do Vale do Taquari |
| UPD | - Unidade de Produção de Leitões até o Desmame |
| UTAB | - Unidade de Tratamento do Biogás e de Abastecimento de Biometano |
| W | - Watt |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | TEMA | 14 |
| 1.2 | PROBLEMAS E PREMISSAS | 14 |
| 1.3 | JUSTIFICATIVA | 15 |
| 1.4 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 16 |
| 2 | OBJETIVOS | 17 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL..... | 17 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 17 |
| 3 | METODOLOGIA | 18 |
| 4 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA | 19 |
| 4.1 | BIOGÁS..... | 19 |
| 4.1.1 | Composição do Biogás..... | 20 |
| 4.1.2 | Biodigestores..... | 21 |
| 4.1.3 | Crterios e Características de Produção de Biogás | 21 |
| 4.2 | BIOMETANO..... | 23 |
| 4.2.1 | Processos de Purificação do Biogás | 24 |
| 4.3 | CONCEITO DE CADEIA PRODUTIVA | 27 |
| 5 | DESCRIÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOMETANO NO BRASIL 28 | |
| 5.1 | ELOS DA CADEIA..... | 29 |
| 5.1.1 | Subsetor à montante: os insumos | 29 |
| 5.1.2 | Subsetor de produção: agropecuário | 32 |
| 5.1.3 | Subsetor de transformação | 34 |
| 5.1.4 | Subsetor de distribuição | 35 |
| 5.1.5 | Consumidor final..... | 38 |
| 5.2 | AMBIENTES ORGANIZACIONAL E INSTITUCIONAL | 43 |
| 5.2.1 | Ambiente organizacional | 43 |
| 5.2.2 | Ambiente institucional..... | 46 |
| 6 | ASPECTOS AMBIENTAIS | 50 |
| 6.1 | EMISSÕES EM VEÍCULOS | 52 |
| 7 | EXPERIÊNCIAS E ESTUDOS DO USO DO BIOMETANO EM VEÍCULOS NO BRASIL | 54 |

| | | |
|----------|-------------------------------------|-----------|
| 8 | ANÁLISE DOS RESULTADOS | 59 |
| 9 | CONCLUSÃO | 66 |
| | REFERÊNCIAS..... | 67 |

1 INTRODUÇÃO

Atualmente com as crises econômica e ambiental ocorrendo em âmbito nacional, soluções diversas vêm aparecendo para que a população consiga melhorar a sua qualidade de vida e o meio ambiente em sua volta, contudo não podem ser levadas em conta somente simples soluções, mas sim se deve escolher as que sejam de caráter sustentável, não somente em respeito ao meio ambiente, mas também quanto a geração de empregos, a melhoria de vida das pessoas e a criação de novos conhecimentos. Neste intuito, essa pesquisa apresentará como o biometano pode ser produzido e utilizado como combustível renovável em motores veiculares comparado aos combustíveis fósseis convencionais.

1.1 TEMA

O presente trabalho irá mostrar, no campo das energias renováveis, se é possível que o biometano seja utilizado em veículos com motores à combustão, assim como estudar a cadeia produtiva deste combustível.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

A sociedade como está formada possui diversos desafios e problemas a serem solucionados. A poluição ambiental gerada pela utilização de combustíveis fósseis no setor de transportes traz diversas consequências para a população, sendo que as doenças respiratórias causadas pela poluição do ar são as mais comuns. Além de causar impactos à sociedade, também existe a preocupação global, já que a utilização sem controle de recursos não renováveis leva ao esgotamento das reservas desses combustíveis. Junto a isso tem-se também a maior concentração de CO₂ na atmosfera pela queima desses combustíveis, ocasionando um maior efeito estufa, causando muitas vezes mudanças climáticas indesejáveis, devido ao aquecimento global.

Outro problema que a população enfrenta são os gastos com a compra de combustível convencional para uso veicular, combustível que sofre reajuste de preço a cada determinado período, muitas vezes por ser importado e estar dependente a políticas econômicas externas.

Portanto, levanta-se a seguinte questão: Qual a situação atual da cadeia produtiva do biometano e suas respectivas barreiras e pontos favoráveis à sociedade?

1.3 JUSTIFICATIVA

A biomassa residual, como resíduos e efluentes orgânicos originados da produção agropecuária, da indústria e de serviços municipais de saneamento (resíduos sólidos urbanos, esgotos e lodos sanitários) (BRASIL, 2015a), que antes era um problema em termos de destinação e tratamento, hoje pode ser utilizada de diversas formas para geração de energia.

Pensando em aproveitamento energético, estes tipos de materiais disponíveis podem ser transformados em biogás, combustível que quando segue todas as especificações técnicas e de segurança pode trazer benefícios ambientais, econômicos e sociais, como por exemplo: o aumento da diversificação da matriz energética, diminuindo a dependência de energias advindas de fontes fósseis, aumento da geração de empregos, a diminuição dos gases do efeito estufa, etc... De acordo com Moura (2012, p.1070), “A utilização do biogás proveniente de lixo e dejetos sanitários como insumo para produção de energia representa grande benefício socioambiental, principalmente nos grandes centros urbanos, devido à redução de emissões de poluentes”.

Outra questão importante é que as usinas de biogás, juntamente com as unidades de tratamento de resíduos bem como os postos de abastecimento de biometano nas regiões rurais podem garantir um fornecimento de combustível descentralizado (BRASIL, 2016).

Vale ressaltar que a utilização energética de resíduos e efluentes orgânicos, através da digestão anaeróbica, possui uma importância cada vez maior no Brasil, uma vez que essas tecnologias promovem a união da produção energética aos serviços de saneamento básico ambiental (BRASIL, 2015a).

O biometano, gás resultante do beneficiamento do biogás, além de ser vantajoso por ser um gás renovável, pode ser armazenado e ter utilização no momento ou local desejado, sendo como gás para geração de energia elétrica, térmica ou como combustível veicular (MIKI, 2017).

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está baseado em 9 capítulos que discutem de início o que será abordado na pesquisa, os objetivos, seguido dos procedimentos adotados. Logo após tem-se a revisão bibliográfica, mostrando o embasamento teórico da pesquisa, onde são tratados os conceitos relacionados ao biogás, biometano e a cadeia produtiva. Em seguida os capítulos descrevem a cadeia produtiva do biometano no Brasil, os aspectos ambientais relacionados a ela, as experiências e estudos envolvendo o tema no país. Por fim apresenta-se a discussão dos resultados, seguido do entendimento da pesquisa e do referencial bibliográfico consultado.

Assim o primeiro capítulo: **INTRODUÇÃO**, mostra o tema, a delimitação do mesmo, os problemas e as premissas, além da justificativa do estudo.

Já o segundo capítulo: **OBJETIVOS**, apresenta as finalidades da pesquisa.

O terceiro capítulo: **METODOLOGIA**, explica como o trabalho está elaborado e que tipos de pesquisas científicas são utilizadas.

O quarto capítulo: **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA**, traz o embasamento teórico da pesquisa desenvolvendo os conceitos e informações sobre biogás, biodigestores e biometano, para melhor entender o trabalho proposto.

O quinto capítulo: **DESCRIÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOMETANO NO BRASIL**, demonstra quais são os elos presentes na cadeia, assim como os ambientes que interferem na produção do biometano.

O sexto capítulo: **ASPECTOS AMBIENTAIS**, expressa como a cadeia influencia o meio ambiente.

O sétimo capítulo: **EXPERIÊNCIAS E ESTUDOS DO USO DO BIOMETANO EM VEÍCULOS NO BRASIL**, busca mostrar o que já está desenvolvido no país, e o que se encontra em progresso em termos de estudos e experiências.

O oitavo capítulo: **ANÁLISE DOS RESULTADOS**, demonstra como as informações e dados obtidos pela pesquisa podem auxiliar na busca da situação atual da cadeia produtiva do biometano.

Por fim o último capítulo: **CONCLUSÃO**, apresenta o entendimento da pesquisa proposta, levando em conta a análise e as discussões sobre as informações abordadas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a cadeia produtiva do biometano no Brasil.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Descrever os processos de obtenção do biogás.
- b. Expor os tipos de biodigestores mais utilizados na produção de biogás.
- c. Caracterizar os procedimentos de purificação do biogás.
- d. Descrever a cadeia produtiva do biometano no Brasil, com ênfase no setor agropecuário.
- e. Identificar as restrições em cada elo da cadeia produtiva.

3 METODOLOGIA

Este trabalho é caracterizado, quanto à abordagem, por uma pesquisa qualitativa, pois segundo Gerhardt e Silveira - Organizadores (2009) as características que envolvem este tipo de estudo são as ações de descrever, compreender e explicar o fenômeno em questão, no caso o biometano.

Levando em conta os objetivos a serem alcançados, a pesquisa tem caráter descritivo, dado que Triviños (1987) afirma que este tipo de pesquisa descreve fatos e fenômenos a respeito de determinada realidade.

Do ponto de vista dos procedimentos adotados, o trabalho é caracterizado por apresentar pesquisas bibliográficas e documentais, pois segundo Fonseca (2002) a pesquisa bibliográfica é realizada pelo levantamento de dados e informações referenciais teóricas já analisadas e publicadas através de livros e artigos científicos e a pesquisa documental consiste em fazer o levantamento em fontes mais diversificadas que não sofreram tratamento analítico, como: revistas, relatórios, documentos oficiais e relatórios empresariais, que abordam os assuntos relacionados aos temas biogás e biometano.

Assim, a pesquisa teve por base a busca de informações em dissertações de mestrados, teses de doutorados, artigos de periódicos, sites de empresas, associações e organizações, diários oficiais, revistas, guias, manuais, catálogos, entre outros documentos.

A delimitação geográfica da pesquisa, apesar de ser mencionados com maior frequência os estados do sul do Brasil devido à maior quantidade de informação encontrada, abrange todo o território nacional.

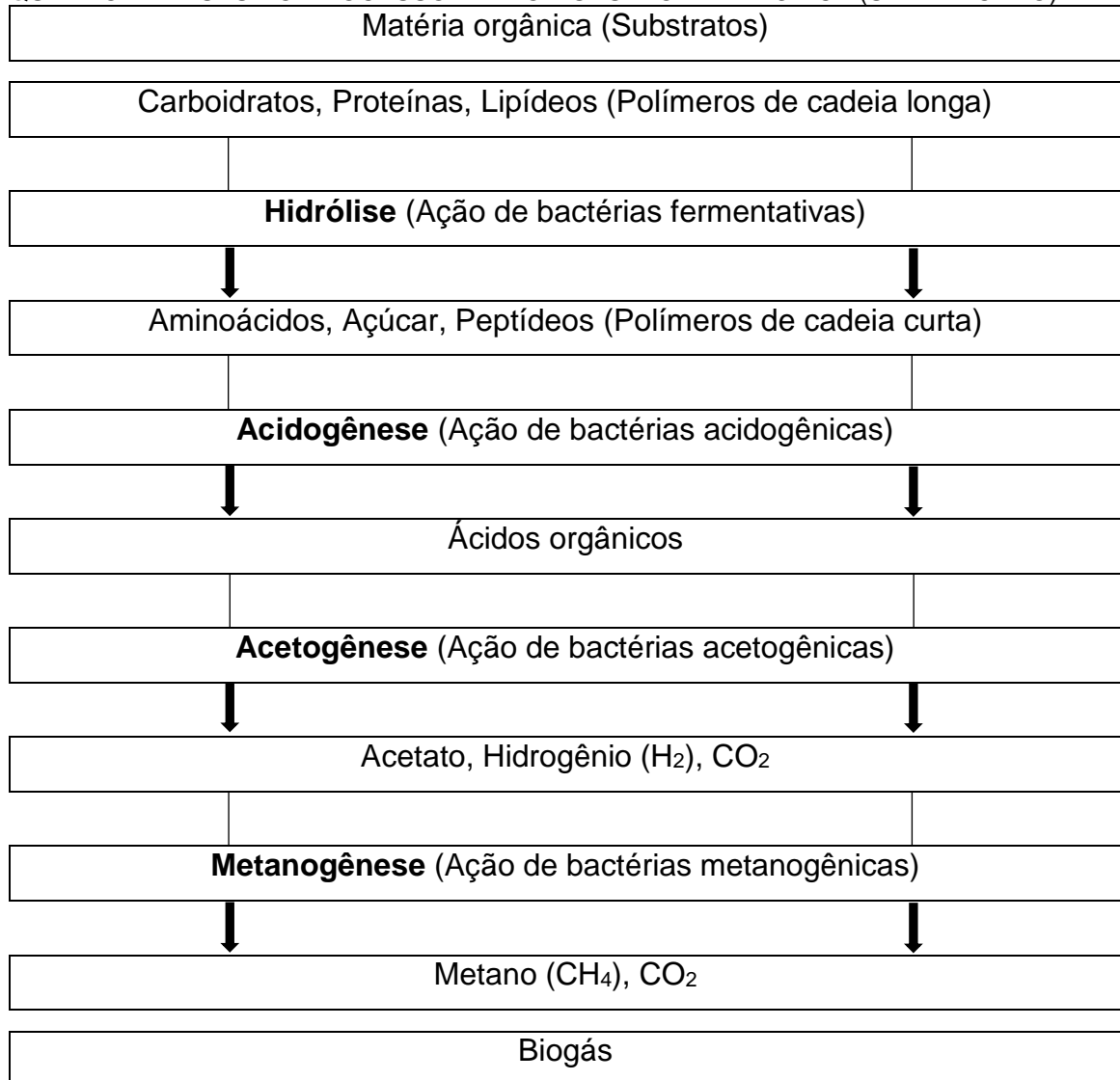
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

4.1 BIOGÁS

O biogás é obtido a partir da decomposição da matéria orgânica em processo de digestão anaeróbica, transformando-a em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), através de uma série de reações causadas por microrganismos na ausência de oxigênio (PATTERSON et al., 2013).

As fases do processo de biodigestão anaeróbica podem ser vistas no Quadro 1.

QUADRO 1 - FASES DO PROCESSO DA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA (SIMPLIFICADO).



FONTE: Adaptado de FNR (2013)

A primeira fase do processo é a hidrólise, responsável por utilizar as bactérias hidrolíticas fermentativas para transformar a matéria orgânica mais complexa de cadeia mais longa como proteínas, lipídeos e carboidratos, em moléculas mais simples de cadeia mais curta, sendo elas os aminoácidos, açúcares e ácidos graxos (MOURA, 2012).

A segunda etapa do processo é a acidogênese, ela tem por objetivo decompor os produtos da primeira fase em ácidos graxos de cadeia curta e álcoois (FNR, 2013).

A terceira fase, acetogênese, converte os ácidos orgânicos através das bactérias acetogênicas produtoras e consumidoras de H_2 em acetato, H_2 e CO_2 (MOURA, 2012).

A última etapa do processo é a metanogênese, encarregada de converter o ácido acético (acetato), e os outros produtos da fase anterior em metano e dióxido de carbono, formando assim o biogás (FNR, 2013; MOURA, 2012).

Todas as etapas ocorrem simultaneamente, e para haver um desempenho adequado da produção de biogás, o equilíbrio entre as populações de bactérias deve ser atingindo e, para que isso ocorra, é necessário que exista uma interação entre os principais parâmetros do sistema, como por exemplo a temperatura, o pH e a composição da matéria orgânica fornecida (FNR, 2013; MOURA, 2012).

4.1.1 Composição do Biogás

Os principais componentes do biogás são o CH_4 e o CO_2 (SANTOS et al., 2018), e o seu poder calorífico está diretamente interligado com a quantidade de metano presente na mistura gasosa (SUZUKI et al., 2011). A composição química média do biogás pode ser visualizada na Tabela 1.

TABELA 1 - FAIXAS DE COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS PROVENIENTE DE DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS

| Gás | Porcentagem (%) |
|-------------------------------|-----------------|
| Metano (CH_4) | 55 - 70 |
| Dióxido de carbono (CO_2) | 30 - 45 |
| Nitrogênio (N) | 0 - 5 |
| Ácido sulfídrico (H_2S) | 0 - 0,5 |
| Amoníaco (NH_3) | 0 - 0,05 |

FONTE: Adaptado de DEUBLEIN; STEINHAUSER (2018)

A fração de cada gás na mistura é dependente de vários parâmetros, como por exemplo, tipo de biodigestor utilizado e a matéria orgânica a ser digerida (substrato) (SUZUKI et al., 2011).

4.1.2 Biodigestores

Os biodigestores, também chamados de reatores, são responsáveis por proporcionar um ambiente anaeróbio propício para a biodigestão (SAKUMA, 2013). O biodigestor constitui-se de uma câmara hermética onde a matéria orgânica passa por um processo de fermentação em ausência de oxigênio (GASPAR, 2003). O biodigestor tem por objetivo a produção de biogás e tratamento dos resíduos orgânicos. Como consequência, a biodigestão é capaz de reduzir o potencial poluente da matéria orgânica de entrada em até 80% da carga orgânica em DBO (demanda biológica de oxigênio) ou DQO¹ (demanda química de oxigênio), de diminuir a contaminação infectocontagiosa em mais de 90% e de produzir um efluente final estabilizado que possua baixa relação carbono/nitrogênio (10:1) e um pH em torno de 7 com ausência de cheiro e sem atração de moscas (BLEY JÚNIOR et al., 2009). Existem diversos tipos de biodigestores espalhados pelo mundo, no qual a China e a Índia possuem experiência de longo tempo (BLEY JÚNIOR et al., 2009).

4.1.3 Critérios e Características de Produção de Biogás

Para que haja uma escolha do melhor tipo de tecnologia de biodigestor a ser utilizada, alguns critérios de geração de biogás devem ser considerados. Estes podem ser vistos no Quadro 2.

QUADRO 2 - CLASSIFICAÇÃO DOS PROCESSOS DE GERAÇÃO DO BIOGÁS SEGUNDO DIFERENTES CRITÉRIOS.

| CRITÉRIO | CARACTERÍSTICAS |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| Concentração de sólidos totais | Biodigestão úmida Biodigestão seca |
| Tipo de alimentação | Batelada Semicontínua |

¹ DBO: quantidade de oxigênio necessária para que haja estabilização da matéria orgânica por via biológica em condições aeróbicas. DQO: quantidade de oxigênio necessária para que haja estabilização da matéria orgânica quimicamente (DETERMINAÇÃO..., 2017, não paginado).

| | |
|--------------------------------|--|
| | Contínua |
| Número de estágios do processo | Um estágio Múltiplos estágios |
| Temperatura do processo | Psicrofílico (~25 °C) Mesofílico (32 a 42 °C) Termofílico (50 a 57 °C) |

FONTE: Adaptado de FNR (2013)

A concentração de sólidos totais, também conhecida como teor de matéria seca, (KREUGER; NGES; BJÖRNSSON, 2011) define se a biodigestão será úmida ou seca, porém não há uma porcentagem bem definida para a diferenciação das duas, sendo que, no consenso geral, a biodigestão úmida, que é a mais utilizada nas instalações agrícolas, possui uma concentração de sólidos totais de até 15%, pois em concentrações superiores o substrato poderia causar problemas de bombeamento e entupimento de tubulações. A biodigestão seca é a que contém uma concentração de sólidos totais entre 20 e 40%, e é assim designada por trabalhar com substratos empilháveis (FNR, 2010, 2013).

Sobre os tipos de alimentação existentes, há três, sendo que o primeiro é o de batelada (descontínuo), que consiste em fornecer toda a matéria orgânica de uma só vez e então fechar o reator hermeticamente. Ao fim do processo de produção de biogás, toda a matéria orgânica remanescente deve ser retirada para uma nova carga de substrato, lembrando que um pouco de inóculo deve ser mantido para a próxima alimentação (FNR, 2013). A segunda é a alimentação semicontínua e é caracterizada por apresentar uma carga de substrato no biodigestor de, no mínimo, uma vez ao dia. Por fim, a alimentação contínua é a que propicia o bombeamento do substrato várias vezes ao dia de um tanque de carga para o biodigestor (FNR, 2010).

Em relação ao número de estágios do processo, este é definido levando em conta se as fases da biodigestão ocorrem em um ou mais reatores, ou seja, se todas as fases ocorrem em um reator, o processo é considerado de um estágio. Caso contrário, onde, por exemplo, a hidrólise e a acidogênese ocorrem em um reator e a acetogênese e metanogênese em outro, o processo é então conhecido como de múltiplos estágios (FNR, 2013).

Já a temperatura do processo pode-se dividir em três opções, psicrofílica, mesofílica e termofílica. Os microrganismos psicrofílicos se desenvolvem numa temperatura ótima de até 25 °C, ou seja, o substrato e o biodigestor não necessitam de aquecimento, porém, a lenta decomposição da matéria orgânica e a reduzida

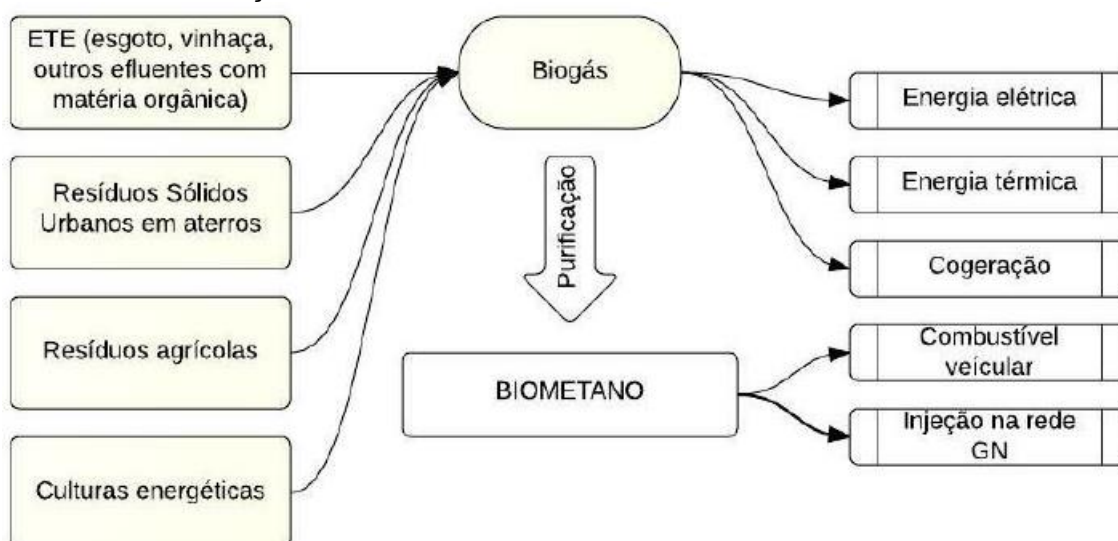
produção de biogás nessas temperaturas, na maioria das vezes, inviabilizam a operação de usinas de biogás em escala comercial. A faixa mesofílica de temperatura entre 37 e 42 °C é a que apresenta picos de crescimento da maioria dos microrganismos metanogênicos, e é a mais utilizada nas usinas de biogás por ter bons rendimentos e boa estabilidade do processo. A faixa termofílica é a que possui as maiores temperaturas, sendo que estão entre 50 a 60 °C. Como este processo possui temperaturas mais elevadas, é responsável por apresentar as melhores taxas de degradação, tornando o substrato menos viscoso, contudo, a manutenção dessas temperaturas requer maiores gastos de energia. Adicionalmente, o processo é mais sensível a variações de alimentação e operação do biodigestor, já que existe uma quantidade menor de bactérias metanogênicas que trabalham na faixa termofílica. Independentemente da faixa de temperatura a ser trabalhada, os microrganismos metanogênicos podem se adaptar a diferentes níveis de temperaturas desde que as variações destas sejam lentas e exista uma maior estabilidade no processo (FNR, 2010).

Outras características que também são importantes para uma melhor definição do sistema a ser empregado são: a composição do substrato orgânico disponível em termos de pH, viscosidade, relação carbono/nitrogênio; presença de agentes inibidores ao processo de metanização; disponibilidade do substrato em relação ao volume de geração e a sazonalidade do mesmo (MINAS GERAIS, 2015).

4.2 BIOMETANO

O biometano é obtido através da purificação do biogás, portanto é oriundo das mesmas matérias primas, e por passar por um processo de beneficiamento, possui aplicações mais específicas que o biogás, conforme pode ser visto na Figura 1.

FIGURA 1 - FONTES DE OBTENÇÃO DO BIOGÁS E DO BIOMETANO E SUAS POSSÍVEIS APLICAÇÕES.



FONTE: VEIGA; MERCEDES (2015)

O processo de purificação é constituído por, no mínimo, três fases: descarbonização, dessulfurização e desidratação, tendo como objetivo eliminar compostos indesejáveis do biogás, como o CO₂, gás inerte em termos de energia, aumentando assim o poder calorífico (BORDELANNE et al., 2011), já que o metano é o componente mais importante neste quesito (MIHIC, 2004).

A presença de elementos não combustíveis no biogás, como a água e o dióxido de carbono, prejudica o processo de combustão, diminuindo sua eficiência, pois são componentes que absorvem parte da energia formada durante a queima. Além desses, existe também a presença de gás sulfídrico (H₂S) que pode ser responsável por causar corrosão, tornando menor tanto o rendimento, quanto a vida útil do motor a ser utilizado (SUZUKI et al., 2011).

4.2.1 Processos de Purificação do Biogás

Os processos mais comuns de purificação do biogás para torná-lo biometano são: Purificação por membrana, Purificação criogênica, Lavagem por água, Purificação por absorção e Purificação química.

O processo de separação por membrana consiste em passar o biogás através de membranas que separam o CO₂ do CH₄. A separação ocorre devido à diferença de pressão parcial à que a membrana é submetida e à diferença entre o tamanho das moléculas dos gases, de forma que as moléculas pequenas e solúveis, como o CO₂

e o H_2S permeiam pela membrana, enquanto moléculas maiores, como o CH_4 , ficam retidas (HULLU et al., 2008; SILVA, 2017). O processo consegue eliminar também outros contaminantes, como vapor de água e nitrogênio, e não necessita de produtos químicos ou solventes (CHAEMCHUEN; ZHOU; VERPOORT, 2016).

As vantagens desse processo são: o baixo custo, pouca energia utilizada, operação simples e segura, trabalho a temperatura ambiente. A maior desvantagem é que os resíduos indesejáveis da purificação ainda contêm certa quantidade de metano. Este tipo de purificação consegue uma porcentagem final de metano entre 90 e 96% (SILVA, 2017). As membranas mais utilizadas são normalmente feitas de polímeros e a eficiência do processo depende do tipo de membrana utilizada (HULLU et al., 2008).

Já a purificação criogênica se resume por fazer a separação principal de CO_2 e CH_4 utilizando baixas temperaturas e altas pressões (HULLU et al., 2008). Ou seja, o biogás é comprimido e resfriado formando CO_2 líquido condensado, que então pode ser retirado da mistura em um separador. A mistura do gás comprimido deve passar por uma secagem para não ocorrer congelamento no processo (HAGEN; POLMAN, 2001). As desvantagens desse tipo de purificação são o alto consumo de energia, complexidade de tratamento, utilização de diversos equipamentos. A porcentagem de metano obtida varia em torno de 97% (SILVA, 2017).

A lavagem por água é um processo físico de separação em que o biogás é pressurizado na parte de baixo de uma coluna de absorção e em seu topo ocorre a alimentação de água, também pressurizada, fluindo em contracorrente com o gás injetado. A separação do CO_2 e do H_2S ocorre, pois estes são mais solúveis em água do que o CH_4 . O processo ocorre em alta pressão para aumentar a solubilidade dos gases na água, que é o solvente mais utilizado neste tipo de purificação. Assim o gás que sai pelo topo da coluna é quase livre de CO_2 . Este método também pode ser usado para uma purificação seletiva, ou seja, caso seja de interesse remover somente o H_2S (HULLU et al., 2008; HAGEN; POLMAN, 2001). As vantagens deste procedimento são a menor infraestrutura necessária, economia e possibilidade de utilizar baixas vazões de biogás. A desvantagem principal se dá pelo fato que o efluente líquido deve receber pós-tratamento para reutilização ou descarte. A porcentagem de metano obtida varia entre 95 e 100% (SILVA, 2017).

A purificação por adsorção é um método que consiste em utilizar um tipo de material adsorvente, como por exemplo, carbono ativado, sílica de gel, alumina e

zeólitas, para remover os componentes indesejáveis do biogás em pressões elevadas. Para que a separação ocorra, o biogás entra na parte de baixo de um reservatório que está preenchido com o material adsorvente, assim, durante a passagem do gás, contaminantes como N_2 , O_2 , H_2O , H_2S e CO_2 são adsorvidos. Desta forma o gás que sai pela parte de cima do reservatório pode conter concentrações de CH_4 superiores a 97% (HULLU et al., 2008).

Após o material adsorvente atingir a saturação, o reservatório deve ser submetido a um procedimento de regeneração em que ocorre a despressurização do mesmo, chegando próximo as condições de vácuo, de forma que os gases adsorvidos pelo material são eliminados. Em seguida, o reservatório é então pressurizado novamente para poder ser reutilizado (HULLU et al., 2008). Este processo tem boa capacidade de remoção de umidade, possui design e operação simples. Contudo, necessita de altas temperaturas e pressões, aumentando o custo do processo (KAPDI et al., 2005).

Por fim a purificação química traz a separação dos contaminantes através de reações químicas reversíveis entre soluto e solvente, ou seja, o biogás é conduzido em um líquido a elevada temperatura e pressão e os componentes, como o CO_2 e H_2S , são absorvidos através de reações químicas neste líquido. A regeneração do solvente é necessária, pois mesmo havendo altos gastos de energia para romper as ligações químicas formadas, ela evita os altos custos com a destinação correta dos resíduos não regenerados. Os solventes químicos mais utilizados neste processo são as soluções aquosas de aminas, mais especificamente a monoetanolamina (MEA), por ela já ser usada em outros processos de separação como a limpeza de gás natural, separação de CO_2 dos gases de combustão, produção de hidrogênio e amônia, etc. (HAGEN; POLMAN, 2001; KAPDI et al., 2005).

A porcentagem de metano obtida com esta técnica pode chegar próximo a 100% (HAGEN; POLMAN, 2001). Dentre os métodos citados, este é o melhor em termos de separação de H_2S , pois ele não só o separa como também pode convertê-lo em S ou outros produtos mais estáveis e com maior valor agregado (HULLU et al., 2008).

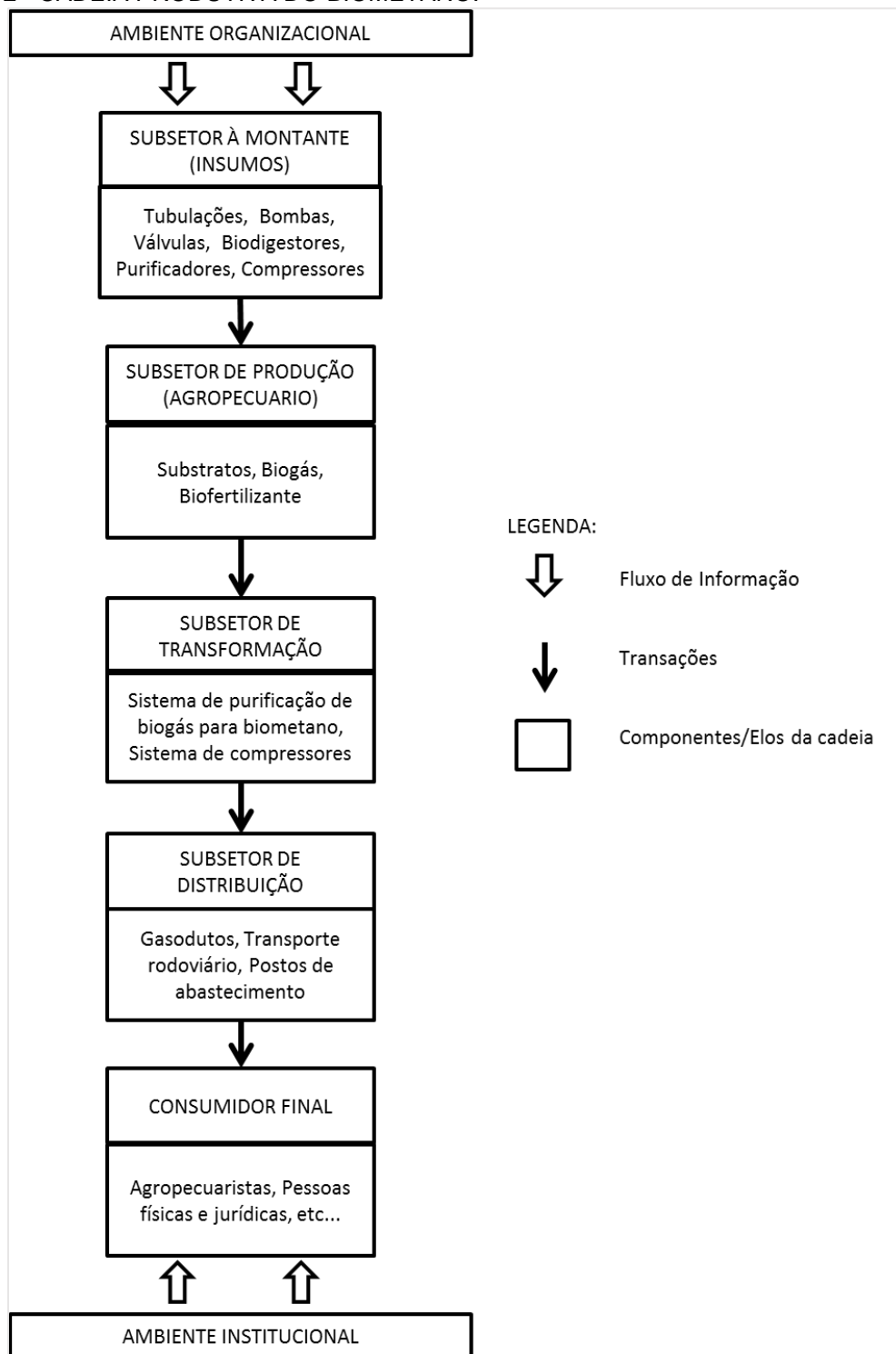
4.3 CONCEITO DE CADEIA PRODUTIVA

Para haver uma melhor compreensão das variáveis envolvidas nos diversos processos presentes na produção do produto final biometano, o conceito de Cadeia Produtiva é utilizado neste estudo. Este conceito visa melhorar a capacidade de análise de qualquer tipo de processo produtivo (CASTRO, 2001) e, segundo o autor, a Cadeia Produtiva define-se como um grupo de componentes interativos compostos por: fornecedores de insumos e serviços, indústrias de processamento e transformação, agentes de distribuição e comercialização, consumidores finais, além dos ambientes organizacional e institucional que interferem no desempenho da cadeia.

5 DESCRIÇÃO DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOMETANO NO BRASIL

Um esquema geral da cadeia produtiva do biometano pode ser observada na Figura 2.

FIGURA 2 - CADEIA PRODUTIVA DO BIOMETANO.



FONTE: Adaptado de CASTRO (2001)

A cadeia produtiva do biometano está construída baseada em cinco elos, sendo que tem início no elo de fornecedores de insumos, que correspondem aos equipamentos necessários à produção do combustível, seguido do elo da produção, onde se encontra o processo de transformação da matéria orgânica (dejetos animais, resíduos agroindustriais e resíduos urbanos) em biogás e biofertilizante, logo após tem-se o elo da transformação do biogás em biometano, abordando os procedimentos de purificação e compressão, em seguida o elo da distribuição, mostrando as vias de destinação que o biometano pode possuir e, por fim, o elo do consumidor final, trazendo os usuários, empresas e organizações que podem usufruir deste novo combustível. A cadeia também possui influência e troca de informações dos ambientes organizacional e institucional que ditam as regras e as diversas instituições envolvidas no processo de produção do biometano.

5.1 ELOS DA CADEIA

5.1.1 Subsetor à montante: os insumos

O primeiro elo da cadeia produtiva define-se como subsetor de fornecedores de insumos, onde estão alocados os elementos primários necessários para a produção do biometano como, por exemplo, as tubulações, bombas de recalque, válvulas, agitadores, biodigestores, compressores e purificadores.

Algumas empresas nacionais trabalham oferecendo esses equipamentos para comercialização, assim como realizando os projetos que os envolvem, sendo algumas delas: Sebigas-Cótica, BGS Equipamentos para biogás, Vinibiodigestor, Ecam, 3Di Engenharia, ER-BR Energias Renováveis, Recolast ambiental, Avesuy e APR Indústria de Máquinas.

5.1.1.1 Tipos de Biodigestores

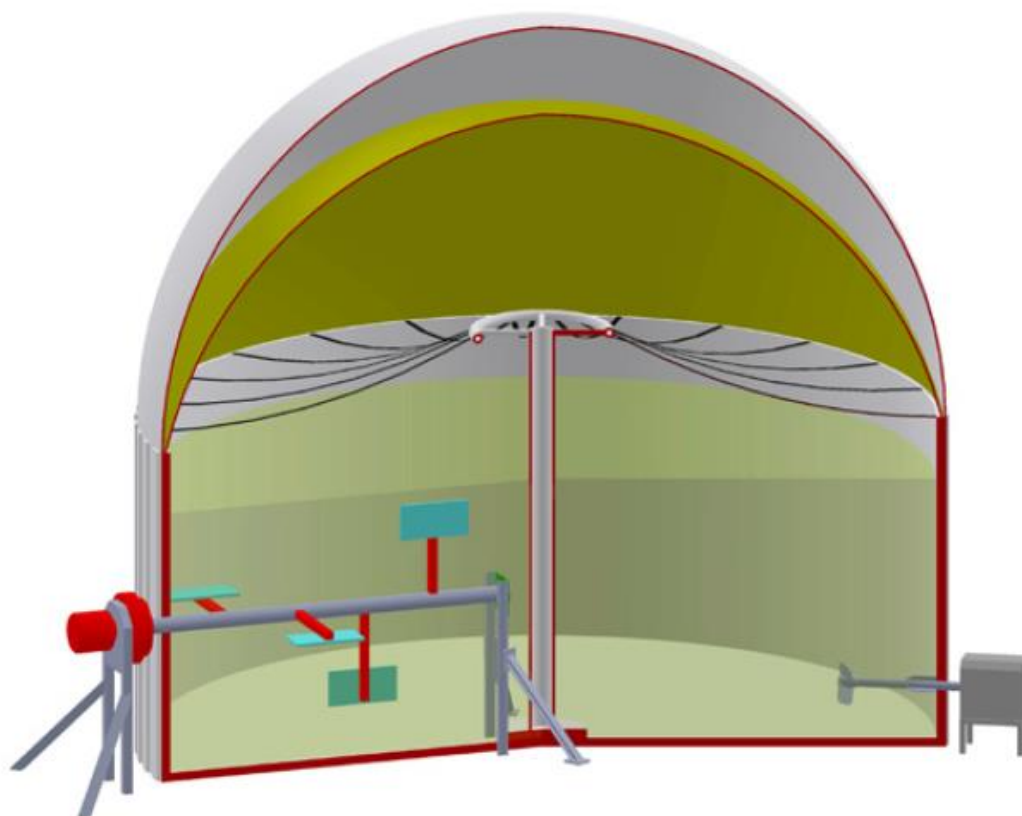
Os biodigestores mais comuns são o reator contínuo de mistura completa (CSTR), lagoa coberta e os de fluxo ascendente (UASB).

O reator contínuo de mistura completa (CSTR) é determinado por um reservatório cilíndrico vertical, construído com fundo de concreto e paredes de aço ou

concreto. O teto do biodigestor tem formato abobadado e pode ser de concreto ou de membrana simples ou dupla. Pode possuir diferentes tipos de agitadores internos que têm a função de proporcionar a interação entre os microrganismos anaeróbios e a matéria orgânica, de forma a manter constante as condições do meio (temperatura e disponibilidade de nutrientes), alcançando assim uma maior produção de biogás (MINAS GERAIS, 2015).

Os efluentes utilizados nos reatores CSTR são compostos por material orgânico mais denso, tendo característica líquida a pastosa, com um teor de sólidos totais de até 20%. A carga volumétrica que alimenta este tipo de biodigestor pode variar entre 1 e 4 kg de sólidos voláteis (SV) por m³ de reator por dia (MINAS GERAIS, 2015). O biodigestor do tipo CSTR pode ser visto na Figura 3.

FIGURA 3 - BIODIGESTOR DO TIPO CSTR.



FONTE: BRASIL (2015b)

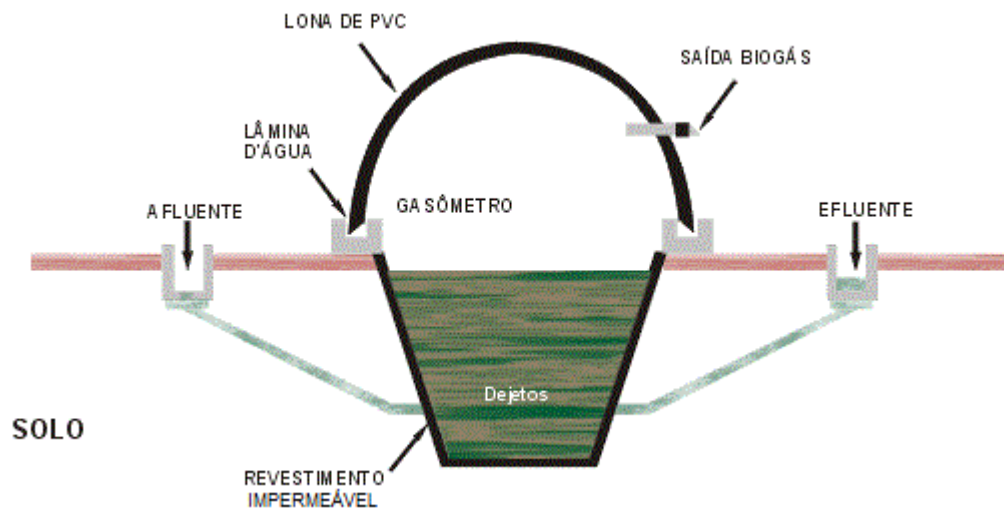
O biodigestor do tipo lagoa coberta, também conhecido como modelo canadense ou modelo da marinha brasileira, é constituído por uma caixa de entrada, para onde os dejetos oriundos de galpões são canalizados, por tanques escavados

no solo, em que lonas plásticas têm a função de impermeabilizar o terreno, recobrir e conter o biogás, formando uma campânula de armazenamento e, por fim, por uma caixa de saída em que o biofertilizante é direcionado para uma esterqueira (BLEY JÚNIOR et al., 2009; PEREIRA, 2009).

As lagoas cobertas são bastante empregadas no Brasil, por apresentarem melhores desempenhos em regiões mais quentes (BLEY JÚNIOR et al., 2009).

Vale ressaltar que as lagoas cobertas (Figura 4) possuem uma versão atualizada e melhorada para a produção de biogás, chamadas de lagoas otimizadas, que têm a vantagem de utilizar a agitação mecânica e maior controle da temperatura de operação, técnicas vindas dos reatores CSTR (MINAS GERAIS, 2015).

FIGURA 4 - BIODIGESTOR DO TIPO LAGOA COBERTA.



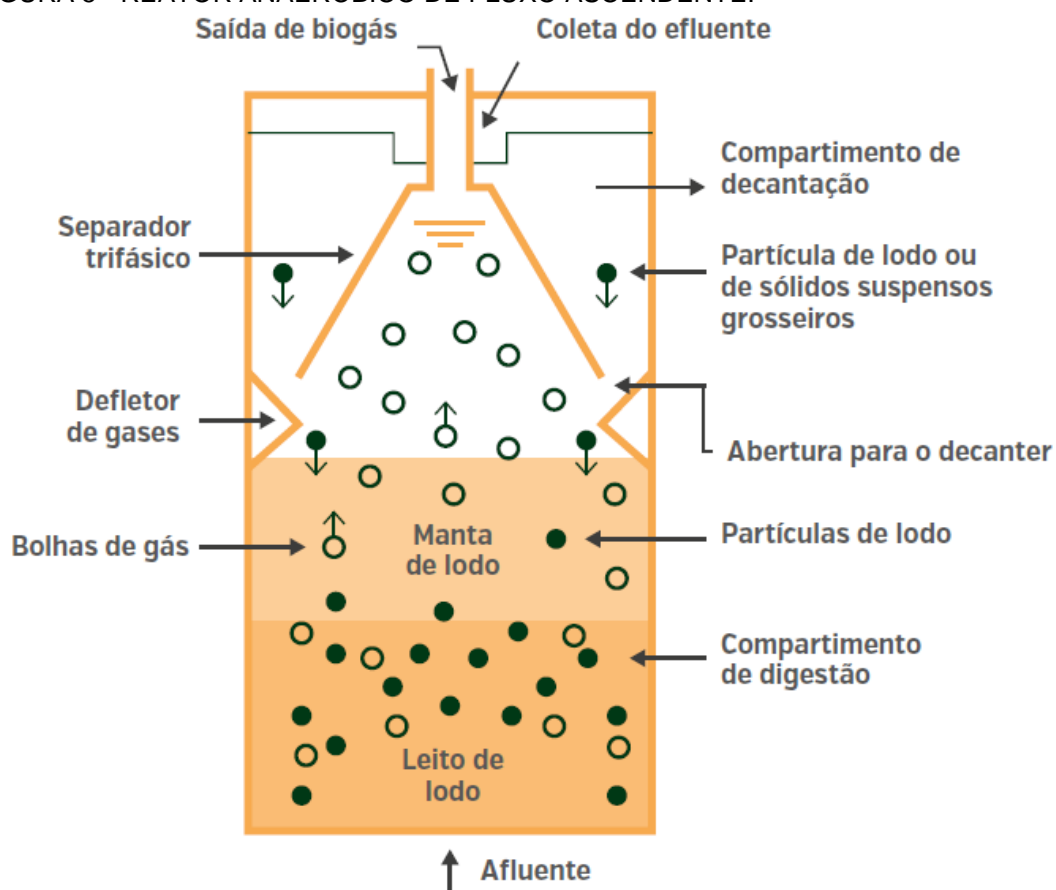
FONTE: Adaptado de IENGEP (2012)

Por fim, o biodigestor de fluxo ascendente, também chamado de reator anaeróbico de manta de lodo ou UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), é muito utilizado no Brasil no tratamento de esgoto sanitário. Sua estrutura pode ser construída em aço inoxidável, aço vitrificado ou em concreto armado com proteção contra corrosão e sua altura pode variar entre 4 e mais de 12 m. Os efluentes utilizados neste tipo de reator são compostos por material orgânico com um baixo teor de sólidos totais de até 6%, ou $<0,3$ g/L. Esses valores são necessários para manter a hidráulica do reator e o sistema de distribuição do efluente em sua base em boas condições, evitando entupimentos e problemas de bombeamento. Na parte superior do biodigestor existe o separador trifásico, responsável pela captação do biogás, retenção dos sólidos no interior do reator e saída de efluente tratado (BRASIL, 2015a).

Assim, seu funcionamento se dá pela alimentação dos substratos pela parte de baixo do reator, passando pela manta de lodo de baixo para cima em um fluxo ascensional, percorrendo as três zonas do reator: zona de digestão, zona de decantação (sedimentação) e zona de convergência, onde ocorre o desprendimento do biogás (BRASIL, 2015b).

Segundo Coelho et al. (2006), o reator anaeróbico de fluxo ascendente (Figura 5) é um tipo de biodigestor muito relevante que vem sendo cada vez mais aplicado. Possui alta taxa de digestão e boa eficiência na recuperação do gás metano. Estes biodigestores se fundamentam na separação das fases sólida, líquida e gasosa, fazendo com que a massa em digestão se armazene cada vez mais (BRASIL, 2015a).

FIGURA 5 - REATOR ANAERÓBICO DE FLUXO ASCENDENTE.



FONTE: BRASIL (2015b)

5.1.2 Subsetor de produção: agropecuário

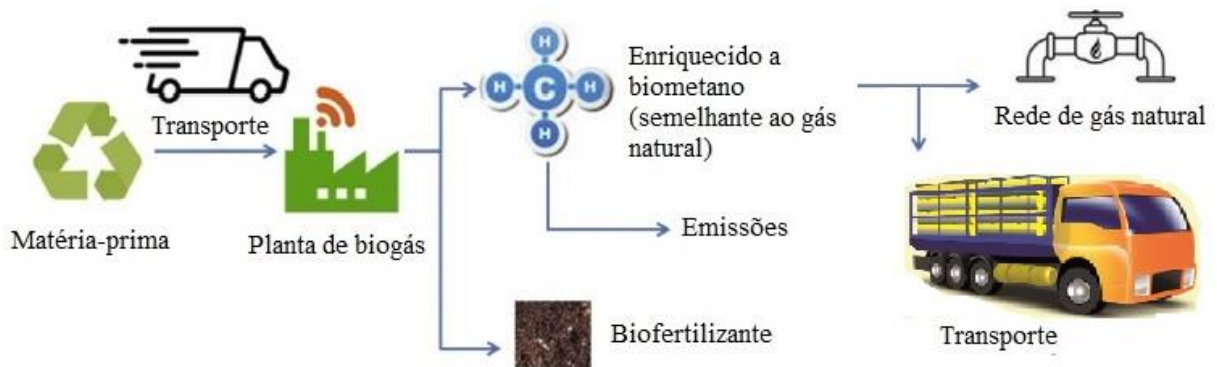
O segundo componente da cadeia produtiva é o subsetor de produção, que efetivamente desenvolve todo o processo de conversão dos substratos em biogás e biofertilizante.

A matéria orgânica utilizada na produção de biogás e biofertilizante pode ser oriunda de restos de culturas, sobras de poda de árvores e cortes de grama, dejetos animais, esgoto e resíduos agroindustriais e residenciais (CONG; CARO; THOMSEN, 2017). Portanto, o biogás é uma fonte de energia renovável, que possui alta razão H/C e reduz as emissões de CO₂, em comparação aos derivados do petróleo, sendo utilizado como combustível para geração de calor, vapor e eletricidade (CHAEMCHUEN; ZHOU; VERPOORT, 2016).

O segundo subproduto da produção de biogás, o biofertilizante, pode possuir quantidades de nitrogênio, fósforo e carbono que podem servir para utilização agrícola. Sendo que o carbono pode ser considerado como um revitalizador de solos, pois melhora as condições dos ciclos biogeoquímicos, que são responsáveis por fornecer os nutrientes necessários para as culturas (BLEY JÚNIOR et al., 2009).

O resumo de todo o processo de produção pode ser verificado na Figura 6.

FIGURA 6 - ESQUEMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO SIMPLIFICADO DO BIOMETANO.



FONTE: Adaptado de CONG; CARO e THOMSEN (2017)

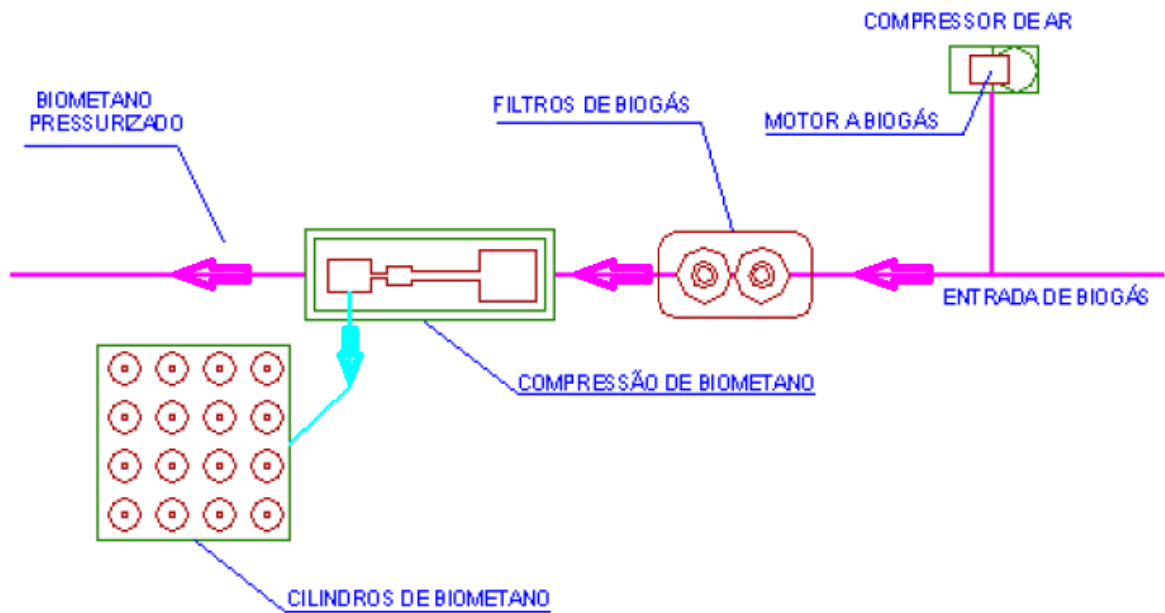
Deste modo, a produção do biometano começa com a matéria-prima que será utilizada para abastecer os biodigestores na planta de biogás. Vale ressaltar que é preferível que a usina possua suas instalações próximas ao substrato a ser utilizado, para que o transporte da matéria-prima tenha um custo reduzido. Logo que o substrato é alimentado no biodigestor, a digestão anaeróbica é iniciada para a produção de biogás e biofertilizante. Posteriormente, o biogás é encaminhado para o processo de purificação, onde é transformado em biometano. Em determinados tipos de plantas

de biogás, parte deste pode ser encaminhado para aproveitamento em outros processos, sem necessidade de purificação (Figura 1). Após a purificação o biometano pode seguir para a injeção na rede de gás, ou ser transportado por caminhões para os postos de abastecimento, chegando assim aos consumidores finais.

5.1.3 Subsetor de transformação

O terceiro elo da cadeia compõe-se pela transformação do biogás em biometano, através do processo de purificação, já comentados na parte da revisão bibliográfica, sendo que uma das empresas que comercializa a tecnologia de filtros de purificação para biogás é a ER-BR Energias Renováveis, conforme será discutido no capítulo referente ao ambiente organizacional. Outro processo presente na transformação do biogás em biometano é a compressão. Este procedimento é necessário, pois o biometano é intercambiável com o gás natural entregue à distribuição nas regiões nordeste, centro oeste, sudeste e sul e assim requer os mesmos cuidados na distribuição e revenda que o gás natural, segundo a resolução ANP Nº 8 de 30/01/2015 (BRASIL, 2015c). Deste modo, quando o biometano passa pelos compressores ele pode ser estocado em cilindros, ou ser conduzido por dutos para transmissão a grandes distâncias (SOUZA et al., 2012). A tecnologia de compressores para biometano está disponível no Brasil, e um exemplo de empresa que comercializa este tipo de equipamento é a Aerzen do Brasil, localizada em Jundiaí, São Paulo. Um exemplo do processo de compressão pode ser visualizado na Figura 7.

FIGURA 7 – ESQUEMA DE COMPRESSÃO DO BIOMETANO.



FONTE: SOUZA et al. (2012)

Vale adicionar neste tópico que a ER-BR Energias Renováveis em conjunto com a BLEY Energias - Estratégias e Soluções se associaram para desenvolver o microposto para biometano. Este produto é composto por um contêiner de dimensões 1500 mm x 1500 mm x 2300 mm em que se alojam todas as tecnologias necessárias para fazer a purificação do biogás transformando-o em biometano e também para o abastecimento direto de veículos ou cilindros que podem ser transportados até o ponto de abastecimento. Esta unidade de tratamento tem por objetivo atender principalmente os veículos automotores que operam no mesmo local em que o biogás é produzido, como as propriedades rurais e pequenas estações de tratamento de efluentes. Inicialmente foi desenvolvida para pequenas vazões de até 10 m³/h, porém os desenvolvedores ressaltam que unidades com maior capacidade também poderão ser fabricadas (ER-BR Energias Renováveis, 2018, não paginado). Outras características econômicas relativas ao microposto serão vistas no tópico “experiências e estudos do uso do biometano em veículos no Brasil”.

5.1.4 Subsetor de distribuição

Após a purificação, o biometano pode possuir duas vias de destinação, a injeção na rede nacional de gás natural ou o transporte rodoviário através de seu envase.

A injeção na rede de distribuição de gás natural já é um procedimento amadurecido em outros países, como Suécia e Alemanha, sendo assim comprovadamente confiável. As vantagens neste tipo de destinação incluem o transporte a longas distâncias a custos mais baixos, o uso direto por usuários em quaisquer localidades com a rede disponível, o abastecimento de termoelétricas, o fornecimento de gás em postos de serviço para o abastecimento de veículos a gás natural, etc (PARANÁ, 2016).

No Brasil, o sistema de distribuição por gasodutos ainda é limitada e contempla mais a área litorânea do país (Figura 8). Mesmo sem um sistema completo de gasodutos, o biometano pode ser transportado através de caminhões, da mesma forma que o gás natural comprimido (GNC) e o gás natural liquefeito (GNL), porém, para isso, segundo a resolução ANP Nº 685 de 29/06/2017 (BRASIL, 2017), o biometano deve ser odorado. Isso promove uma interessante alternativa para a geração descentralizada do biometano, fazendo com que este recurso esteja disponível em lugares sem infraestrutura de recebimento por gasoduto (PARANÁ, 2016), contudo, para que essa alternativa tenha viabilidade, o raio de atuação deve ser de até 150 km de distância da unidade de compressão de biometano (TUDO..., 2018, não paginado).

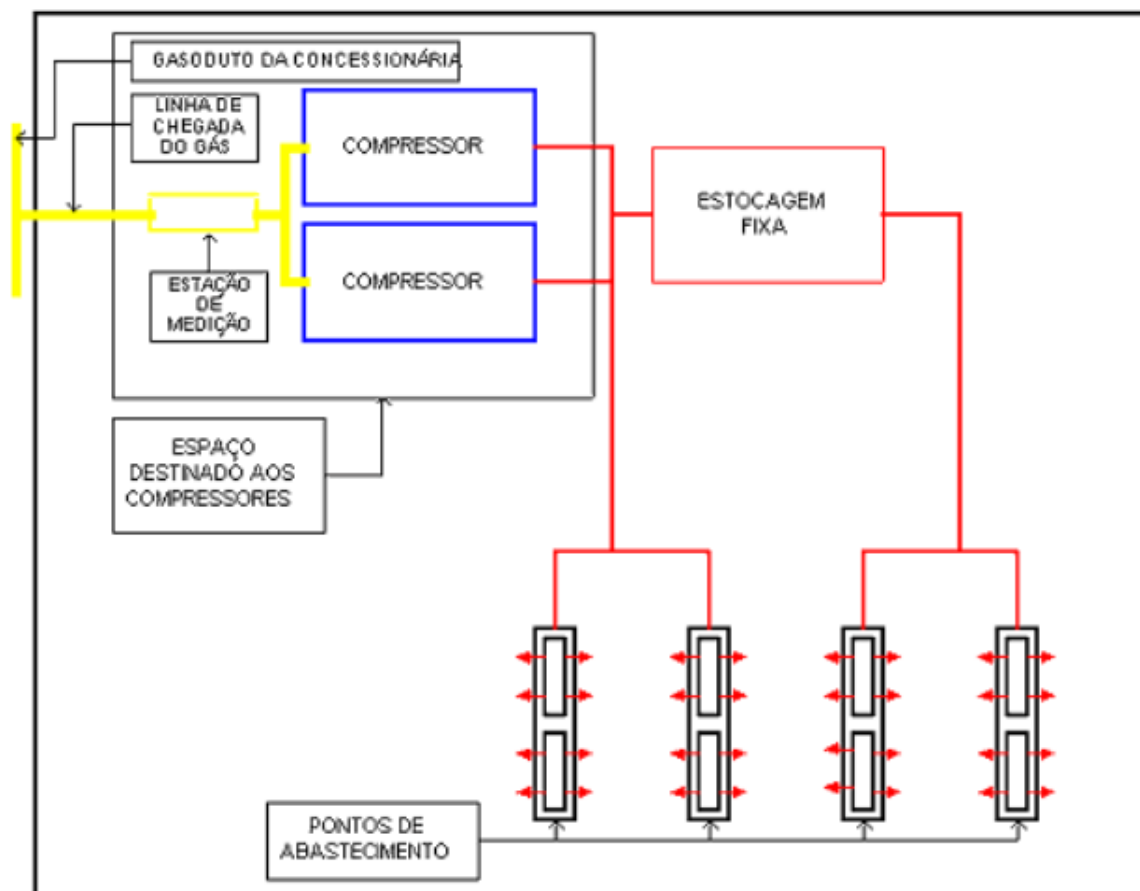
FIGURA 8 - REDE DE GASODUTOS NO BRASIL



FONTE: BRASIL (2011a)

A resolução ANP N° 8 de 30/01/2015 (BRASIL, 2015c), que trata as especificações do biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris, altera o inciso X do artigo 4º da resolução ANP N° 41 de 05/11/2013 (BRASIL, 2013), que discute os requisitos das atividades de revenda varejista de combustíveis automotivos, passando a ter a seguinte redação: “Gás Natural Veicular (GNV): denominação do combustível gasoso, tipicamente proveniente do GN ou Biometano, ou da mistura de ambos, destinado ao uso veicular e cujo componente principal é o metano, observadas as especificações estabelecidas pela ANP”. Ou seja, para que um posto de combustível de biometano atenda ao consumidor final, ele deve ser construído baseado nas mesmas regras de um posto de GNV. Um esquema de posto de GNV pode ser visto na Figura 9.

FIGURA 9 – ESQUEMA DE POSTO DE GNV.



FONTE: ABASTECENDO com gnv (2018, não paginado)

5.1.5 Consumidor final

O último elo da cadeia produtiva é o consumidor final. A aplicação do biometano veicular pode atingir diversos tipos de consumidores, dentre eles: os agropecuaristas produtores do próprio combustível, equipes de cooperativas e condomínios agroenergéticos, empresas, pessoas físicas, desde que todos possuam veículos preparados ao uso do biometano.

O biometano, biogás purificado, é muito parecido em termos de poder calorífico com o gás natural (YANG et al., 2008), e funciona como combustível para veículos da mesma forma que este (BRASIL, 2016).

Existem algumas opções para sua utilização, sendo que pode ser aplicado em motores a combustão, tanto do ciclo Otto, com ignição por centelha (gasolina, etanol), como do ciclo Diesel, de ignição por compressão (MARCHAIM, 1992).

No Brasil os veículos que utilizam motores de ciclo Otto são geralmente inseridos na categoria de leves, que enquadra automóveis, táxis e caminhonetes. Já

os veículos equipados com motores de ciclo Diesel são normalmente classificados como médios e pesados, a exemplo, ônibus, caminhões e tratores. Outros países, porém também empregam usualmente motores diesel em veículos leves e de passageiros (TEIXEIRA, 2003).

5.1.5.1 Adaptações/Modificações em Veículos

Para os motores de ignição por centelha, a modificação a ser realizada é considerada simples, levando em conta que este tipo de motor já foi projetado para trabalhar com uma mistura de ar/combustível (MIHIC, 2004). Outra opção de motor ciclo Otto, seria o motor ciclo Otto dedicado, em que este já sairia pronto da fábrica para utilização de biometano, sem adaptações. Este tipo de motor específico para uso exclusivo de gás geralmente é aplicado em veículos pesados, como caminhões e ônibus, substituindo totalmente o motor a diesel (BRASIL, 2016).

Para os motores ciclo Otto, a modificação básica seria adicionar um misturador de ar com gás, ao invés do dispositivo convencional de mistura ar/combustível. Sendo que o controle do motor é feito através da variação do fornecimento da mistura (MIHIC, 2004).

Outros componentes necessários para conversão do motor ciclo Otto para trabalhar com gás natural veicular (GNV), segundo Ehsan (2006) são (Figura 10):

- Cilindro de armazenamento de GNV, com pressão de trabalho de 200 bar. Podem ser construídos em aço sem costura, ou composto de fibra de carbono reforçado, sendo mais comuns nos tamanhos de 50, 60 e 90 litros. Como o tanque de GNV tem este tipo de formato devido a sua pressão, o espaço interno do veículo tem um aproveitamento mais ineficaz comparado aos tanques convencionais de combustíveis líquidos.

- Chave seletora de tipo de combustível. Fica acondicionada no painel do veículo, permitindo que o motorista possa escolher entre o GNV ou o outro combustível líquido. Este dispositivo possui uma eletrônica incorporada que garante o desligamento do solenoide de gás quando o motor é desligado, e também mostra a quantidade de GNV ainda disponível no cilindro, semelhante ao medidor de combustível líquido.

- Tubulação de alta pressão. É responsável por interligar a válvula de reabastecimento ao cilindro de armazenamento de GNV e também ao regulador de pressão.

- Válvula de reabastecimento. Como seu nome indica, é usada para reabastecer o cilindro com GNV.

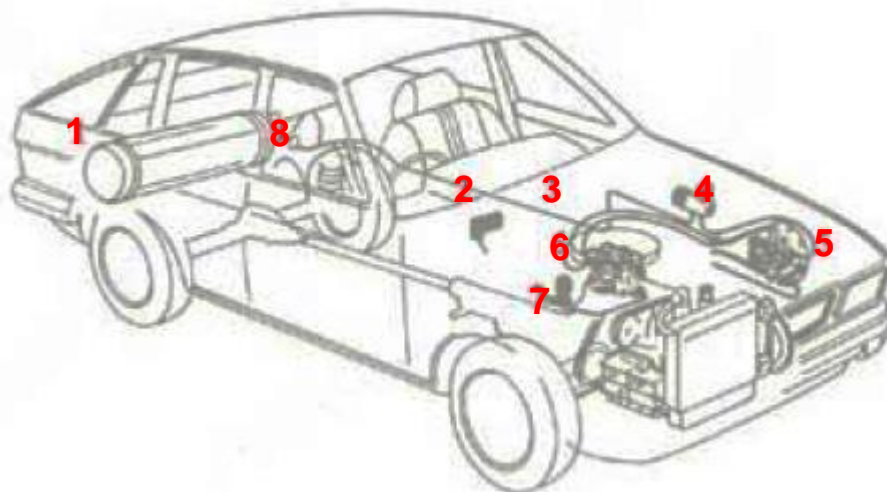
- Regulador de pressão. Junto com sua válvula solenoide, tem o objetivo de interromper o suprimento de gás ao motor quando necessário, além de reduzir a pressão do GNV presente no cilindro para pouco abaixo da pressão atmosférica, de forma a atender os componentes do sistema que trabalham em baixas pressões.

- Misturador de gás e ar. É um dispositivo único especialmente projetado para cada modelo de motor. Cumpre o papel de medir precisamente o gás alimentado no motor.

- Válvula solenoide a gasolina. É utilizada para interromper o fornecimento de combustível líquido quando o motor está operando com GNV.

- Bolsa de vapor. Instalada perto do cilindro, é aplicada para envolver a válvula do cilindro e as tubulações ligadas a ele.

FIGURA 10 – COMPONENTES DE CONVERSÃO PARA USO DE GNV.



1- Cilindro de armazenamento de GNV; 2- Chave seletora de combustível; 3- Tubulação de alta pressão; 4- Válvula de reabastecimento; 5- Regulador de pressão; 6- Misturador de gás e ar; 7- Válvula solenoide a gasolina; 8- Bolsa de vapor.

FONTE: EHSAN, 2006

Caso o motor seja equipado com injeção eletrônica e unidade de controle eletrônico (ECU), alguns componentes, fora os já comentados, podem também fazer parte do sistema de conversão, estes, também segundo Ehsan (2006), são:

- Processador de tempo de avanço de faísca. A menor velocidade de propagação da chama na mistura de ar e metano torna necessário aumentar o avanço da ignição no motor a gasolina, quando este está sendo operado com GNV. Este dispositivo permite algumas opções de avanços de ignição, como por exemplo, 6, 9, 12, 15° adicionais antes do ponto morto superior, geralmente durante condições de aceleração. Assim, o processador altera o sinal de avanço de ignição em acordo com o sistema de ignição eletrônica. Com este equipamento ocorre a melhora do pico de potência e do desempenho de aceleração do veículo funcionando com GNV, mantendo também seu desempenho operando com gasolina.

- Emulador/Simulador. Os injetores do sistema de injeção eletrônica de combustível, para alguns tipos de motores, são mantidos inoperantes caso o motor opere com GNV. Porém, em outros motores, os sinais da operação dos injetores de combustível continuam a ser enviados para a unidade de controle eletrônico (ECU), assim quando o motor está sendo operado com GNV, o emulador simula sinais de operação falsos para a ECU, mantendo assim a operação normal, como quando operado com outro combustível. Portanto, este componente somente é necessário em alguns tipos de motores.

- Sensores de oxigênio e de velocidade. Estes são frequentemente aplicados em sistemas de conversão de GNV do tipo de controle de fluxo de gás em circuito fechado.

- Válvula misturadora ativa. Têm por objetivo controlar o fluxo de gás dentro da câmara de mistura de acordo com as solicitações detectadas do motor.

- Injetores de gás. São usados para sistemas de conversão, onde, assim como o sistema de injeção de combustível multiponto, os injetores de gás individuais controlam o fluxo de gás em cada cilindro do motor controlado por uma unidade de processamento.

Estes são alguns exemplos de componentes de conversão, sendo que podem existir outros, e a maioria pode ser encontrada nas oficinas responsáveis pelas modificações.

Para o caso dos motores diesel existem dois tipos de modificações, sendo que na primeira o motor é operado com os dois combustíveis com uma ignição por injeção piloto de combustível, e a segunda o motor é operado somente com biometano utilizando velas de ignição (MIHIC, 2004).

Para os motores ciclo Diesel adaptados para operar com os dois combustíveis, o sistema normal de injeção de diesel ainda contribui com certa quantidade de diesel. Porém, o motor, que antes operaria aspirando somente ar puro, passa a aspirar uma mistura de ar e biometano preparada em um dispositivo externo de mistura (MIHIC, 2004). A mistura é então inflamada por compressão juntamente com o diesel pulverizado na câmara de combustão. A quantidade de diesel necessária para fazer uma combustão suficiente, misturado com o biometano, é de 10 a 20% da quantidade normal de uma combustão operando somente com diesel em um motor que não sofreu modificação (MIHIC, 2004). A operação do motor em carga parcial solicita uma redução na alimentação do biometano por meio de uma válvula de controle de gás. Isso, somado a uma redução simultânea do fluxo de ar, reduziria a potência e a eficiência, já que ocorreria uma redução da pressão de compressão e da pressão efetiva principal. Portanto, a relação ar/combustível é modificada por diferentes quantidades de biometano injetado. Os outros parâmetros e elementos do motor diesel permanecem inalterados (MIHIC, 2004).

As vantagens deste tipo de modificação, segundo o mesmo autor, são: a performance do motor é praticamente a mesma do motor utilizando somente diesel, caso o poder calorífico do biometano não seja muito baixo; se o biometano não estiver disponível por algum motivo, o funcionamento apenas com diesel ainda é possível; as adaptações mais simples, quando comparadas ao sistema de conversão completa para gás. Já as limitações concentram-se em: este tipo de motor não pode trabalhar somente com biometano, pois a combustão só ocorrerá com o fornecimento de uma quantidade mínima de diesel; e o sistema de injeção pode superaquecer se a alimentação de diesel chegar entre 10 a 15% do seu fluxo normal de alimentação (MIHIC, 2004).

Já para os motores diesel modificados para trabalhar somente com gás, processo também conhecido como ottolização (conversão de ciclo Diesel para ciclo Otto) (BRITTO JÚNIOR; MARTINS, 2014), as alterações envolvem grandes modificações no motor, o qual necessitará da disponibilidade de certas peças. As principais modificações são: retirada dos bicos injetores juntamente com a bomba injetora; diminuição da taxa de compressão para valores entre 10 e 12; construção de um sistema de ignição com distribuidor, bobina de ignição, velas de ignição e alimentação elétrica através de alternador; instalação de um equipamento de mistura para o suprimento de uma mistura ar/combustível constante (MIHIC, 2004; SUZUKI et al., 2011).

5.2 AMBIENTES ORGANIZACIONAL E INSTITUCIONAL

5.2.1 Ambiente organizacional

O ambiente organizacional é composto por um conjunto de instituições de apoio como: organizações de crédito, organizações de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), grupos de inovação tecnológica, organizações governamentais, empresas de assistência técnica (CASTRO, 2001), assim como associações, sindicatos, cooperativas, centros de estudos, observatórios e condomínios, que têm objetivo de discutir necessidades do setor e seu futuro e articular questões relacionadas a negociações, reivindicações, pesquisas, fiscalizações e desenvolvimento de políticas que contribuam e deem suporte para as atividades da cadeia produtiva (STRASSBURG; OLIVEIRA; ROCHA JÚNIOR, 2005).

As organizações mais importantes que participam desse ambiente para a atividade produtiva do biogás e biometano são:

- ABiogás (Associação Brasileira de Biogás e de Biometano), pessoa jurídica de direito privado, de âmbito nacional, sem fins lucrativos, estabelecida em Vila Olímpia, São Paulo, nascida em 2013 pela união de pessoas e empresas que visam a disseminação do uso destes biocombustíveis na matriz energética brasileira (ABILOGÁS, 2018, não paginado).

- PTI (Parque Tecnológico Itaipu), criado pela Itaipu Binacional, é responsável por impulsionar o desenvolvimento turístico, tecnológico e sustentável, através da união de empresas, centros de pesquisas, laboratórios e instituições de ensino. Sua atuação é nacional, porém possui maior destaque na região oeste paranaense (PTI, 2018, não paginado).

- CIBiogás-ER (Centro Internacional de Energias Renováveis-Biogás), instituição científica, tecnológica e de inovação, em forma de pessoa jurídica de direito privado, sem fins lucrativos localizada no Parque Tecnológico Itaipu em Foz do Iguaçu, no Paraná. É especializada em consultoria, compartilhamento de conhecimento, análises laboratoriais, além de promover cursos, projetos e políticas públicas relacionados ao biogás e biometano (CIBIOGÁS, 2018, não paginado).

- Ecometano, empresa criada em 2010, com sedes em Salvador (BA) e no Rio de Janeiro, tem por objetivo captar e tratar o biogás gerado a partir de resíduos sólidos urbanos (aterros) e resíduos orgânicos (agrossilvopastoris), para produção e

distribuição do biometano, tendo a proposta de ser uma empresa inovadora na cadeia do biogás purificado. Possui projetos concluídos e em andamento nos estados do Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Ceará e Espírito Santo (ECOMETANO, 2018, não paginado).

- Programa RenovaBio do Governo Federal, lançado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), em dezembro de 2016, possui as diretrizes de criação de mecanismos de desenvolvimento dos diversos biocombustíveis presentes na matriz energética brasileira, incluindo a aceleração do aproveitamento racional do biogás e do biometano. Os instrumentos que o programa utiliza são: a criação de metas nacionais de redução de emissões que são desdobradas em metas individuais anuais para os distribuidores de combustíveis e a certificação de produção de biocombustíveis. A união destes instrumentos é a criação do CBIO (Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis) que é um ativo financeiro, negociado em bolsa e emitido pelo produtor do recurso a partir da comercialização (nota fiscal) (RENOVABIO, 2018, não paginado).

- Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), composto por sete programas, tem a finalidade de organizar e planejar ações a serem realizadas para a adoção de tecnologias de produção sustentável, com objetivo de responder aos compromissos de redução de emissão de GEE (Gases do Efeito Estufa) no setor agropecuário. Sendo que o Programa 6: Tratamento de Dejetos de Animais, dentre os demais programas, é o que trata do biogás e do biometano propondo disponibilizar aos agricultores, cooperativas e associações que trabalham nas cadeias da suinocultura, bovinocultura e avicultura, os investimentos e infraestruturas adequadas e necessárias para a adoção de tecnologias de tratamento de dejetos e efluentes de animais, possibilitando assim o aumento de suas rendas produzindo o composto orgânico (biofertilizante) ou gerando energia térmica, elétrica ou automotiva por meio do uso do biogás (PLANO ABC, 2016, não paginado).

- ER-BR Energias Renováveis, empresa limitada (LTDA), fundada em 2008, com instalações em Londrina, Paraná, possui atividades principais voltadas para a fabricação de equipamentos para a geração de energia elétrica a partir do biogás. Porém, também formalizou um Termo de Cooperação e Trabalho com o PTI, instalando um tanque em PRFV (Plástico Reforçado em Fibra de Vidro), com patente concedida, no CIBiogás-ER, inovando no biodigestor destinado à produção de biogás para uso veicular. Adicionalmente, participou de uma parceria no Rio Grande do Sul,

entre as empresas Ecocitrus e Naturovos, para desenvolver a produção de biometano (ER-BR Energias Renováveis, 2018, não paginado). Também estabeleceu a parceria com a BLEY Energias na criação do microposto conforme já exposto anteriormente.

▪COMPAGAS (COMPANHIA PARANAENSE DE GÁS), sociedade de economia mista, com sede em Curitiba, Paraná, tem a função principal de distribuir o gás natural no Paraná, suprindo clientes residenciais, comerciais, industriais e veiculares. Possui Termo de Cooperação com o CIBiogás-ER e Castrolanda Cooperativa Agroindustrial visando o aprimoramento dos processos da cadeia produtiva do biogás e do biometano (COMPAGAS, 2018, não paginado). E participa da Lei N° 19.500 que será comentada na sequência.

▪Chácara Marujo, localizada na Colônia Castrolanda, em Castro, no Paraná, sua atividade principal consiste na produção de azevém para comercialização, possui também um plantel de suínos e utiliza biodigestores para tratamento do efluente da granja e produção de biogás. Seus testes com o biometano estão tratados no tópico de experiências e estudos do uso do biometano em veículos no Brasil (CHACARA MARUJO, 2018, não paginado)

▪Granja Haacke, também estabelecida no Paraná, possui criação de aproximadamente 650 bovinos e 86.000 galinhas e produzem biogás para geração de energia elétrica através de seus biodigestores (CIBIOGÁS, 2018, não paginado). Sua participação com o biometano será comentado no tópico de experiências e estudos do uso do biometano em veículos no Brasil.

▪Ecocitrus, cooperativa de agricultores do estado do Rio Grande do Sul, dispõe de uma usina de biogás e de compostagem. Tem o objetivo de promover a produção orgânica de alimentos de forma sustentável, e para isso possui várias ferramentas, como o Consórcio Verde, os cursos de capacitação para os agricultores, a gestão de resíduos gerados nos diversos processos produtivos de alimentos, etc... (ECOCITRUS, 2018, não paginado).

▪Inovagro, financiamento do BNDES para fomento de inovações tecnológicas nas propriedades rurais, visando a elevação da produtividade e melhoria do gerenciamento. Pode ser solicitado por produtores rurais, de todo o Brasil, do tipo pessoa física ou jurídica e por cooperativas de produtores. O financiamento engloba diversos itens, incluindo a inserção de sistemas de geração de energia para próprio consumo como a energia eólica, solar e de biomassa (INOVAGRO, 2018, não paginado).

▪ Finame, financiamento, também do BNDES, para aquisição de equipamentos, por intermédio de instituições financeiras credenciadas, das quais, os bancos mais conhecidos como Banco do Brasil, Bradesco, Caixa, Santander, entre outros, participam (FINAME, 2018, não paginado).

Existem diversos agentes que participam do ambiente organizacional além dos que já foram vistos, e mais alguns deles como empresas, prefeituras, e governos de estados, serão abordados no decorrer do trabalho.

5.2.2 Ambiente institucional

O ambiente institucional, assim como o ambiente organizacional, exerce influência direta ou indireta nos diversos elos da cadeia produtiva e conseqüentemente em seu desempenho como um todo, e é constituído por leis, normas, instituições normativas (CASTRO, 2001), assim como regras formais ou informais que, em conjunto com políticas macroeconômicas, estabelecem a organização e o crescimento econômico da cadeia produtiva (ZANELLA, 2012).

Assim, alguns exemplos de regras que interagem com a cadeia produtiva do biometano em âmbito nacional são: a Lei 12.305 de 02/08/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), a Lei 12.512 de 14/10/11 que institui o Programa de Apoio à Conservação Ambiental em conjunto com o Programa de Fomento às Atividades Produtivas Rurais (BRASIL, 2011b), e a resolução ANP Nº 685 de 29/06/2017 que estabelece parâmetros de qualidade, requisitos mínimos e especificações (Tabelas 2 e 3) para que o biometano possa ser comercializado no Brasil como combustível veicular ou em instalações residenciais, comerciais ou industriais (BRASIL, 2017).

TABELA 2 - ESPECIFICAÇÃO DO BIOMETANO ORIUNDO DE ATERROS E ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO.

| Característica | Unidade | Limite | | |
|---------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| | | Norte | Nordeste | Centro-oeste, Sudeste e Sul |
| Poder Calorífico Superior | kJ m^{-3} | 34.000 a 38.400 | 35.000 a 43.000 | |
| | kWh m^{-3} | 9,47 a 10,67 | 9,72 a 11,94 | |
| Índice de Wobbe | kJ m^{-3} | 40.500 a 45.000 | 46.500 a 53.500 | |
| Metano, mín. | % mol | 90,0 | 90,0 | |

| | | | | |
|--|----------------------|-----|-----|-----|
| Oxigênio, máx. | % mol | 0,8 | 0,8 | |
| CO ₂ , máx. | % mol | 3,0 | 3,0 | |
| CO ₂ + O ₂ + N ₂ , máx. | % mol | 10 | | |
| Enxofre total, máx. | mg m ⁻³ | 70 | | |
| Gás sulfídrico (H ₂ S), máx. | mg m ⁻³ | 10 | | |
| Ponto de orvalho de água a 1 atm, máx. | °C | -39 | -39 | -45 |
| Ponto de orvalho de hidrocarbonetos | °C | 15 | 15 | 0 |
| Teor de siloxanos, máx. | mgSi m ⁻³ | 0,3 | | |
| Clorados, máx. | mgCl m ⁻³ | 5,0 | | |
| Fluorados, máx. | mgF m ⁻³ | 5,0 | | |

FONTE: Adaptado de Resolução da ANP N° 685 de 29/06/2017 (BRASIL, 2017)

TABELA 3 - ESPECIFICAÇÃO DO BIOMETANO ORIUNDO DE PRODUTOS E RESÍDUOS AGROSSILVÓPASTORIS E COMERCIAIS.

| Característica | Unidade | Limite | | |
|--|---------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|
| | | Norte | Nordeste | Centro-oeste, Sudeste e Sul |
| Poder Calorífico Superior | kJ m ⁻³ | 34.000 a 38.400 | 35.000 a 43.000 | |
| | kWh m ⁻³ | 9,47 a 10,67 | 9,72 a 11,94 | |
| Índice de Wobbe | kJ m ⁻³ | 40.500 a 45.000 | 46.500 a 53.500 | |
| Metano, mín. | % mol | 90,0 | 90,0 | |
| Oxigênio, máx. | % mol | 0,8 | 0,8 | |
| CO ₂ , máx. | % mol | 3,0 | 3,0 | |
| CO ₂ + O ₂ + N ₂ , máx. | % mol | 10 | | |
| Enxofre total, máx. | mg m ⁻³ | 70 | | |
| Gás sulfídrico (H ₂ S), máx. | mg m ⁻³ | 10 | | |
| Ponto de orvalho de água a 1 atm, máx. | °C | -39 | -39 | -45 |
| Ponto de orvalho de hidrocarbonetos | °C | 15 | 15 | 0 |

FONTE: Adaptado de Resolução da ANP N° 685 de 29/06/2017 (BRASIL, 2017)

No âmbito estadual, as Leis e Decretos mais relevantes que tangem o ambiente institucional do biometano são expostas a seguir:

No Rio Grande do Sul a Lei N° 14.864 de 11/05/2016 e o decreto N° 53.172 de 15/08/2016 que auxilia esta mesma lei, trazem a política estadual do biometano juntamente com o programa de incentivo à geração e utilização do biometano (RS-GÁS) e o seu respectivo comitê gestor. Os objetivos principais da política estadual presente na lei são: proporcionar o desenvolvimento, expandir a criação de empregos, diminuir a geração dos gases de efeito estufa e diversificar a matriz energética estadual. A lei faz menção a Resolução da ANP, anteriormente mencionada, no que

se refere à especificação do biometano e seu controle de qualidade para a comercialização. Os instrumentos mais relevantes da política estadual são: o contrato de compra e comercialização do biometano, os incentivos fiscais, a supervisão e o controle ambiental e sanitário, sendo que, para cumprir o intuito da lei, o Estado pode elaborar linhas de crédito especial, até mesmo com subsídios, para produzir o biometano, além de promover parcerias entre instituições públicas e empresas privadas e disponibilizar procedimentos tributários diferenciados (RIO GRANDE DO SUL, 2016a, 2016b).

No Paraná, a Lei N° 19.500 de 21/05/2018 e as leis complementares N° 205 de 07/12/2017 e 211 de 07/05/2018 exploram a política estadual do biometano e tratam sobre os serviços de distribuição de gás canalizado. A política estadual do biometano do Paraná, exemplificada nestas leis, é muito semelhante com a política gaúcha em termos de fomento, incentivos e definições, salvo que a política paranaense tem bastante enfoque na questão de licenciamento ambiental para o desenvolvimento da atividade. Cita também que o Corpo de Bombeiros, em conjunto com a Polícia Militar, pode criar regras de segurança levando em conta o potencial de risco, além de mencionar metas de descarbonização impostas à distribuidora através da aquisição pela mesma de certificados de descarbonização (CBIOS), já comentados no ambiente organizacional (PARANÁ, 2017, 2018a, 2018b). Outra lei do mesmo estado, pertinente a ser apontada, é a Lei N° 14.260 de 2003, conhecida como Lei Orgânica do IPVA, que em 2004 foi alterada, adicionando que o carro movido a GNV passa a ter uma alíquota de IPVA de 1% do valor do veículo (PARANÁ, 2003). Como a resolução ANP N° 8 de 30/01/2015 (BRASIL, 2015c) diz que o Gás Natural Veicular (GNV) é um combustível gasoso, tipicamente proveniente do GN ou Biometano, ou da mistura de ambos, o consumidor que utilizar o biometano poderá ter uma alíquota diferenciada de IPVA conforme foi visto.

Em São Paulo, a legislação que abrange o biometano se dá pelo Decreto 58.659 de 04/12/2012 que institui a política estadual do biogás e o seu respectivo comitê gestor. Seus objetivos, artigos e definições, incluindo a autorização do fomento da produção e consumo do biometano pela adição de um percentual mínimo de biometano ao gás canalizado distribuído, também são semelhantes às legislações já apresentadas (SÃO PAULO, 2012). O estado de São Paulo também possui a Deliberação ARSESP N° 744 de 26/07/2017 que dispõe sobre as condições da distribuição de biometano na rede de gás canalizado do estado (SÃO PAULO, 2017).

A grande diferença deste estado, em relação aos já mencionados, é que ele possui o Decreto 60.298 de 27/03/2014 que traz, efetivamente, o beneficiamento tributário para as atividades de produção de biogás e biometano através: do cancelamento do imposto na importação de bens, que não existam similares nacionais, designados ao ativo imobilizado; do crédito total do imposto que incide na compra interna de bens destinados ao ativo imobilizado; da mudança do momento da imposição dos impostos, quando a companhia que adquirir o bem se encontrar em fase inicial de operação ou quando não possuir despesas com imposto em valor suficiente para captar o crédito total (SÃO PAULO, 2014).

No Rio de Janeiro, a política estadual do biometano, conhecido na região como gás natural renovável, é tratado pela lei 6.361 de 18/12/2012 (RIO DE JANEIRO, 2012), e seu conteúdo não difere dos já acima mencionados.

Por fim, nas esferas municipais do estado do Paraná, as legislações mais pertinentes estão descritas abaixo:

Lei N° 2.171 de 25/06/2014 da prefeitura da cidade de Toledo, no Paraná, que traz o Programa de Incentivo à Geração e à Utilização do Biogás e de Biometano (PIGUBB) com objetivos, definições e artigos análogos às leis estaduais já expostas. Porém, os anexos contidos na lei toledana tratam mais especificamente sobre o conteúdo dos projetos de implantação de sistemas de purificação de biogás para produção e compressão de biometano pelas UTABs (Unidades de Tratamento do Biogás e de Abastecimento de Biometano) (TOLEDO, 2014).

Lei N° 1.719 de 25/04/2012 da cidade de Entre Rios do Oeste, no Paraná, que criou a entidade autárquica municipal, de direito público, denominada de Serviço Autônomo de Água, Saneamento e Energia (SASE), que tem a responsabilidade de exercer as atividades relacionadas com os sistemas públicos de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e de biogás, biometano e energia a partir do biogás proveniente da biodigestão dos dejetos animais (suínos, aves e bovinos), do esgoto doméstico e dos resíduos urbanos gerados no município (ENTRE RIOS DO OESTE, 2012).

6 ASPECTOS AMBIENTAIS

O Brasil atualmente engloba uma indústria robusta de produção de proteína animal, ovos e laticínios, devido ao investimento em tecnologia, organização e desenvolvimento de produtos. Porém, esta produção também gera impactos ambientais, a exemplo, o rebanho de suínos estabelecido na bacia da usina de Itaipu, no Paraná, gera por ano 12,8 milhões de toneladas de dejetos (BLEY JÚNIOR et al., 2009). Segundo os autores, este material poluente, se não destinado corretamente, pode acabar disposto no ambiente e levado pela chuva para cursos de água e reservatórios. Os dejetos dissolvidos em água, depositados em cursos de água, lagoas naturais ou de decantação, quando se encontram nestas condições, começam a emitir metano, pois se encontram em condições anaeróbicas. Além disso, esta biomassa residual contamina estas águas, diminuindo a sua qualidade pela degradação anaeróbica, visto que existe um acúmulo de nutrientes orgânicos como nitrogênio e fósforo, levando a eutrofização.

Assim, como foi exposto na fundamentação teórico-metodológica, o processo de biodigestão que origina o biogás pode diminuir o potencial poluente deste e de outros tipos de biomassa residuais, reduzindo também a contaminação infectocontagiosa e a proliferação de moscas. Isto pode ser corroborado pela Tabela 4 do estudo da biodigestão de efluentes líquidos de granjas suínas de Soares et al. (2010).

TABELA 4 - CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE PARÂMETROS DE AFLUENTES DE GRANJAS SUÍNAS E RESPECTIVOS EFLUENTES LÍQUIDOS TRATADOS EM BIODIGESTOR.

| Parâmetros | Afluente | Efluente da Saída do Biodigestor | Eficiência |
|-------------------|--|--|------------|
| pH | 8,11 | 7,45 | - |
| DBO | 11.439 mg O ₂ L ⁻¹ | 4.307 mg O ₂ L ⁻¹ | 42% |
| DQO | 23.874 mg O ₂ L ⁻¹ | 12.615 mg O ₂ L ⁻¹ | 38% |
| Coliformes Totais | 1,8x10 ⁹ NMP 100 ⁻¹ ml ⁻¹ | 4,1x10 ⁶ NMP 100 ⁻¹ ml ⁻¹ | 99,39% |
| Escherichia coli | 5,1x10 ⁸ NMP 100 ⁻¹ ml ⁻¹ | 1,9x10 ⁶ NMP 100 ⁻¹ ml ⁻¹ | 99,31% |

FONTE: Adaptado de SOARES et al. (2010)

Ou seja, é possível notar que a DBO média dos afluentes era 11.439 mg O₂ L⁻¹ e após passar pelo biodigestor passou a ser 4.307 mg O₂ L⁻¹, o que representou

uma eficiência média de 42%. A DQO média da matéria orgânica antes de entrar no biodigestor era $23.874 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, sendo que após passar o reator passou a ser $12.615 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, o que apresentou uma eficiência média de 38% (SOARES et al., 2010). Os números mais prováveis (NMP) de coliformes totais e bactérias *Escherichia coli* eram respectivamente $1,8 \times 10^9 \text{ NMP } 100^{-1} \text{ ml}^{-1}$ e $5,1 \times 10^8 \text{ NMP } 100^{-1} \text{ ml}^{-1}$ e passaram a ser $4,1 \times 10^6 \text{ NMP } 100^{-1} \text{ ml}^{-1}$ e $1,9 \times 10^6 \text{ NMP } 100^{-1} \text{ ml}^{-1}$ depois que passaram pelo processo de biodigestão, o que retratou uma eficiência de aproximadamente 100% na redução deste potencial poluidor (SOARES et al., 2010). Orrico Júnior, Orrico e Lucas Júnior (2010) também verificaram em estudo valores de redução de DBO e DQO na faixa entre 40 e 60% para dejetos de suínos ao passarem por biodigestores. Os NMP de coliformes totais do afluente eram aproximadamente $5,30 \times 10^7$ passando a ser praticamente zero num período de 120 dias de confinamento no biodigestor, comprovando assim a eficiência da destruição de patógenos.

Somado a isso, Bley Júnior et al. (2009) afirmam também que a utilização do biodigestor interligado a lagoas anaeróbicas cobertas e esterqueiras melhora a qualidade de vida das pessoas e das regiões vizinhas, devido ao fato de haver eliminação dos fortes odores, assim como a diminuição da proliferação de vetores causadores de doenças, por haver a biodigestão e o tratamento dos dejetos do animais.

Apesar das vantagens citadas, o processo de produção do biometano não é 100% eficiente, pois como pôde ser visto, a Figura 6 além de demonstrar o processo de produção do biometano, mostra as emissões diretas de CH_4 (21 vezes mais poluente que o CO_2 (BLEY JÚNIOR et al., 2009)) para a atmosfera, através de vazamentos indesejáveis (CONG; CARO; THOMSEN, 2017). Entretanto, segundo os autores, a biomassa em si, utilizada no processo de geração, têm maiores efeitos sobre as emissões do que os vazamentos provenientes das tecnologias utilizadas nas usinas de biogás.

Cong, Caro e Thomsen (2017) concluíram em seu estudo que a utilização de biogás purificado no setor de transportes, em comparação com o diesel, reduz as emissões de CO_2 para a atmosfera. Os autores também verificaram esta redução na utilização de biofertilizante pelos produtores, pois quando o solo recebe este tipo de fertilizante, age como um sequestrador de carbono, além disso, com a diminuição do uso de adubos minerais, a produção destes também é reduzida, assim como as emissões relacionadas a esta produção. Adicionalmente, os produtores conseguem

reduzir custos com a compra de adubos minerais, pois os biofertilizantes podem substituir parte destes.

Portanto, é verificado que a cadeia produtiva do biometano pode mitigar diversas externalidades ambientais, dentre elas as provocadas pela criação intensiva de animais, trazendo benefício para as pessoas e o meio ambiente.

6.1 EMISSÕES EM VEÍCULOS

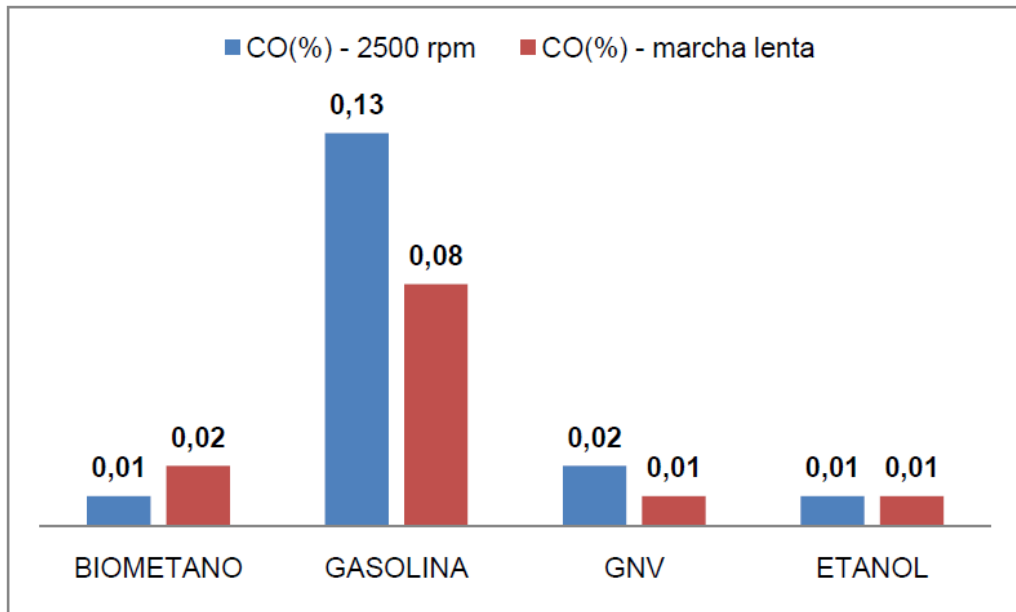
A poluição atmosférica gerada pela queima de combustíveis fósseis, como gasolina e diesel nos veículos automotores, é a grande vilã no que se refere ao aquecimento global e ao efeito estufa (DRUMM et al., 2014), assim como também é responsável por danos à saúde da população (FREITAS et al., 2004) e por estes motivos o estudo das emissões provocadas pelos motores veiculares é importante.

O estudo de emissões de Guerini Filho et al. (2017), abrangeu o uso do biometano em um ônibus Scania Euro 6 no Rio Grande do Sul. Os ensaios foram efetuados com o veículo parado em duas rotações específicas do motor, 600 rpm (marcha lenta) e 2500 rpm, conforme previsto na Resolução N° 418/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Os resultados foram: 0,02% de monóxido de carbono (CO) corrigido para 600 rpm, 0,03% de CO corrigido para 2500 rpm, 6 ppm de hidrocarbonetos (HC) corrigido para 600 rpm e 58,5 ppm de HC corrigido para 2500 rpm, que quando comparados com os limites máximos de emissão da Resolução, que são 1% de CO e 500 ppm de HC, verifica-se que os poluentes CO e HC foram emitidos em quantidades aproximadamente 40 e 10 vezes menores.

Resultados semelhantes foram encontrados no trabalho desenvolvido por Wagner Júnior (2014), também realizado no Rio Grande do Sul e conforme a Resolução N° 418/2009, porém utilizando-se de um veículo leve (Volkswagen Gol 1.6) equipado com kit GNV. As emissões obtidas foram de 0,02% de CO para marcha lenta, 0,01% de CO para 2500 rpm, 33 ppm de HC para marcha lenta e 66 ppm de HC para 2500 rpm, ou seja, valores dentro dos limites da resolução.

O autor também comparou as emissões do biometano com outros três combustíveis, sendo eles a gasolina, etanol e o gás natural veicular, como pode ser visto na Figura 11 e obteve baixa emissão de CO com o uso do biometano, levando a um bom resultado entre os combustíveis.

FIGURA 11 – RESULTADOS DE EMISSÕES DE MONÓXIDO DE CARBONO.



FONTE: WAGNER JÚNIOR, 2014

O estudo de emissão de poluição sonora também é um fator importante a ser trabalhado. Guerini Filho et al. (2017), além de fazerem os ensaios de emissão de gases no ônibus movido a biometano, também realizaram os testes de poluição sonora conforme as NBRs 6067 e 9714. Os resultados obtidos foram de 95,67 dB para 2500 rpm e 77,53 dB para 600 rpm, como o valor limite segundo a Resolução N° 418/2009 (BRASIL, 2009) é de 98 dB para este tipo de veículo, o biometano atende a especificação.

7 EXPERIÊNCIAS E ESTUDOS DO USO DO BIOMETANO EM VEÍCULOS NO BRASIL

O Paraná já possui veículos que utilizam biometano como combustível, através de um projeto desenvolvido pela Itaipu Binacional. Um dos veículos é dotado de um kit de fábrica para gás natural veicular, juntamente com 2 tanques com capacidade de 13 m³ cada, com uma autonomia que chega a quase 400 km. O biogás é produzido em um biodigestor, modelo lagoa coberta, situado na Granja Haacke localizada na cidade de Santa Helena, oeste do Paraná. O biogás é purificado na propriedade através de um filtro, separando o gás carbônico e o gás sulfídrico, garantindo um grau de pureza de 98% de biometano. Assim, depois de filtrado e envazado, o combustível renovável segue para Foz do Iguaçu, transportado por caminhão feixe. O custo de produção por metro cúbico do biometano está em torno de R\$ 1,80. Outros veículos, também movidos a biometano, presentes no Parque Tecnológico Itaipu (PTI) são 30 automóveis de passeio (FIAT Siena Tetrafuel), e um ônibus Scania Euro 6, fabricado na Suécia e projetado para rodar com GNV. Este possui 15 metros de comprimento e tem capacidade para 120 passageiros, sendo que sua utilização no PTI foi possível pela parceria entre a Scania do Brasil, Granja Haacke e o CIBiogás-ER. Há também instalado no PTI, um posto de abastecimento especialmente projetado para o fornecimento de biometano. Ao lado do posto, encontra-se em desenvolvimento uma planta de produção de biometano que visa aproveitar o lixo do restaurante e também os resíduos da estação de tratamento de esgoto do PTI (PARANÁ, 2016).

A Granja Haacke, em parceria com a New Holland, também utiliza, desde o final de dezembro de 2016, um trator movido a biometano com motor do protótipo T6.140, que possui capacidade de armazenar 300 litros de biometano, sendo que o veículo possui uma economia de até 40% em combustível e emite 80% menos gás carbônico em comparação com o mesmo modelo a diesel. A autonomia de trabalho chega a 5 horas com um tanque de gás, porém o modelo a diesel com um tanque consegue trabalhar por cerca de 10 horas (SENKOVSKI, 2017, não paginado)

Ainda no Paraná, na cidade de Castro, a chácara Marujo, também em parceria com a New Holland, utiliza em testes o mesmo trator para as atividades diárias. A fazenda conta com biodigestores alemães do tipo CSTR, construídos em parceria com

a empresa MT Energie, que recebe os dejetos dos 10 mil suínos da granja, juntamente com alimentos descartados de supermercados e restaurantes da região. Assim, o biofertilizante produzido é aplicado nos 800 hectares da lavoura de grãos e o biogás é empregado para diversas finalidades como: aquecimento de piso de creches e maternidades, secagem de grãos, geração de energia elétrica e filtragem para produção de biometano (SILVA, 2018, não paginado; CHACARA MARUJO, 2018, não paginado).

Outro estado que também participa do desenvolvimento do biometano é o Rio Grande do Sul, com a parceria entre Companhia de Gás do estado (Sulgás), a Cooperativa dos Citricultores Ecológicos do Vale do Caí (Ecocitrus), a empresa Naturovos e a Universidade do Vale do Taquari (Univates). A planta-piloto de produção de biometano, conhecido como GNverde pelos participantes do projeto, está localizada nas instalações da Ecocitrus na cidade de Montenegro e tem uma produção média de 1200 m³ de biogás purificado por dia. O posto de abastecimento de GNverde, também dentro da Ecocitrus, abastece cerca de 40 veículos de todas as cooperativas de citricultores de Montenegro. Assim, parte do biogás gerado é utilizado para suprir toda a energia gasta pela usina e o restante é purificado para o consumo dos produtores (LAMPERT, 2016, não paginado).

A Sulgás também se associou ao CIBiogás-ER, em 27 de julho de 2017, visando o desenvolvimento tecnológico, científico e comercial do biometano. Esta associação poderá trazer oportunidade de troca de experiências, atração de investimentos e auxílio no estudo da regulação do mercado desse setor (SULGÁS, 2017, não paginado).

O estado de São Paulo também se faz presente na produção de biometano para uso veicular. A Sabesp, empresa de saneamento público, em parceria com o instituto alemão Fraunhofer IGB, possuem um projeto para a produção de biogás através do tratamento de esgoto na cidade de Franca. Em 06 de abril de 2018 a Sabesp começou a utilizar o biometano em parte de sua frota, 19 veículos convertidos a GNV, sendo que a ETE (estação de tratamento de esgoto) produz em média 2500 (Nm³)² de biogás por dia, suficientes para substituir 1500 litros de gasolina diariamente. Os estudos iniciais do projeto apontam que a produção de biometano em

² Nm³ - Normal metro cúbico (pressão: 1 atm, temperatura: 0°C, umidade relativa: 0%)

Franca será capaz de atender 200 veículos leves. Vale lembrar que esta não é a primeira tentativa de utilização de biometano em veículos pela Sabesp. As primeiras experiências e estudos foram realizados no final da década de 80, porém, o combustível naquela época não se mostrou viável devido às limitações tecnológicas no beneficiamento do biogás, juntamente com as dificuldades de adaptações dos motores dos veículos. Cenário este, diferente do atual. No começo do projeto a Sabesp procurou a ANP para se inteirar sobre os procedimentos para o controle de qualidade do biometano, e com isso a própria ANP convidou a Sabesp a participar e contribuir para os estudos da formulação da resolução Nº 685 de 29/06/2017 (SABESP, 2018, não paginado).

A ER-BR Energias Renováveis, em parceria com a BLEY Energias, também vem contribuindo para alavancar a utilização veicular do biometano. Em levantamento realizado nas propriedades dos clientes da ER-BR, que fazem uso de biodigestores convencionais de lagoa coberta, pôde ser estimado a geração de biogás pelos dejetos dos seus diferentes tipos de animais, além das quantidades necessárias destes a suprir a demanda de produção de biometano do microposto (ER-BR Energias Renováveis, 2018, não paginado). Este levantamento pode ser visualizado na Tabela 5.

TABELA 5 - QUANTIDADE DE ANIMAIS NECESSÁRIA PARA SUPRIR A CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE BIOMETANO DO MICROPOSTO.

| Demanda de Biogás | | Bovinos | Aves | Suínos Matrizes | | | Suínos Terminação | |
|-----------------------|----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|--|--|---|
| m ³ / h | m ³ / dia | Corte/ Leite (1,2 m ³ /dia) | Postura (0,01 m ³ /dia) | UPD (0,4 m ³ /dia) | UPD+ Creche (0,5 m ³ /dia) | Ciclo Completo (1,2 m ³ /dia) | Ciclo Direto (0,3 m ³ /dia) | Vazio Sanitário (0,15m ³ /dia) |
| 10 | 240 | | | | | | | |
| Quantidade de Animais | | 200 | 24.000 | 600 | 480 | 200 | 800 | 1.600 |

FONTE: ER-BR Energias Renováveis (2018, não paginado)

Lembrando que a produção de biogás está intimamente ligada com o tipo de biomassa, o seu manejo e a tecnologia utilizada. O microposto recebendo 10 Nm³/h de biogás consegue fornecer em torno de 6 Nm³/h de biometano (ER-BR Energias Renováveis, 2018, não paginado).

Outros valores, agora econômicos, estimados pela ER-BR, que mostram a vantagem do uso do biometano, podem ser visualizados nas Tabelas 6 e 7.

TABELA 6 - COMPARAÇÃO DE CUSTOS E CONSUMO ENTRE COMBUSTÍVEIS EM VEÍCULOS LEVES.

| Combustível | Preço | Consumo Médio | Consumo | Custo/km | Gasto/dia | Gasto em 25 dias |
|-------------|-------------------------|------------------------|-------------------|----------|------------|------------------|
| Gasolina | R\$ 4,20/L | 10 km/l | 25 L | R\$ 0,42 | R\$ 105,00 | R\$ 2.625,00 |
| Etanol | R\$ 2,95/L | 8 km/l | 31 L | R\$ 0,37 | R\$ 91,45 | R\$ 2.286,25 |
| GNV | R\$ 2,95/m ³ | 13,8 km/m ³ | 18 m ³ | R\$ 0,21 | R\$ 53,10 | R\$ 1.325,50 |
| Biometano | R\$ 0,60/m ³ | 13,8 km/m ³ | 18 m ³ | R\$ 0,04 | R\$ 10,80 | R\$ 270,50 |

FONTE: ER-BR Energias Renováveis (2018, não paginado)

TABELA 7 - COMPARAÇÃO DE CUSTOS E CONSUMO ENTRE TRATORES UTILIZANDO DIFERENTES COMBUSTÍVEIS.

| Trator operando com diesel | | | | | |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------|------------|------------------|
| Operação | Preço | Consumo Médio | Custo/hora | Gasto/dia | Gasto em 25 dias |
| Trabalho Leve | R\$ 2,95/L | 12 L/h | R\$ 35,40 | R\$ 283,20 | R\$ 7.080,00 |
| Trabalho Pesado | | 18 L/h | R\$ 53,10 | R\$ 424,80 | R\$ 10.620,00 |
| Trator operando com biometano | | | | | |
| Operação | Preço | Consumo Médio | Custo/hora | Gasto/dia | Gasto em 25 dias |
| Trabalho Leve | R\$ 0,6/m ³ | 8,25 m ³ /h | R\$ 4,95 | R\$ 39,60 | R\$ 990,00 |
| Trabalho Pesado | | 16,5 m ³ /h | R\$ 9,90 | R\$ 79,20 | R\$ 1.980,00 |

FONTE: ER-BR Energias Renováveis (2018, não paginado)

A Tabela 6 faz um comparativo de custo entre diferentes tipos de combustíveis utilizados em veículos. Por exemplo, um automóvel utilizando gasolina como combustível, tendo um consumo de 25 L por dia, possuirá um gasto de R\$ 105,00, sendo que em 25 dias de uso a despesa pode chegar em R\$ 2625,00. Por outro lado, o mesmo veículo operando com biometano, consumindo 18 m³ por dia, terá um gasto de R\$ 10,80, e em 25 dias de uso o custo chega em R\$ 270,50.

A Tabela 7 apresenta a comparação entre 2 tratores, em que um deles utiliza o combustível diesel e o outro funciona com o biometano. O trator operando com diesel em trabalho pesado, consumindo 18L por hora, pode ter um gasto de aproximadamente 425 reais no dia, trabalhando 8 horas por dia. Já o mesmo maquinário nas mesmas características, porém agora com biometano, possui uma despesa em torno de 80 reais no dia.

Ou seja, as duas tabelas em conjunto demonstram que, dentre os combustíveis citados, o biometano é o que apresenta maior economia.

A ER-BR salienta que o custo do biometano foi estimado com base no custo de operação do microposto, sendo que as outras despesas com a geração do biogás estão incorporadas no custo da fazenda (ER-BR Energias Renováveis, 2018, não paginado).

8 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A produção e a utilização do biometano como combustível veicular pode trazer diversas vantagens para o país, porém a cadeia produtiva do biometano ainda possui muitos pontos a serem melhorados.

O elo de insumos da cadeia produtiva do biometano está bem desenvolvido em termos de opções de tecnologias existentes para a geração do combustível, e algumas empresas que trabalham com estas tecnologias foram descritas neste elo. Entretanto é necessário que mais entidades nacionais desenvolvam a indústria no país para aumentar a facilidade de aquisição dos equipamentos como as bombas, válvulas, reatores, agitadores, purificadores e compressores, por parte dos produtores, visto que em pesquisa por fornecedores não foram encontradas muitas opções de empresas neste ramo. Existem linhas de crédito, como o Finame e o Inovagro, apresentados no ambiente organizacional, que podem auxiliar os produtores, contudo, somente estas alternativas isoladas não dão suporte para o desenvolvimento da cadeia.

O componente “subsetor de produção (agropecuário)” do biometano tem bastante potencial de evolução, pois existem diversos tipos de substratos e resíduos orgânicos disponíveis a serem utilizados nos biodigestores. Este potencial nas propriedades rurais pode ser comprovado também pela grande quantidade existente de trabalhos e pesquisas acadêmicas desenvolvidas sobre o biogás, levando em conta também que muitas propriedades, através de suas atividades de criação de suínos, bovinos e aves, necessitam do tratamento de efluentes por questões ambientais presentes na legislação, descrita no ambiente institucional.

Porém, segundo Paraná (2016), para ser possível entender a viabilidade do uso do biometano, primeiramente, é necessário analisar a viabilidade técnica e econômica do aproveitamento dos resíduos utilizados na produção de biogás.

Outros pontos importantes a serem estudados são: o volume de resíduos gerados e o investimento relativamente alto para implantação de uma usina de biogás individual. Ou seja, pequenos produtores agropecuários, individualmente, normalmente não dispõem dessas características. Uma alternativa a essa situação é a parceria entre os microempreendedores rurais de determinada região, que gerem o material orgânico e possuam interesses em comum, proporcionando uma alternativa

para a compra de equipamentos, para a redução de custos primários e para garantir a escala apropriada (PARANÁ, 2016).

A parceria entre pequenos produtores rurais formando um condomínio de agroenergia é de fundamental importância, pois promove a eles a possibilidade de entrar na cadeia produtiva econômica do biogás. Isso traz um alto valor estratégico para o Brasil, pois cria uma dimensão de geração própria de energia no setor rural (COIMBRA-ARAÚJO et al. 2014)

O elo de transformação do biogás em biometano, apesar de ser um dos mais complexos da cadeia por envolver os processos de purificação e compressão, já dispõe de equipamentos e tecnologias no mercado nacional, o que proporciona mais facilidade e opções para as aquisições dos investidores interessados. Contudo, os custos ainda são altos, pois muitas vezes os equipamentos comercializados são importados.

O subsetor de distribuição do biometano muito se assemelha ao do gás natural, ou seja, o transporte via dutos ou via caminhão feixe e a disposição do combustível para os consumidores finais através de postos, possuem a vantagem de cumprirem regras e procedimentos já conhecidos e regulamentados no país, favorecendo assim a familiaridade com o setor. Como o custo da construção de tubulações de longas distâncias é relativamente alto e dependente do governo, o transporte de biometano por caminhões feixe se torna uma alternativa viável, desde que atenda uma região num raio de até 150 km de distância, sendo que essa alternativa se tornaria ainda mais interessante se o próprio caminhão fosse movido a biometano.

As organizações, como entidades, empresas e associações, que compõem o ambiente organizacional da cadeia produtiva, vêm trabalhando cada vez mais com pesquisa e desenvolvimento do biometano, visando as mais diversas aplicações deste como combustível, incluindo a veicular, conforme foi exposto no decorrer deste trabalho. Porém, estas organizações são dependentes do ambiente institucional, assim como todos os elos da cadeia, fato que acaba por influenciar o desenvolvimento do biometano e a disseminação de seu uso, pois este ambiente ainda está muito no início de seu desenvolvimento. Prova disto é a regulamentação como combustível do biometano proveniente de resíduos agrossilvopastoris e comerciais, que ocorreu no início de 2015 por meio da Resolução ANP nº 8/2015, que estipulou as especificações

para que o biometano pudesse ser comercializado e/ou misturado ao gás natural (BRASIL, 2015c).

São percebidos os esforços nas criações das políticas de estados e leis municipais envolvendo o ambiente institucional do biometano, incluindo até alguns benefícios tributários, a exemplo do Paraná com a redução do valor do IPVA para quem utiliza veículo convertido a GNV, e de São Paulo, com a suspensão de alguns tributos sobre importação de equipamentos. Porém ainda são necessários mais estímulos por parte do governo para um maior desenvolvimento da cadeia.

Um recente marco regulatório importante, que não aborda especificamente o biometano proveniente dos resíduos agrossilvopastoris, mas que pode influenciar a cadeia discorrida na pesquisa é a resolução ANP Nº 685 de 29/06/2017, que passou a permitir a comercialização do biometano oriundo de aterros sanitários e estações de tratamento de esgoto (BRASIL, 2017). Esta comercialização ainda só é permitida mediante o transporte por caminhão feixe ou por duto dedicado (tubulação contendo somente biometano), porém a usina GNR Dois Arcos da Ecometano, no estado do Rio de Janeiro, foi a primeira planta a receber autorização da ANP para injetar a sua geração de 10.000 m³ de biometano por dia diretamente na rede da concessionária local (PÁGINA SUSTENTÁVEL, 2018, não paginado). Mais recentemente, no final de maio deste ano, outra planta da Ecometano que obteve a autorização da ANP para injetar o biometano direto na rede de gás natural canalizado foi a GNR Fortaleza, do estado do Ceará, que produz aproximadamente 80.000 m³ de biometano por dia, sendo que a produção deve elevar-se gradualmente até 150.000 m³ por dia em 2019 (BRAIN MARKET, 2018, não paginado).

O biometano veicular detém vantagens como provir de fontes renováveis, possuir boas características de emissões atmosféricas, além de possuir diversas aplicações e poder alcançar inúmeros tipos de consumidores finais. Do ponto de vista do consumo deste recurso pelo próprio produtor rural, foram mostradas as iniciativas da New Holland com o desenvolvimento e os testes do protótipo do trator movido a biometano. Em contato com a mesma via e-mail, o coordenador de vendas Alberto Maier Bento³ informou que a previsão de disponibilidade deste produto é em 2020. Ou seja, a não ser que o produtor faça a conversão do seu trator para biometano,

³ BENTO, A.M. **Trator movido a biometano**. [Comunicação pessoal]. Mensagem recebida por: <vendas@tratornew.com.br>. 23 jul. 2018.

adaptações mais complexas e custosas para motores diesel, conforme foi visto, este novo produto só poderá ser adquirido nos próximos anos. Conseqüentemente, também é necessário que outras empresas deste ramo invistam no desenvolvimento desta tecnologia.

A viabilidade da construção de um condomínio de agroenergia com produção de biogás a partir de dejetos animais, na região da microbacia do Lajeado Grande, na cidade de Toledo (PR), foi analisada por Gomes e Piacenti (2016). O estudo foi realizado através da avaliação da viabilidade econômica do uso veicular do biometano, visando reverter o elevado potencial poluidor da área.

O condomínio é formado pela aplicação de sistemas de biodigestão nas 39 propriedades rurais caracterizadas no estudo, para o correto tratamento da biomassa residual e geração de biogás. Sendo que este, quando for produzido, será conduzido por um biogasoduto que interligará as propriedades rurais até uma central de tratamento e purificação de biogás. Algumas características dos custos do condomínio estão descritas na Tabela 8.

TABELA 8 - CUSTOS DO SISTEMA DE BIODIGESTÃO PARA PRODUÇÃO E GERAÇÃO DE ENERGIA VEICULAR NO CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA DO LAJEADO GRANDE, TOLEDO, PARANÁ.

| DESCRIÇÃO | Valor (R\$) |
|----------------------------|---------------------|
| Sistemas de biodigestão | 1.516.050,00 |
| Lagoas secundárias | 191.289,34 |
| Biogasoduto | 3.400.317,75 |
| Tratamento e purificação | 200.000,00 |
| Posto de combustível | 325.000,00 |
| Licenças | 1.000.000,00 |
| Monitoramento | 139.600,00 |
| INVESTIMENTO TOTAL: | 6.772.257,09 |

FONTE: GOMES; PIACENTI (2016)

Sabendo-se que são 39 propriedades rurais envolvidas nos cálculos, se forem feitas as estimativas que os produtores possuem características semelhantes, e que todos irão arcar com todos os custos apresentados, cada produtor terá que dispor de um investimento de aproximadamente R\$ 174.000,00 para a construção deste condomínio, sendo que o elemento mais custoso apresentado na tabela é a

construção do biogásoduto, corroborando as afirmações a respeito da despesa elevada de implementação de gasodutos. Outro custo relevante que merece atenção é o das licenças ambientais, que deveria ser menor, pois a implantação deste sistema traz vantagens para o meio ambiente, ou seja, os órgãos ambientais quando apresentam este tipo de despesa acabam desestimulando possíveis investidores.

O estudo mostrou que é viável a produção de biometano veicular pela possível implantação do condomínio no Lajeado Grande. Isso é verificado devido às características da comunidade, dos demandantes de energia e dos resultados econômicos, além de proporcionar uma economia de custo anual na faixa de R\$ 1,1 milhão em comparação à aquisição de combustíveis de origem fóssil (GOMES; PIACENTI, 2016).

Em contrapartida, há ainda algumas barreiras e considerações que podem interferir na viabilidade da produção e uso do biometano, presentes na Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano. Dentre elas, pode-se citar: os investidores, que ainda não veem um benefício comercial suficientemente atraente devido aos preços de comercialização; o baixo número de projetos consolidados, o que leva a uma situação de pioneirismo pelos empreendedores; e o alto custo da realização de novos projetos, devido à alta necessidade de importação, seja de mão de obra ou equipamentos (ABIOGÁS, 2015).

Neste mesmo contexto, em pesquisa realizada pela Castrolanda, a chácara Marujo recebeu uma análise e um projeto de comercialização de biometano, sendo que este estudo foi desenvolvido utilizando de visitas aos maiores produtores de biometano no sul do Brasil como a Granja Haacke em Santa Helena e a Ecocitrus em Montenegro. A pesquisa constatou que a instalação de plantas de biometano são viáveis somente em grande escala, e que cooperados com baixa produção de biogás não são os mais indicados para esse tipo de investimento (CASTROLANDA, 2017).

Uma ideia da quantidade e tipos de animais necessários para suprir uma unidade protótipo de purificação e compressão de biometano, foi apresentada na Tabela 5 no tópico anterior, verificando que é preciso em torno de 200 cabeças de gado para fornecer o volume de 10 m³ de biogás por dia. O que pode-se inferir não ser uma quantidade pequena de criação para um produtor rural. A ER-BR também mostra um custo muito vantajoso a respeito do biometano em comparação com os outros combustíveis, mas deixa claro que no cálculo deste não é levado em conta os

custos dos biodigestores e equipamentos conjuntos, o que de fato deveria ser incluído para se ter uma ideia melhor de custo.

Portanto, com as informações levantadas ao decorrer da pesquisa, o Quadro 3 sintetiza a análise da cadeia produtiva do biometano, mostrando as restrições e oportunidades para a produção deste recurso, focando os resíduos agrossilvopastoris como matéria prima.

QUADRO 3 - ANÁLISE DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOMETANO

| Elos da cadeia e Ambientes | Fatores favoráveis | Restrições |
|----------------------------|--|--|
| Insumos | Existência de diversos equipamentos e tecnologias (biodigestores) para desenvolvimento da atividade. | Grande número de equipamentos envolvidos. Falta de uma maior quantidade de empresas nacionais fornecedoras de insumos. |
| Produção | Vantagens ambientais (aproveitamento de resíduos, redução de emissões). Geração de biofertilizante. Redução do potencial poluidor da matéria orgânica. | Custos elevados em produções individuais. Demanda de alto volume de produção de dejetos/resíduos orgânicos. Custos elevados de licenças ambientais. |
| Transformação | Existência de projetos nacionais para a purificação e compressão do biometano, como o PTI e a cooperativa Ecocitrus. Presença de empresas brasileiras que comercializam purificadores e compressores. | Processos complexos. Custos elevados. Alta dependência de equipamentos e tecnologias importadas. |
| Distribuição | Injeção direta de biometano na rede de gás natural, mediante solicitação à ANP. Transporte de biometano envazado por caminhão feixe. | Produções afastadas da rede de gasodutos devem utilizar o transporte rodoviário, somente utilizado em distâncias de até 150 km. |

| | | |
|-------------------------|--|--|
| | Possibilidade de comercialização de biometano através de postos de combustível, seguindo as mesmas regras do GNV. | |
| Consumidor final | Possibilidade de utilização em veículos convertidos a GNV. Potencialidade de atingir diversos públicos consumidores. | Maior complexidade de conversão para veículos pesados a diesel. Setor de maquinários agrícolas, e os de veículos de grande porte, ainda não comercializam estes produtos. |
| Ambiente organizacional | Presença de diversas instituições que divulgam e trabalham para a evolução da produção, comercialização e uso do biometano. | Baixo número de projetos envolvendo biometano oriundo de resíduos agrossilvopastoris. |
| Ambiente institucional | Lançamento das resoluções ANP Nº 8/15 e Nº 685/17 regulamentando o biometano como um novo combustível alternativo. Criação de políticas de estados e leis municipais. | As resoluções e legislações existentes ainda são muito recentes. Falta de maiores incentivos governamentais no que tange as leis, decretos e normas. |

FONTE: O autor (2018).

9 CONCLUSÃO

Perante o que foi apresentado nesta pesquisa, pode-se concluir que o Brasil está se desenvolvendo no uso do biometano veicular, e que já possui algumas experiências concretas na sua utilização, porém ainda possui muitos pontos a serem explorados para atingir o pleno potencial da produção do biogás purificado, visando esta aplicação.

Foi visto que o seu uso em veículos possui muitas vantagens, como a redução dos impactos ambientais, tanto na diminuição de emissão de gases de efeito estufa, quanto da correta destinação de resíduos por parte da produção, além da possível geração de renda e empregos, aumento da diversificação da matriz energética e autossuficiência de combustível para os produtores. Outro ponto importante, levando em conta os veículos, é que o Brasil já possui experiência na fabricação de kits de conversão para o uso do GNV, que possui características similares ao biometano, portanto o novo combustível pode ser usado nos motores sem maiores dificuldades, pois a tecnologia de conversão já está desenvolvida.

A respeito da produção de biometano, para que haja um maior desenvolvimento, a dependência da importação de equipamentos, assim como a necessidade de mão de obra qualificada estrangeira, devem diminuir, para ser possível a redução dos custos de geração. A escala dos projetos também pode ser um fator limitante, mas as associações e cooperativas podem contornar isso através da criação de condomínios, unindo os produtores rurais. A cadeia produtiva do biometano veicular ainda se encontra no início, pois os marcos regulatórios, junto as políticas nacionais, estaduais e municipais, ainda são muito recentes. Contudo, a tendência é que as discussões, projetos e investimentos no setor só venham a aumentar nos próximos anos, trazendo vantagem a todo o país.

REFERÊNCIAS

ABASTECENDO COM GNV. Disponível em: <http://www.gasnet.com.br/gnv/abastecendo_gnv.asp>. Acesso em: 06 jul. 2018.

ABIOGÁS. Disponível em: <<https://www.abiogas.org.br/>>. Acesso em: 08 jul. 2018.

ABIOGÁS. Proposta de Programa Nacional do Biogás e do Biometano PNBB. São Paulo. SP. 2015.

BLEY JÚNIOR et al., **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais.** 2. ed. Foz do Iguaçu/Brasília: Technopolitik Editora, 2009.

BORDELANNE, O et al. Biomethane CNG hybrid: A reduction by more than 80% of the greenhouse gases emissions compared to gasoline. **Journal Of Natural Gas Science And Engineering**, [s.l.], v. 3, n. 5, p.617-624, out. 2011.

BRAIN MARKET. **ANP autoriza biometano na rede da Cegás.** 2018. Disponível em: <<http://www.brainmarket.com.br/noticia/anp-autoriza-biometano-na-rede-da-cegas>>. Acesso em: 25 jul. 2018.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Novo Marco Regulatório da Indústria Brasileira de Gás Natural:** Oportunidades trazidas pela Lei do Gás. 2011a.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP N° 685, de 29.06.2017.** Anexo: Regulamento técnico ANP N° 1/2017. 2017.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP N° 8, de 30.01.2015.** Anexo: Regulamento técnico ANP N° 1/2015. 2015c.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP N° 41, de 05.11.2013.** 2013.

BRASIL. Lei n° 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, D.F. 2010.

BRASIL. Lei n° 12.512, de 14 de outubro de 2011. Institui o Programa de Apoio à Conservação Ambiental e o Programa de Fomento às Atividades Produtivas Rurais. **Diário Oficial da União**, Brasília, D.F. 2011b.

BRASIL. Resolução n° 418, de 25 de novembro de 2009. Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e para a implantação de Programas de Inspeção e Manutenção de Veículos em Uso - I/M. **Diário Oficial da União**, Brasília, D.F. 2009.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Biometano como combustível veicular.** 1. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2016.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Catálogo de tecnologias e empresas de biogás**. 1. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2015b.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás**. 1. ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2015a.

BRITTO, R. F; MARTINS, C. A. Experimental analysis of a diesel engine operating in Diesel–Ethanol Dual-Fuel mode. **Fuel**, [s.l.], v. 134, p.140-150, out. 2014.

CASTRO, A. M. G. de. Prospecção de cadeias produtivas e gestão da informação. **Transinformação**, v. 13, n. 2, p. 55-72, 2001.

CASTROLANDA. **Energias Renováveis Projeto abre as portas para investimentos sustentáveis**. 2017. Disponível em: <<https://www.castrolanda.coop.br/produtor-destaque/energias-renovaveis-projeto-abre-as-portas-para-investimentos-sustentaveis-23232>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

CHÁCARA MARUJO. Disponível em: <<https://www.chacaramarujo.com.br/sustentabilidade>>. Acesso em: 08 jul. 2018.

CHAEMCHUEN, S; ZHOU, K; VERPOORT, F. From Biogas to Biofuel: Materials Used for Biogas Cleaning to Biomethane. **ChemBioeng Reviews**, [s.l.], v. 3, n. 6, p.250-265, dez. 2016.

CIBIOGÁS. Disponível em: <https://www.cibiogas.org/quem_somos>. Acesso em: 07 jul. 2018.

COELHO, S. T et al. Geração de Energia Elétrica A Partir Do Biogás Proveniente Do Tratamento De Esgoto. In: **XI Congresso Brasileiro de Energia (CBE)**, [s.l.], 2006.

COIMBRA-ARAÚJO, C. H. et al. Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 40, p.826-839, dez. 2014.

COMPAGAS. Disponível em: <<http://www.compagas.com.br/>>. Acesso em 07 jul. 2018.

CONG, R; CARO, D; THOMSEN, M. Is it beneficial to use biogas in the Danish transport sector? – An environmental-economic analysis. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 165, p.1025-1035, nov. 2017.

DETERMINAÇÃO DA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO). 2017. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/determinacao-da-demanda-bioquimica-de-oxigenio-dbo/>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

DEUBLEIN, D; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources An Introduction**. Weinheim: Wiley-VCH, 2008.

DRUMM, F. C. et al. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.67-76, 7 abr. 2014.

ECOCITRUS. Disponível em: <<http://www.ecocitrus.com.br/>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

ECOMETANO. Disponível em: <<http://www.ecometano.com.br/ecometano/empresa.html>>. Acesso em: 07 jul. 2018.

EHSAN, M.d. Effect of spark advance on a gas run automotive spark ignition engine. **Journal of Chemical Engineering, IEB**, [s.l.], v. 24, n. 1, 2006.

ENTRE RIOS DO OESTE. Lei nº 1.719, de 25 de abril de 2012. Cria o serviço autônomo de água, esgoto e biogás, biometano e energia elétrica a partir do biogás de Entre Rios do Oeste, como entidade autárquica de direito público, da administração indireta e dá outras providências. **Diário Oficial do município de Entre Rios do Oeste**, Entre Rios do Oeste, PR. 2012.

ER-BR ENERGIAS RENOVÁVEIS. Disponível em: <<http://www.erbr.com.br/default/>>. Acesso em: 07 ago. 2018.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V (FNR). **Biogas an introduction**. 3. ed. Gülzow, 2013.

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V (FNR). **Guia prático do biogás: geração e utilização**. Tradução de: ZATTAR, M. de. M. 5. ed. Gülzow, 2010. Título original: Leitfaden biogas: von der gewinnung zur nutzung.

FINAME. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/finame!/ut/p/z1/04_iUI Dg4tKPAFJABpSA0fpReYllmemJJZn5eYk5-hH6kVFm8T6W3q4eJv4GPu5mfk4Gji6Wlh7ezkaGBi5m-I76UfgVFGQHKglAWRAQKw!!/>. Acesso em: 09 jul. 2018.

FONSECA, J. J. S. da. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza, 2002. Apostila digitada.

FREITAS, C. et al. Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997. **Revista Saúde Pública**, [s.l.], p.751-757, 2004.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR**. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2003.

GERHARDT, T. E; SILVEIRA, D. T. (Org.). **Métodos de pesquisa**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

GOMES, A. C. A; PIACENTI, C. A. A viabilidade econômico-financeira do biogás para uso veicular na região de Toledo, Paraná. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v. 37, n. 130, p.83-97, jan./jun. 2016.

GUERINI FILHO, M et al. Análise das emissões atmosféricas, rendimento e nível de ruído em ônibus movido a biometano - um estudo de caso. **Enciclopédia Biosfera**, [s.l.], v. 14, n. 25, p.1352-1359, 5 dez. 2017.

HAGEN, M; POLMAN, E. **Adding gas from biomass to the gas grid**. 142 f. Final Report, Danish Gas Technology Center, [s.l.], 2001.

HULLU, J. de et al. **Comparing different biogas upgrading techniques**. 52 f. Final Report, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2008.

IENGEPE. **Biodigestores**. 2012. Disponível em: <http://www.iengep.com.br/novo/index.php?option=com_content&view=article&id=38&Itemid=27>. Acesso em: 16 mai. 2018.

INOVAGRO. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/inovagro>>. Acesso em: 09 jul. 2018.

KAPDI, S.s. et al. Biogas scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context. **Renewable Energy**, [s.l.], v. 30, n. 8, p.1195-1202, jul. 2005.

KREUGER, E; NGES, I. A; BJÖRNSSON, L. Ensiling of crops for biogás production: effects on methane yield and total solids determination. **Biotechnology for biofuels**, v. 4, n. 1, Lund, 2011.

LAMPERT, A. **Sulgás**. 2016. Disponível em: <<http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/noticias-sala/882-distribuicao-de-combustivel-natural-e-renovavel-e-aposta-da-sulgas>>. Acesso em: 30 mai. 2018.

MARCHAIM, U. **Biogas Processes for Sustainable Development**. Rome: FAO Ag-Services Bulletin, 1992.

MIHIC, S. Biogas fuel for internal combustion engines. **Annals of Faculty Engineering Hunedoara**, [s.l.], v. 2, nº 3, 2004.

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

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2015.

MODELOS DE BIODIGESTORES. Disponível em: <<http://www.gestaonocampo.com.br/biblioteca/modelos-de-biodigestores/>>. Acesso em: 16 mai. 2018.

MOURA, J. P. de. Estudo do dimensionamento da produção de biogás com utilização de resíduos residenciais, industriais e de matrizes suínas a partir de uma revisão da literatura. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [s.l.], v. 6, nº 6, p.1066-1077, 2012.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P; ORRICO, A. C. A; LUCAS JÚNIOR, J de. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, nº 4, p.600-607, 2010.

PÁGINA SUSTENTÁVEL. **Ecometano inaugura maior usina de biogás do Brasil**. 2018. Disponível em: <http://paginasustentavel.com.br/Noticias/Not%C3%ADcia/Ecometano_inaugura_maior_usina_de_biog%C3%A1s_do_Brasil>. Acesso em: 10 jul. 2018.

PARANÁ. Federação das Indústrias do Estado do Paraná (FIEP) e Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial Paraná (SENAI-PR). **Oportunidades da cadeia produtiva de biogás para o estado do Paraná**. Curitiba: Federação das Industrias do Estado do Paraná (FIEP), 2016.

PARANÁ. Lei nº 19.500, de 21 de maio de 2018. Dispõe sobre a Política Estadual do Biogás e Biometano. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, PR. 2018a.

PARANÁ. Lei complementar nº 205, de 07 de dezembro de 2017. Dispõe sobre os serviços de distribuição de gás canalizado no Estado do Paraná. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, PR. 2017.

PARANÁ. Lei complementar nº 211, de 07 de maio de 2018. Acrescenta e renumera os dispositivos que especifica a Lei complementar nº 205. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, PR. 2018b.

PARANÁ. Lei orgânica do IPVA nº 14.260 de 22 de dezembro de 2003. Estabelece normas sobre o tratamento tributário pertinente ao Imposto Sobre a Propriedade de Veículos Automotores. **Diário Oficial do Estado do Paraná**, Curitiba, PR. 2013.

PATTERSON, T et al. Life cycle assessment of biohydrogen and biomethane production and utilisation as a vehicle fuel. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 131, p.235-245, mar. 2013.

PEREIRA, E. R.; DEMARCHI, J. J. A. de A; BUDIÑO, F. E. L. **Biodigestores: tecnologia para o manejo de efluentes da pecuária**. [s.l.], 2009. **PLANO ABC**. 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>>. Acesso em: 08 jul. 2018.

PTI (PARQUE TECNOLÓGICO ITAIPU). Disponível em: <<https://www.pti.org.br/pt-br/sobre-o-pti>>. Acesso em: 08 jul. 2018.

RENOVABIO. Disponível em:
<<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>>. Acesso em 08 jul. 2018.

RIO DE JANEIRO. Lei nº 6.361, de 18 de dezembro de 2012. Dispõe sobre a política estadual de gás natural renovável. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, RJ. 2012.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto nº 53.172, de 15 de agosto de 2016. Regulamenta o Comitê Gestor do Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, RS. 2016b.

RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 14.864, de 11 de maio de 2016. Institui a Política Estadual do Biometano e o Programa Gaúcho de Incentivo à Geração e Utilização de Biometano. **Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul**, Porto Alegre, RS. 2016a.

SABESP. **Sabesp começa a abastecer carros em Franca com os gases do tratamento de esgoto.** 2018. Disponível em:
<<http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaold=66&id=7838>>. Acesso em 04 jul. 2018.

SAKUMA, A. C. **Desenvolvimento e análise experimental de biodigestores modulares de baixo tempo de residência.** 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

SANTOS, I. F. S. dos et al. Assessment of potential biogas production from multiple organic wastes in Brazil: Impact on energy generation, use, and emissions abatement. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 131, p.54-63, abr. 2018.

SÃO PAULO. Decreto nº 58.659, de 04 de dezembro de 2012. Institui o Programa Paulista de Biogás. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, SP. 2012.

SÃO PAULO. Decreto nº 60.298, de 27 de março de 2014. Introduce alterações no Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (RICMS). **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, SP. 2014.

SÃO PAULO. Deliberação ARSESP nº 744, de 26 de julho de 2017. Dispõe sobre as condições de distribuição de Biometano na rede de gás canalizado no âmbito do Estado de São Paulo. **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, SP. 2017.

SENKOVSKI, A. C. **Agronegócio.** 2017. Disponível em:
<<https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/agricultura/conheca-o-trator-movido-a-esterco-dfhaalolxqlamzsz7dc09q3zn>>. Acesso em: 29 mai. 2018.

SILVA, C. B. da. **Abordagem teórica do processo de geração de biometano a partir de resíduos agroindustriais**. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, 2017.

SILVA, E. **Globo Rural**. 2018. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Feiras/noticia/2018/04/trator-movido-biometano-deve-chegar-ao-mercado-em-tres-anos.html>>. Acesso em: 31 mai. 2018.

SOARES, M. T. S. et al. Caracterização Físico-Química de Efluentes Líquidos de Granjas Suínas Tratados em Biodigestor. In: V Simpósio Sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal, **Anais...** Corumbá - MS, 2010.

SOUZA, J. de et al. Planta para compressão e tratamento de biometano. In: III Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, **Anais...** Bento Gonçalves – RS, 2012.

STRASSBURG, U; OLIVEIRA, N. M. de; ROCHA JÚNIOR, W. F. da. Cadeia do biogás no oeste do Paraná: à luz da nova economia institucional. **Revista de Estudos Sociais**, v. 17, nº 34, p.64-82, [s.l], 2015.

SULGÁS. **Sulgás se associa ao Cibiogás**. 2017. <<http://www.sulgas.rs.gov.br/sulgas/noticias-sala/1041-sulgas-cibiogas>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

SUZUKI, A. B. P et al. Uso de biogás em motores de combustão interna. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 4, nº 1, p.221-237, Guarapuava, 2011.

TEIXEIRA, F. M. T. **O potencial do gás natural veicular no mercado gaúcho**. 131 f. Trabalho de conclusão do curso de mestrado profissionalizante (Mestrado em Engenharia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2003.

TOLEDO. Lei nº 2.171, de 25 de junho de 2014. Institui o Programa de Incentivo à geração e à utilização do biogás e de biometano (PIGUBB), no município de Toledo. **Diário Oficial do Município de Toledo**, Toledo, PR. 2014.

TRIVIÑOS, A. N. S. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Editora Atlas S.A., 1987.

TUDO O QUE VOCÊ PRECISA SABER SOBRE GNV. 2015. Disponível em: <<https://www.brasilpostos.com.br/noticias/combustiveis-2/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-gnv/>>. Acesso em: 03 jul. 2018.

VEIGA, A. P. B, MERCEDES, S .S. Biometano de gás de aterros no Brasil: Potencial e Perspectivas. In: X Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, **Anais...** São Paulo – SP, 2015.

WAGNER JÚNIOR, R. L. **Avaliação das emissões e do desempenhos do motor de um veículo utilizando biometano, gás natural veicular, etanol e gasolina como combustível veicular.** 108 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, Rio Grande do Sul, 2014.

YANG, L et al. Progress and perspectives in converting biogas to transportation fuels. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 40, p.1133-1152, dez. 2014

ZANELLA, M. G. **Ambiente institucional e políticas públicas para o biogás proveniente da suinocultura.** 82 f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, 2012.