



Criação de Valor a partir do Biogás: Um Estudo sobre Oportunidades e Barreiras para sua Difusão no Brasil

Tuany Perez Braga

Monografia em Engenharia Química

Orientadora

Prof^ª. Clarice Campelo de Melo Ferraz, D.Sc.

Janeiro de 2018

CRIAÇÃO DE VALOR A PARTIR DO BIOGÁS: UM ESTUDO SOBRE OPORTUNIDADES E BARREIRAS PARA SUA DIFUSÃO NO BRASIL

Tuany Perez Braga

Monografia de Curso submetida ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheira Química.

Aprovado por:

José Eduardo Pessoa de Andrade, M. Sc.

Renato Pinto de Queiroz, M. Sc.

Gustavo Alves Soares, M.Sc.

Orientado por:

Clarice Campelo de Melo Ferraz, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Janeiro de 2018

Ficha Catalográfica

Braga, Tuany Perez.

Criação de Valor a partir do Biogás: Um Estudo sobre Oportunidades e Barreiras para sua Difusão no Brasil/Tuany Perez Braga. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2018.

viii, 89 p.; il.

(Monografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2018.

Orientadora: Clarice Campelo de Melo Ferraz.

1. Cadeia de Valor do Biogás. 2. Energia Renovável. 3. Tratamento de Resíduos e Efluentes.
4. Monografia. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Clarice Campelo de Melo Ferraz. I. Criação de Valor a partir do Biogás: Um Estudo sobre Oportunidades e Barreiras para sua Difusão no Brasil.

Dedico a toda minha família, em especial aos meus pais Jose Antonio Braga e Marli Braga e à minha irmã Mayara Braga.

“Disciplina é liberdade”

Renato Russo

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmã que, sempre com muito carinho e amor, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida. Ao André Guimarães, namorado e amigo, por seu companheirismo e paciência nos momentos mais críticos. À orientadora Clarice Ferraz, pelo suporte, correções e tempo dedicado ao trabalho. Ao corpo docente da EQ, por todo ensinamento ao longo do curso. Às amigas de infância Caroline, Isabel, Isabella, Kamille, Aline e Alice, pela amizade forte, incentivo e apoio constantes. Às amigas da UFRJ, em especial Nina, Fernanda, Karina, Lorena, Lara, Vanessa e Renata, que trilharam esse caminho comigo, deixando-o mais leve. A todos os professores do Colégio Santo Inácio, que foram fundamentais para a minha formação e desenvolvimento, não só acadêmico como pessoal. Aos amigos do intercâmbio, que tornaram essa experiência desafiadora muito mais prazerosa. A todos os colegas que eu tive o prazer de conhecer em minhas experiências profissionais, Fluxo Consultoria, Braskem, ILOS e Falconi, que acreditaram no meu potencial e contribuíram para minha formação profissional.

A todos, o meu muito obrigada. Sem vocês nada disso seria possível.

Resumo da monografia apresentada à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Engenheira Química.

CRIAÇÃO DE VALOR A PARTIR DO BIOGÁS: UM ESTUDO SOBRE OPORTUNIDADES E BARREIRAS PARA SUA DIFUSÃO NO BRASIL

Tuany Perez Braga

Janeiro, 2018

Orientadora: Prof^ª. Clarice Campelo de Melo Ferraz, D.Sc.

O biogás representa uma fonte alternativa e renovável de energia cada vez mais utilizada em todo o mundo, capaz de substituir compostos de origem fóssil. Em termos de modelos de negócios que permitam sua valorização, existe uma diversidade de arranjos possíveis, com flexibilidade de escolha tanto de matéria-prima e fornecedores, como de aplicação, fontes de receita e consumidores finais. O biogás pode ser produzido a partir de resíduos sólidos urbanos, efluentes domésticos, além de sólidos e efluentes agropecuários e agroindustriais. Os produtos a serem autoconsumidos ou comercializados são diversos: energia elétrica e térmica, biometano para injeção na rede de gás natural, combustível veicular e industrial, gás carbônico, hidrogênio, biofertilizante, material reciclado, além de crédito de carbono. O Brasil é um país oportuno para inserção do biogás, visto que, em função de sua dimensão e perfil de atividades econômicas, é grande gerador de resíduos e efluentes orgânicos, além de possuir um clima tropical, favorável à biodigestão. Ademais, o avanço do uso do biogás pode trazer inúmeros benefícios ao país como: redução das emissões de GEEs; melhor gerenciamento de resíduos e efluentes; diversificação da matriz energética brasileira, de maneira descentralizada, aumentando a segurança no fornecimento; redução dos custos de transporte e transmissão; criação empregos; desenvolvimento regional; redução da importação de gás natural, diesel e fertilizantes químicos com impacto positivo na balança comercial. Entretanto, o biogás não se configura como uma fonte de energia difundida no Brasil, estando muito aquém de seu potencial, devido à uma série de barreiras que resultam na insegurança do investidor, como: forte dependência de tecnologia estrangeira; investimentos elevados; alta incidência de impostos; mercado incipiente para comercialização; incerteza do retorno de investimento; regulamentação recente; programas de incentivo com pouca atratividade; falta de conhecimento técnico; dificuldade no acesso às informações técnicas, comerciais e legais; experiências passadas malsucedidas; além da inexistência de políticas específicas relacionadas ao biogás. Apesar do aproveitamento ainda incipiente, o setor está em expansão, sendo uma das fontes de energia que mais cresce no país. Para estabelecer condições favoráveis à difusão do biogás, é necessário que o Brasil supere as barreiras, criando políticas de incentivo específicas para o biogás, investindo em tecnologia nacional, reduzindo impostos, dentre outras medidas.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização	1
1.2 Objetivos	4
1.3 Metodologia	4
1.4 Estrutura do trabalho	5
2. O BIOGÁS	6
2.1 Definição	6
2.2 Digestão anaeróbia	7
2.3 Biodigestores	9
2.4 Fontes de Matéria Prima	11
2.4.1 Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos	11
2.4.2 Tratamento de Efluentes Líquidos	14
2.4.3 Tratamento de Resíduos Agropecuários	14
2.4.4 Tratamento de Resíduos Agroindustriais	15
2.5 Armazenamento	16
2.6 Tratamento	17
2.7 Aplicações e Potencial de Comercialização	21
2.7.1 Energia Elétrica e Térmica	21
2.7.2 Biometano	23
2.7.3 Dióxido de Carbono	23
2.7.4 Hidrogênio	24
2.7.5 Crédito de Carbono	25
2.7.6 Biofertilizante	25
3. MODELOS DE NEGÓCIOS PARA O BIOGÁS	26
3.1 Conceituação de modelo de negócios	26
3.2 Modelos de negócios para aproveitamento do biogás	30
4. MODELOS DE NEGÓCIOS PARA O BIOGÁS NO BRASIL	35
4.1 Oferta de Matéria-Prima	35
4.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos	36
4.1.2 Efluentes Líquidos	37
4.1.3 Resíduos Agropecuários	37
4.1.4 Resíduos Agroindustriais	38

4.2 Oportunidades de Monetização	39
4.2.1 Energia Elétrica	39
4.2.2 Biometano	44
4.2.3 Biofertilizante.....	48
4.2.4 Crédito de Carbono	50
4.3 Políticas de Incentivo	53
4.3.1 Políticas de Incentivo Relacionadas ao Saneamento.....	53
4.3.2 Políticas de Incentivo à Inserção de Fontes Renováveis.....	55
4.4 Modelos de Negócios Implementados no Brasil.....	56
4.4.1 Modelos de Negócios a partir de RSU	57
4.4.2 Modelos de Negócios a partir de Efluentes Municipais.....	59
4.4.3 Modelos de Negócios a partir de Resíduos Agropecuários.....	60
4.4.4 Modelos de Negócios a partir de Resíduos Agroindustriais	62
4.4.5 Modelos de Negócios a partir de Diferentes Substratos.....	64
4.5 Entraves para Disseminação do Biogás no Brasil.....	65
4.5.1 Incerteza sobre o Retorno do Investimento.....	66
4.5.2 Reduzida Quantidade de Projetos de Referência.....	69
4.5.3 Dificuldade no Acesso às Informações	70
4.5.4 Inexistência de Políticas Específicas Relacionadas ao Biogás.....	71
5. CONCLUSÃO	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
ANEXO A - Produção estimada de biogás e biometano de distintos substratos	86
ANEXO B - Quadro de Modelo de Negócios.....	87
ANEXO C - Especificações do Biometano.....	88
ANEXO D – Limites máximos de contaminantes admitidos em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Digestão anaeróbia.....	9
Figura 2 Tratamento conforme uso final	19
Figura 3 Processos de pós-tratamento do material digerido conforme tecnologia de metanização e uso previsto.....	20
Figura 4 Esquema de funcionamento de um CHP.....	22
Figura 5 Cadeia de Valor.....	28
Figura 6 Cadeia simplificada do biogás	35
Figura 7 Distribuição dos gasodutos de transporte de gás.....	46
Figura 8 Mecanismo de funcionamento do RenovaBio	52
Figura 9 Representação do Processo da ETE de Arruda.....	60
Figura 10 Quadro de Modelo de Negócios.....	87

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 Composição de biogás	6
Tabela 2 Equivalência de 1m ³ de Biogás com outros energéticos.....	7
Tabela 3 Propriedade e composição do BA e BD	13
Tabela 4 Potencial de produção de biogás.....	16
Tabela 5 Sistemas de Armazenamento do biogás	17
Tabela 6 impurezas e impactos do biogás	18
Tabela 7 Tecnologias de gerenciamento do biogás	21
Tabela 8 Produção estimada de biogás e biometano de distintos substratos.....	86
Tabela 9 Especificações do Biometano	88
Tabela 10 Limites máximos de contaminantes admitidos em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos	89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Matriz Energética Nacional (%).....	40
Gráfico 2 Matriz de Energia Eléctrica Nacional	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABBM - Associação Brasileira de Biogás e Metano
ABEGÁS - Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado
ABILOGÁS - Associação Brasileira do Biogás e do Biometano
ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ACL - Ambiente de Contratação Livre
ACR - Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
COPEL - Companhia Paranaense de Energia
CBios - Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDR - Combustível Derivado de Resíduos
CHP - Combined Heat and Power
CIBiogás - Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás
CNA - Confederação da Agricultura e Pecuária
COFINS - Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana
Coopcana - Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana
COP - Conferência das Partes
COPASA- Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CSTR - Continuous Stirred-Tank Reactor
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
EBA - European Biomass Association
ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
ETE - Estações de Tratamento de Esgotos
EU-ETS - European Union Emissions Trading System
GD - Geração Distribuída
GEE – Gases do Efeito Estufa

GNC - Gás Natural Comprimido
GNP - Gás Natural do Petróleo
GNV - Gás Natural Veicular
ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPI - Imposto sobre Produtos Industrializados
MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MDS - Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MME - Ministério de Minas e Energia
PAC - Programa de Aceleração do Crescimento
PASEP - Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público
PCH - Pequena Central Hidrelétrica
PDE - Plano Decenal de Expansão de Energia
PIB - Produto Interno Bruto
PIS - Programa de Integração Social
PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico
PNBB - Programa Nacional do Biogás e do Biometano
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
PROBIOGÁS - Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil
PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
REDUC - Refinaria de Duque de Caxias
REIDI - Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SIN - Sistema Interligado Nacional
SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ST – Sólidos Totais
SV – Sólidos Voláteis
UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UDOP - União dos Produtores de Bioenergia
UNFCCC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima
UTB - Unidade de Tratamento de Biogás

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Por muitos anos, as necessidades de energia da humanidade foram supridas pela biomassa, fonte renovável, sendo por muito tempo a madeira a principal fonte de energia primária. Há pouco mais de duzentos anos, a biomassa começou a perder participação para a energia do carvão, que passou a ser a principal fonte primária de energia do final do século XIX, até meados do século XX, sendo superado então, pelo petróleo e o gás natural, na década de 1960 (OLIVEIRA, 2016).

Com a crise do petróleo na década de 1970, a preocupação com a segurança energética foi intensificada, resultando na busca por fontes alternativas aos combustíveis fósseis de modo a diversificar a matriz energética. Nesse quesito, a biomassa passou a ser considerada por muitos governantes e formuladores de políticas como um recurso energético viável e doméstico com potencial para reduzir a dependência do petróleo e a garantir a segurança no abastecimento de energia (ZANETTE, 2009). Nota-se ainda que o crescimento acelerado da população mundial, bem como o desenvolvimento de modernas tecnologias e aparelhos eletrônicos para uma sociedade consumista, são fatores que tem colaborado para o aumento da demanda de energia, o que reforça ainda mais a necessidade de se buscar fontes alternativas (SALAZAR, 2014).

Ademais, a crescente preocupação com as possíveis consequências das mudanças climáticas e as evidências da relação entre estas e a queima de combustíveis fósseis, responsáveis por mais da metade das emissões antrópicas dos gases causadores do efeito estufa¹, reforçaram o interesse em ampliar a participação das fontes renováveis de energia (ZANETTE, 2009). O reconhecimento da importância da trajetória para uma economia de baixo carbono teve como marco relevante a criação, em 1992, da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC), um tratado ambiental internacional que visa estabilizar as concentrações de GEEs resultantes das ações humanas. Desde então, anualmente

¹ Os gases de efeito estufa são: dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O), Perfluorcarbonetos (PFC's) e vapor de água. São substâncias gasosas responsáveis pelo efeito estufa, fenômeno natural, possibilitador da vida na Terra. Porém, a alta concentração dos GEEs, atribuída principalmente a ações antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis, geram um aumento anormal na temperatura terrestre.

ocorre a Conferência das Partes (COP), onde é avaliado o progresso dos membros em lidar com as mudanças climáticas e se estabelecem as obrigações para reduzir as emissões.

Em 1997, na COP-3, foi assinado o Protocolo de Quioto, no qual foram estipuladas metas para que países desenvolvidos reduzissem suas emissões de GEE. Com o reconhecimento da urgência da transição para uma economia de baixo carbono que seja de escala global, foi assinado o Acordo de Paris, em 2015. Destinado a substituir o Protocolo de Quioto em 2020, o acordo busca reduzir as emissões de gases de efeito estufa na atmosfera em quantidade suficiente para manter o aquecimento global abaixo de 2° C até o ano de 2100. Diferentemente do Protocolo de Quioto, que estabelecia metas específicas para um grupo de menos de 40 países desenvolvidos, no Acordo de Paris, os quase 200 países aderentes, tanto desenvolvidos como em desenvolvimento, determinam nacionalmente seus compromissos de redução de emissão, envolvendo o mundo todo no combate às mudanças climáticas. Em razão da magnitude desse desafio, intensifica-se ainda mais a necessidade de desenvolver alternativas de energia renovável (MMA, 2017).

Afim de combater o problema mencionado de segurança energética, além das mudanças climáticas, o biogás, tema deste trabalho, vem ganhando espaço no mundo. Trata-se do gás formado no processo de tratamento anaeróbia de resíduos e efluentes orgânicos, como restos de comida, dejetos de animais, esgotos sanitários, entre outros. O biogás é composto majoritariamente por metano, importante gás de efeito estufa, que lhe confere alto poder calorífico, podendo substituir parcial ou integralmente compostos de origem fóssil em motores ou em outros tipos de geração de energia. Dentre suas aplicações, pode ser usado para geração de energia elétrica, térmica e demais aplicações do gás natural como combustível veicular, industrial e residencial.

Cabe destacar que o gerenciamento de resíduos e efluentes representa um dos principais problemas enfrentados pela administração pública, devido à alta taxa de geração em virtude das crescentes população mundial e atividades agropecuárias e industriais. O tratamento anaeróbio da matéria orgânica, portanto, contribui para seu gerenciamento, além de permitir que estes passivos ambientais sejam transformados em energia com o aproveitamento do biogás.

Neste enfoque, entende-se que o aproveitamento energético do biogás contribui para a diversificação e limpeza da matriz energética e, conseqüentemente, para segurança no fornecimento de energia. Ademais, contribui para o correto gerenciamento de resíduos e efluentes, preserva solos e corpos hídricos, gera empregos, incentiva o desenvolvimento tecnológico, além de representa elevado potencial de redução de emissões dos gases de efeito

estufa na medida que evita emissão de metano na atmosfera e substitui fontes de energia fóssil (SALOMON, 2007).

É nesse contexto que se insere o aproveitamento do biogás, tido por muitos até pouco tempo atrás, como subproduto do tratamento anaeróbio, sem valor econômico e por isso descartável, por derivar do lixo, do esgoto, dos restos, das fezes de animais, de poluentes descartáveis, tudo sempre jogado fora ou submetido à queima e que vem ganhando espaço na matriz energética mundial. O biogás é um produto com poder energético intrínseco e de alto valor econômico, não ficando atrás de outros combustíveis como etanol e do biodiesel. É, portanto, um combustível gasoso de origem renovável e uma importante fonte de energia limpa para os países desenvolvidos ou em desenvolvimento (OLIVEIRA, 2016).

Na Europa a capacidade instalada em plantas de aproveitamento do biogás é superior a 2000 MW, concentrada principalmente na Alemanha e Reino Unido, enquanto nos Estados Unidos essa capacidade é superior a 1000 MW (EBA, 2010). No Brasil, entretanto, o aproveitamento do biogás ainda é incipiente, com apenas 118 MW de capacidade instalada, bastante aquém do seu potencial (ANEEL, 2017). Considerando que o Brasil é um país de clima tropical vantajoso ao processo de biodigestão, apresenta elevada concentração de sua população, em torno de 80%, em grandes centros urbanos e expressiva produção agropecuária e agroindustrial e, portanto, de resíduos e efluentes domésticos, agropecuários e agroindustriais, é inevitável questionar a razão pela qual o Brasil não tem no biogás uma fonte energética disseminada e com participação significativa na matriz nacional (Sebigas-Cótica, 2017).

Um dos principais entraves para a consolidação do biogás como fonte de energia é a dificuldade de implementação de um modelo de negócios para esse produto, ou seja, para criação, entrega e captura de valor por parte das organizações. Seu sucesso depende de alguns fatores do ambiente de negócios no qual está inserido como oferta de matéria prima, demanda pelo produto final, tecnologia, boa gestão, regulamentação do setor, políticas de incentivo, entre outros. Na busca de um modelo adequado, é necessário superar diversos desafios, como a falta de políticas de incentivo específicas, a falta de uma coordenação do governo em relação ao assunto e questões relacionadas a baixa taxa de retorno de parte dos projetos (PEREIRA, 2014).

Este trabalho, portanto, aborda a literatura de modelos de negócios de modo a analisar, de maneira simplificada, como as cadeias produtivas podem ser estruturadas para criação de valor a partir do biogás, para posterior análise de oportunidades e barreiras para sua difusão no Brasil.

1.2 Objetivos

Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo principal analisar as oportunidades e barreiras para implementação de modelos de negócios para o aproveitamento de biogás no Brasil. Para alcançar seu objetivo principal, este trabalho se propõe a:

- Fazer uma revisão bibliográfica sobre o biogás: como é produzido, quais as fontes de matéria-prima e aplicações;
- Descrever o que são modelos de negócios e quais são as possíveis estruturas de modelos de negócios do biogás e exemplos implementados no Brasil;
- Analisar qual o potencial brasileiro de produção de biogás, porque seu aproveitamento é interessante para o país e quais são os marcos regulatórios que balizam as atividades em torno do biogás existentes atualmente no Brasil;
- Identificar barreiras existentes que impedem que o biogás seja amplamente difundido no Brasil.

1.3 Metodologia

Este estudo, para que pudesse alcançar seus objetivos, teve como base o procedimento metodológico da pesquisa exploratória. Segundo Gil (1991), este tipo de pesquisa visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. No caso deste trabalho, a pesquisa visa possibilitar um entendimento do panorama atual do Brasil em relação ao biogás, se existe um ambiente de negócios favorável, quais modelos de negócios estão presentes no país, além de levantar os fatores que contribuem para que o biogás não seja uma fonte de energia amplamente difundida no Brasil.

Foi adotada uma combinação das abordagens quantitativa e qualitativa (quali-quantitativa), visto que além de se basear em números para chegar ao objetivo, como, por exemplo, dados de potencial de produção de biogás, resíduos, efluentes e matriz energética nacional, a pesquisa também analisa os benefícios do biogás, a legislação vigente, os modelos de negócios existentes no Brasil e as barreiras para sua disseminação no país.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, conforme classificação de Gil (1991), este trabalho envolveu extensa pesquisa bibliográfica e documental. Foram consultados, para revisão bibliográfica do biogás, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado e

doutorado, artigos de periódicos e biblioteca virtual do PROBIOGÁS. Para entendimento do tema modelos de negócios, foram estudadas publicações de autores de referência como Teece, Chesbrough e Osterwalder. A coleta de dados referente ao potencial de produção de biogás, efluentes e resíduos teve como base relatórios divulgados pelo IPEA, ABRELPE, SNIS e ABiogás. Para levantamento de políticas, leis e resoluções foram consultados portais do Ministério do Meio Ambiente, Ministério de Minas e Energia, Ministério da Cidades, ANP, ANEEL, Protocolo de Quioto, Acordo de Paris, entre outros. Por se tratar de um tema atual, que vem sendo amplamente discutido no país, ao longo do estudo foram acompanhadas notícias, além de publicações da ABiogás, de modo a manter o trabalho atualizado.

1.4 Estrutura do trabalho

Afim de alcançar os objetivos propostos, o presente estudo está estruturado da seguinte forma:

Após essa introdução, o capítulo 2 se dedica a apresentar uma revisão bibliográfica sobre o biogás, com suas principais características, processos de produção, considerando as diversas matérias orgânicas a partir das quais o mesmo pode ser gerado e suas aplicações.

O capítulo 3 define o que é um modelo de negócios e descreve seus principais componentes para posterior aplicação dos conceitos discutidos no setor do biogás. É neste capítulo onde se entende melhor as possíveis cadeias produtivas e comerciais do biogás.

O capítulo 4 tem como objetivo analisar o ambiente de negócios do Brasil para inserção do biogás. Para isso, são analisados a oferta de matéria-prima, o potencial de produção de biogás do país, os benefícios atrelados ao seu aproveitamento, além do marco regulatório vigente e políticas de incentivo para suportar os possíveis modelos de negócio. Além disso, o capítulo apresenta exemplos de modelos de negócios já implementados no Brasil. Por fim, são levantadas possíveis barreiras que explicam o fato da produção do Brasil não atingir o mesmo patamar de sua capacidade.

São apresentadas, no capítulo 5, as conclusões sobre o tema dissertado, abordando como os modelos de negócios de biogás podem ser estruturados, a importância de se inserir o biogás na matriz energética nacional e o que impede a difusão dessa fonte de energia renovável. São levantadas também possíveis futuras linhas de pesquisa como continuidade ao atual estudo.

2. O BIOGÁS

Esse capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre o biogás. São abordados temas como sua caracterização em termos de composição, produção, fontes de matéria-prima, armazenamento, tratamento, além de suas possíveis aplicações.

2.1 Definição

O biogás pode ser definido como uma mistura gasosa, composta majoritariamente por metano e dióxido de carbono, gerado a partir da digestão anaeróbia de matéria orgânica, ou seja, biomassa renovável. Ele pode ser gerado a partir de diversos materiais orgânicos, sob diferentes condições de digestão anaeróbia e distintos métodos de coleta, podendo, portanto, apresentar diferentes composições. Em geral, o biogás é composto por 50% a 80% de metano, 20% a 40% de dióxido de carbono, além de traços de hidrogênio, nitrogênio, ácido sulfídrico, monóxido de carbono e amônia, como mostra a tabela 1.

Gás	Quantidade (%)
Metano	50 a 80
Dióxido de Carbono	20 a 40
Hidrogênio	1 a 3
Nitrogênio	0,5 a 3
Ácido sulfídrico e outros	1 a 5

Tabela 1 Composição de biogás
Fonte: LA FARGE, 1979

Dentre esses elementos, é a quantidade de metano contido no gás que confere seu potencial energético, medido pelo poder calorífico, que é a quantidade de energia liberada durante a combustão completa da unidade de massa ou unidade de volume do combustível. Segundo Gaspar (2003), por apresentar alta porcentagem de metano em sua composição, o poder calorífico do biogás pode variar de 5.000 kcal/ m³ a 7.000 kcal/ m³, podendo atingir 12.000kcal/ m³ quando submetido a um alto índice de purificação. Estes valores representam um alto poder calorífico, ou seja, excelentes propriedades de combustão. A tabela 2 mostra a equivalência de 1 m³ de biogás com outros energéticos.

Energético	Quantidade Equivalente a 1m³ de Biogás
Gasolina	0,613 l
Querosene	0,579 l
Diesel	0,553 l
GLP	0,454 kg
Álcool	0,79 l
Carvão Mineral	0,735 kg
Lenha	1,538 kg
Energia Elétrica	1,428 kWh

Tabela 2 Equivalência de 1m³ de Biogás com outros energéticos
Fonte: SGANZERLA, 1983

Pelo fato de apresentar alto potencial energético, pode substituir parcial ou integralmente compostos de origem fóssil em motores ou em outros tipos de geração de energia. O biogás pode ser utilizado, portanto, para geração de energia elétrica, térmica ou como combustível residencial, veicular ou industrial. Pelo fato de ser combustível proveniente de fonte renovável de energia, é classificado como biocombustível (ANP, 2017).

O biogás, portanto, além de representar uma fonte renovável de energia alternativa à combustíveis fósseis, diversificando e limpando a matriz energética, pode contribuir para ganhos em termos de sustentabilidade ambiental de diversas atividades, visto que pode ser produzido a partir do tratamento de diferentes substratos orgânicos de origem residual, permitindo a destinação adequada dos resíduos gerados. Além disso, visto que o gás metano apresenta potencial poluidor 23 vezes superior ao dióxido de carbono no que se refere ao efeito estufa, seu aproveitamento como ativo energético leva a redução do potencial de poluição ambiental do tratamento anaeróbio, já que evita que seja lançado diretamente na atmosfera. Ademais, também contribui para redução do impacto ambiental na medida em que pode ser usado em substituição a combustíveis fósseis² (SALOMON, 2007).

2.2 Digestão anaeróbia

O biogás é gerado a partir do processo de biodigestão anaeróbica, também chamado de metanização, o qual consiste na ação de um complexo de cultura mista de microorganismos, capazes de metabolizar matéria orgânica, resultando principalmente na produção de metano

² O biogás é considerado fonte limpa de energia, pois a emissão de gases poluentes é bem menor em comparação com a queima de combustíveis fósseis.

(CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). A metanização pode ocorrer naturalmente ou em condições controladas de processo como biorreatores biológicos anaeróbicos, chamados de biodigestores (SANTOS; LIMA, 2016).

A digestão anaeróbia em biodigestores tem como finalidades: o tratamento de resíduos e efluentes, com a remoção da matéria orgânica poluente e patogênica; a produção de biogás, passível de utilização energética variada; e a produção de biofertilizantes mais estáveis, ricos em nutrientes e com melhores qualidades sanitárias que o material original. Desta forma, resíduos e efluentes passíveis de causar um grande impacto ambiental podem se tornar uma considerável fonte de energia (SOUZA, 1984).

Quando comparado ao tratamento aeróbio de resíduos e efluentes, além da produção de biogás, passível de utilização energética variada, o tratamento anaeróbio oferece importantes vantagens como menor custo operacional, menor demanda energética, reduzida taxa de geração de lodo, menor requisito de área e menor emissão de gases efeito estufa no setor (CHERNICHARO, 1997).

O processo de metanização pode ser dividido, de forma simplificada em duas etapas. A primeira consiste na transformação da matéria orgânica complexa em compostos simples como ácidos orgânicos voláteis, CO₂, H₂, etc, devido a ação de enzimas extracelulares, bactérias acidogênicas e bactérias acetogênicas. Essas últimas responsáveis pela transformação dos ácidos orgânicos voláteis em ácido acético, CO₂ e H₂. Na segunda etapa, bactérias metanogênicas transformam estes produtos principalmente em metano e CO₂. Como as bactérias metanogênicas se reproduzem mais lentamente e são mais sensíveis quando comparadas as outras, esta última etapa, na qual o metano é produzido, é a limitante do processo (SOUZA, 1984).

O processo de digestão anaeróbia está representado em esquema simplificado na figura 1.

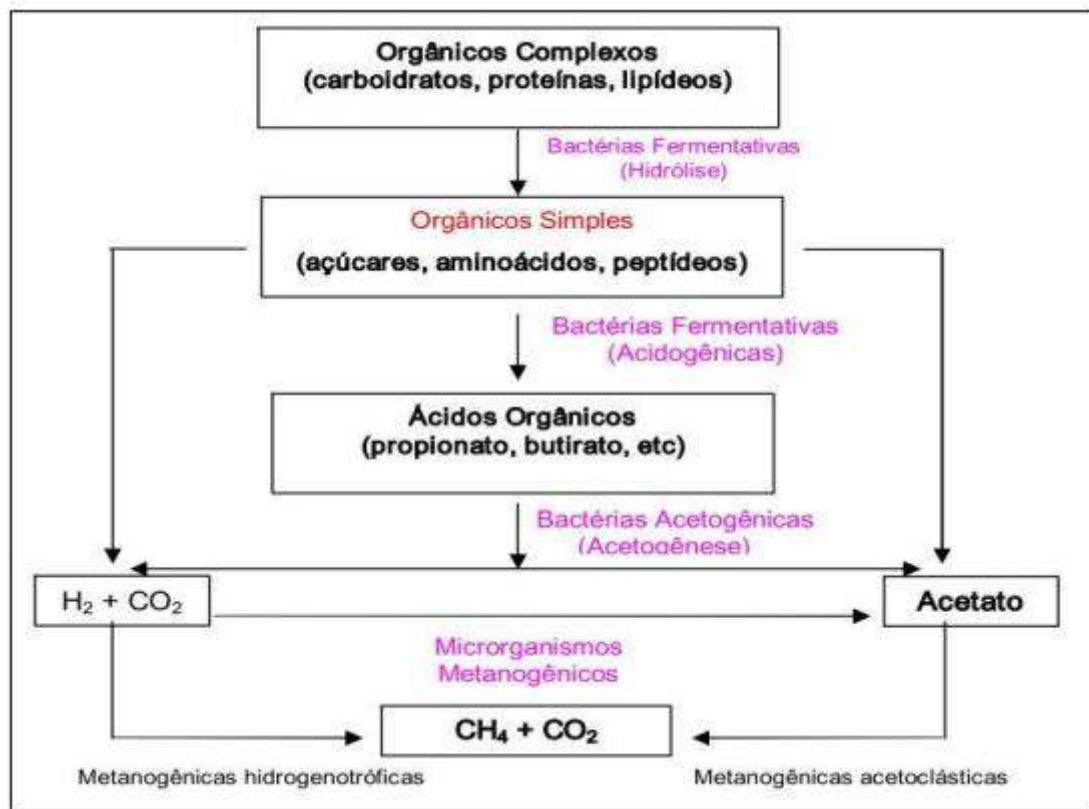


Figura 1 Digestão anaeróbia
 Fonte: LOUZADA, 2006

O rendimento e a velocidade do processo podem ser influenciados por alguns fatores como: temperatura, acidez, grau de biodegradabilidade da matéria orgânica, diluição do material digerido, tamanho das partículas em suspensão, concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo), presença de inibidores e materiais tóxicos às bactérias, como metais alcalinos e alcalinos terrosos, metais pesados, sulfetos, surfactentes, entre outros (SOUZA, 1984).

2.3 Biodigestores

A metanização, quando em condições controladas, ocorre em biodigestores, tanques fechados que possibilitam a recuperação dos gases gerados (SOUZA; LAGE FILHO, 2014). Existe uma diversidade de tipos de biodigestores e a sua indicação deve levar em consideração características de cada setor. A escolha da tecnologia e os parâmetros de eficiência esperados dependem do tipo de resíduo, sua composição, disponibilidade do material (sazonalidade) e da necessidade de utilização de biogás (SANTOS; LIMA, 2016).

Gomes et. al. (2016) apresenta as diversas tecnologias existentes nos sistemas de geração de biogás. Dentre eles, os reatores de mistura contínua (*Continuous Flow Stirred Tank*

Reactor – CSTR) são geralmente utilizados na agropecuária e em indústrias diversas, para tratamento de lodos sanitários e, com menor frequência, para os resíduos sólidos domiciliares, já que devem ser livres de impurezas e com umidade suficiente para o processo. O CSTR é a tecnologia mais difundida internacionalmente para a digestão de substratos complexos com alto valor energético e podem ser considerados como o estado da arte da tecnologia.

Já as lagoas com misturadores, também denominadas lagoas otimizadas, que podem receber apenas efluentes que estejam praticamente livres de sólidos, são uma alternativa aos reatores CSTR e podem ser consideradas uma melhoria das lagoas anaeróbias de modelo básico, pois combinam as vantagens econômicas das lagoas anaeróbias, com maior eficiência do tratamento e da produção de biogás, em função da homogeneização do material devido à mistura contínua.

Há ainda reatores de metanização seca, adequados a digestão de grandes volumes de substratos com pouca umidade, especialmente os resíduos sólidos urbanos e os resíduos industriais. Quando operado em processo descontínuo, apesar de possuir taxa de geração de biogás menor, o sistema apresenta algumas vantagens em relação ao processo contínuo. Além de possibilitar a inserção dos resíduos no reator após uma etapa bastante simplificada de triagem, podendo ter uma alta concentração de impróprios, a demanda energética desta tecnologia também é menor, de modo que a energia líquida exportada pela planta tende a equalizar a energia gerada no processo em contínuo.

Em relação aos reatores anaeróbios de manta de lodo, também conhecidos como UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), são os reatores mais compactos utilizados para o tratamento de efluentes industriais e também para o esgoto sanitário. Estes reatores apresentam uma ótima relação custo/benefício, pois remove de 60 a 80 % da demanda biológica de oxigênio (DBO) sem o uso de energia, possibilitando o aproveitamento do biogás gerado no processo.

Existem também os digestores de lodo proveniente das ETEs, que, assim como o esgoto, também deve ser digerido e estabilizado, possibilitando geração de biogás. Hoje em dia, quase todas as estações que operam com digestor de lodo possuem um grupo gerador (CHP) para a produção de energia elétrica e térmica a partir do biogás gerado (GOMES et al., 2016).

2.4 Fontes de Matéria Prima

O biogás é gerado a partir da digestão anaeróbia de biomassa, matéria orgânica de origem vegetal ou animal, obtida de uma variedade de recursos renováveis. Os substratos com potencial de tratamento via metanização podem ser agrupados nas seguintes categorias:

- Resíduos sólidos urbanos;
- Efluentes líquidos (Esgotos e lodos sanitários);
- Resíduos agropecuários (enquanto produção primária, como restos da safra, esterco...);
- Resíduos agroindustriais (decorrentes de processamentos industriais, como açúcar e etanol, cervejaria, refrigerantes, laticínios e matadouros).

A produtividade de biogás varia substancialmente entre os substratos em função da sua composição, em especial de seu teor de biomassa biodegradável, da diluição do material a ser digerido, da concentração de substâncias potencialmente inibitórias, como nitrogênio, enxofre, antibiótico, entre outros, e da tecnologia utilizada (SOUZA, 1984).

O Anexo A apresenta a estimativa da produção de biogás e biometano a partir de diversos substratos pertencentes aos quatro grupamentos. Em geral, os substratos são caracterizados em função do teor de sólidos totais (ST)³, da relação sólidos totais voláteis e sólidos totais (SV/ST), do percentual de degradabilidade dos sólidos voláteis (SV), da produtividade de biogás e do teor de metano (CH₄). De uma forma geral, pode-se dizer que quanto maior o percentual de SV em relação aos ST, maior será o potencial de produção de biogás de um substrato.

2.4.1 Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

Resíduos sólidos urbanos (RSU) é a denominação dada ao lixo residencial e comercial gerado nas áreas urbanas, incluindo aqueles originários da varrição, limpeza de logradouros,

³ Toda a matéria passível de metanização é composta por água e sólidos, sendo que as concentrações variam entre os substratos. A fração sólida (teor de sólidos totais – ST) pode ser dividida entre a parcela orgânica (teor de sólidos voláteis – SV) e a inorgânica (teor de sólidos fixos – SF). O potencial de produção de biogás dependerá da biodegradabilidade da fração orgânica, visto que esta também é composta por compostos de baixa biodegradabilidade (recalcitrantes), os quais dificilmente são processados por microrganismos e, conseqüentemente, convertidos em biogás.

vias públicas e outros serviços de limpeza urbana, conforme classifica a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)⁴.

O constante aumento da população mundial, aliado ao consumismo da sociedade contemporânea, proporciona grande geração de resíduos sólidos urbanos. Nas três últimas décadas, a geração de resíduos urbanos aumentou três vezes mais rápido que a população. Estima-se que, em 2050, a população mundial chegará a mais de 9 bilhões de pessoas e a produção de lixo urbano a 4 bilhões de toneladas por ano⁵. A gestão dos resíduos e o descarte correto de materiais, portanto, se torna cada dia mais imprescindível para que o mundo caminhe para um desenvolvimento sustentável.

Esse crescimento, entretanto, não é acompanhado pelo descarte adequado desses resíduos, prejudicando o meio ambiente e a saúde humana com contaminação do solo, dos corpos d'água, e emissão de gases que desequilibram o efeito estufa. Além do impacto ambiental, um grande potencial é desperdiçado, já que grande parte do volume descartado pela população, considerado como lixo, poderia ser reciclado, reaproveitado ou até mesmo transformado em fonte de energia. O descarte final apenas de rejeitos, ou seja, de material sem potencial de reuso, de reciclagem ou de aproveitamento energético, pouparia recursos não só naturais e como financeiros.

Uma das formas mais conhecidas de disposição final de resíduos é o Aterro Sanitário, onde são decompostos de duas formas distintas. A primeira, aeróbica, acontece no período de decomposição do lixo no solo. A segunda, anaeróbica, quando ocorre a redução de oxigênio e a ação dos microrganismos transformam a matéria orgânica em biogás, chamado biogás de aterro (SANTOS; LIMA, 2016).

Apesar de ser considerado uma opção mais adequada de disposição final quando comparado a aterro controlado e lixão, o uso de aterros sanitários como principal método de disposição parece também não solucionar, a longo prazo, as dificuldades inerentes ao tratamento e disposição de resíduos. Apresentam limitações como tempo de vida razoavelmente curto e dificuldade na obtenção de locais adequados para sua implantação próxima a centros urbanos, resultando em instalações cada vez mais distantes da origem da geração e, conseqüentemente, no aumento do custo da logística do aterramento dos resíduos. Os aterros

⁴ Os demais resíduos gerados nos estabelecimentos de saúde, indústrias, construção civil, comércio e prestadores de serviços, ou aqueles provenientes de grandes geradores, possuem classificação específica conforme sua fonte, devendo ter tratamento diferenciado e não são contabilizados nas estatísticas de RSU do país.

⁵ Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/emdiscussao/edicoes/residuos-solidos/mundo-rumo-a-4-bilhoes-de-toneladas-por-ano>. Acesso em: agosto de 2017.

sanitários ainda geram impactos negativos a curto, médio e longo prazo, como emissões difusas de metano pela decomposição dos resíduos, produção de chorume (lixiviado) contaminando solo e lençóis freáticos, desvalorização de zonas urbanas, contínua demanda por novas áreas, entre outros fatores, que resultam em significativos impactos econômicos para os municípios (ABRELPE, 2013).

Uma alternativa que tem grande possibilidade de mitigar os impactos ambientais e socioeconômicos associados ao aterramento indiscriminado de resíduos é a instalação de plantas de biogás para tratamento de RSU, via digestão anaeróbia para os resíduos orgânicos com a utilização de biodigestores. Entre os principais benefícios, podem-se mencionar (GOMES et al., 2016):

- Mitigação da poluição atmosférica⁶, hídrica e do solo;
- Ampliação da reciclagem, uma vez que as usinas de tratamento biológico do RSU demandam a segregação prévia de materiais recicláveis e impróprios ao processo de digestão anaeróbia.
- Aumento da vida útil dos aterros sanitários e consequente redução de demanda por novas áreas, devido a redução do volume de lixo destinado a esses aterros que receberiam, majoritariamente, rejeitos;
- Redução dos custos com logística e manejo do RSU, na medida que projetos de biogás no setor de RSU podem ser instalados de forma descentralizada e próximos aos centros urbanos.

A tabela 3 a seguir, ao apresentar o teor de metano do biogás de aterro e biogás de biodigestores e os respectivos valores de poder calorífico inferior, permitem analisar o potencial energético e comparar as duas formas de obtenção do biocombustível a partir de digestão anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos.

Parâmetros	Unidades	Biogás de aterro	Biogás de biodigestor
CH ₄	% mol	35 – 60	60 – 70
Poder calorífico inferior	Mj/N m ³	16	23

Tabela 3 Propriedade e composição do BA e BD
Fonte: SUN, 2015

⁶ No tratamento anaeróbio, o biogás é gerado em um sistema fechado e torna-se passível de utilização energética, reduzindo as emissões de GEE no setor, diferente do que ocorre nos aterros sanitários, onde até 40% do metano é emitido para a atmosfera de forma difusa, caso não haja coleta e tratamento do biogás gerado.

Como pode ser observado, o biogás gerado em biodigestores, além dos benefícios anteriormente mencionados, apresenta maior quantidade de metano em sua composição e, conseqüentemente, maior potencial energético, confirmado pelo maior poder calorífico inferior, quando comparado ao biogás de aterro.

2.4.2 Tratamento de Efluentes Líquidos

Os efluentes líquidos municipais são provenientes do esgoto sanitário, isto é, despejo líquido constituído de esgoto doméstico, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária⁷. São substâncias poluentes que, se lançadas na natureza sem o devido tratamento, causam sérios danos ao ecossistema dos rios, lagos, córregos e oceanos. Além de conter organismos patogênicos, são compostos por nutrientes como o nitrogênio e o fósforo que, quando em alta concentração, causam a proliferação de algas, prejudicando a respiração dos peixes, que morrem por asfixia, provocando sérios desequilíbrios ambientais.

Como forma de preservação do meio ambiente e da saúde pública, a coleta e tratamento dos efluentes são fundamentais. Como subprodutos do processo de tratamento anaeróbio de efluentes tem-se o biogás e o lodo. Este último, muitas vezes caracterizado como um resíduo passível de aterramento, também ser tratado via digestão anaeróbia, podendo se tornar fonte de energia em benefício da própria ETE, podendo em muitos casos produzir biogás suficiente para atender à demanda de energia necessária para a operação da planta (ROSA et al., 2013).

A aplicação de processos de metanização para o setor de efluentes líquidos ocorre, portanto, de duas formas, podendo ser diretamente no efluente, majoritariamente por meio da utilização de reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), ou por meio da metanização do lodo proveniente, principalmente, do tratamento via lodos ativados (GOMES et al., 2016).

2.4.3 Tratamento de Resíduos Agropecuários

A agropecuária consiste no conjunto de atividades primárias, estando diretamente associada ao cultivo de plantas (agricultura) e à criação de animais (pecuária) para o consumo

⁷ Esgoto doméstico: despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas; Água de infiltração: toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações; Contribuição pluvial parasitária: a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário.

humano ou para o fornecimento de matérias-primas na fabricação de roupas, medicamentos, biocombustíveis, produtos de beleza, entre outros. Suas atividades geram grande volume de resíduos e efluentes, que podem representar um potencial poluidor. Se dispostos de maneira inadequada, podem levar à poluição de solos e de corpos hídricos. Adicionalmente, tal atividade também é responsável por grande parte das emissões de gases de efeito estufa, em especial, o metano (CH₄), devido a devastação de florestas, processos de digestão do rebanho bovino e decomposição de suas fezes (SOUZA; LAGE FILHO, 2014). Só no Brasil, 22% das emissões brasileiras de 2016, aproximadamente 0,5 bilhões de toneladas de gás carbônico, vieram da agropecuária, sendo esta atividade a maior responsável pelas emissões do país, segundo dados da ONG Observatório do Clima.

Os resíduos e efluentes gerados no setor podem variar significativamente em função da atividade desenvolvida. Dentre os resíduos da agricultura, têm-se resíduos vegetais, silagem de pastagem, silagem de milho, silagem de sorgo, feno e etc.. Dentre os resíduos da pecuária, encontram-se os dejetos de bovino, de suíno, de aves, de ovinos e de equinos, por exemplo. Como os resíduos das atividades da agropecuária contêm elevada carga de material orgânico, este setor tem alto potencial de geração e aproveitamento do biogás, via tratamento anaeróbio. Um rebanho com dez mil cabeças de gado, por exemplo, poderia produzir biogás para geração de energia para uma cidade de mil habitantes (1,6 m³ biogás/residência/dia) (SOUZA; LAGE FILHO, 2014).

2.4.4 Tratamento de Resíduos Agroindustriais

A agroindústria engloba os segmentos que realizam as etapas de beneficiamento, processamento e transformações de matérias-primas provenientes da agropecuária. Suas atividades são responsáveis pela geração de resíduos e efluentes que, se dispostos de maneira inadequada, pode causar contaminação de solo, corpos hídricos, proliferação de doenças, entre outros. Entretanto, pelo fato de possuírem elevada carga orgânica, podem ser tratados via digestão anaeróbia, com consequente produção de biogás. A biodigestão configura, no setor, um importante vetor energético com grande versatilidade, pois suas características possibilitam que sua energia química seja convertida em energia elétrica, térmica e/ou veicular, auxiliando na variedade da matriz energética da própria agroindústria, e/ou nas comunidades vizinhas (FRITZ et al., 2016).

Dentre as indústrias deste setor, encontram-se os abatedouros, frigoríferos, indústrias de biodiesel, laticínios, bebidas, sucroalcooleira, entre outras. Por representar uma diversidade de atividades, o setor agroindustrial caracteriza-se pela grande variabilidade de substratos, que podem ser gerados e tratados, com graus de biodegradabilidade e potencial de produção de biogás diferentes, como: rúmen, conteúdo estomacal, sangue, glicerina, torta-de-filtro, vinhaça, entre outros. A Tabela 4 apresenta uma estimativa do potencial de produção de biogás a partir de alguns substratos disponíveis no setor agroindustrial, com destaque ao potencial dos abatedouros.

Parâmetro	Indústria de laticínios	Indústria de bebidas		Setor sucroenergético	Abatedouros		
		Cerveja	Refri.		Vinhaça	Suínos	Bovinos
Prod. de biogás / t	1,1 m ³ /t	1,6 m ³ /t	-	6 m ³ /t	18 m ³ /t	15 m ³ /t	-

Tabela 4 Potencial de produção de biogás
 Fonte: Adaptado de GOMES et al., 2016: pág 40

2.5 Armazenamento

As usinas de biogás, antes de poderem inserir em seus reatores de digestão anaeróbia os resíduos e efluentes para tratamento, em alguns casos, requerem uma infraestrutura específica para recebimento e armazenamento dos materiais destinados ao processo.

As estações de tratamento de esgoto, projetadas a receber uma vazão já conhecida, recebem o efluente diretamente em seus reatores por meio de tubulações de forma contínua, não necessitando assim de sistemas de armazenamento do substrato. Entretanto, o mesmo não ocorre com processos descontínuos, quando se trata de substrato sazonal ou mesmo quando há incidência de diferentes categorias de substratos, líquidos e sólidos, que precisam ser ministrados de forma controlada e programada para a alimentação da planta, necessitando assim de sistemas de armazenamento de substrato (GOMES et al., 2016).

Geralmente, o material líquido pode ser armazenado por dias, enquanto que material sólido por períodos de tempo mais longos, como meses ou mesmo anos, considerando a preservação do conteúdo energético. São utilizados lagoas de geomembrana, tanques de concreto, aço inoxidável ou aço vitrificado para armazenamento de substratos líquidos. Já no caso de resíduos sólidos, são comumente utilizados silos cobertos com membrana. Estes sistemas devem, além de considerar material que seja resistente a corrosão, prever um fluxo de

drenagem e escoamento no caso de geração chorume, que pode ser interligado ao reservatório de resíduos líquidos ou diretamente para o reator de metanização, de modo a garantir que não haja contaminações ambientais devido a possíveis vazamentos (GOMES et al., 2016).

Além do armazenamento dos substratos, também se faz necessário o armazenamento do biogás, visto que sua taxa de produção em uma planta não é constante, podendo variar por temporada ou até mesmo durante o dia. No caso de produção menor que a demanda, o qual se configura em um cenário de falta de produto, as operações de motores, turbinas a gás ou células combustíveis, por exemplo, podem ser interrompidas, prejudicando a geração de energia. Outros casos ocorrentes são o de excesso de produção e paradas da planta para manutenção. O armazenamento do biogás, portanto, permite a mitigação dos efeitos dessas flutuações (TRENDEWICZ; BRAUN, 2013). Os sistemas de armazenamento mais comumente utilizados são apresentados na tabela 5.

Pressão	Estocagem	Material
Baixa (0,138 – 0,414 bar)	Selo d'água	Aço
Baixa	Gás "bag"	Plástico, vinil, lona (borracha)
Média (1,05 – 1,97 bar)	Tanques de propano e butano	Aço
Alta (200 bar)	Cilindros comerciais de gás	Aço

Tabela 5 Sistemas de Armazenamento do biogás
Fonte: KAPDI, 2005

Caso o biogás armazenado ainda não seja suficiente para suprir a demanda, a suplementação pode ser feita com o gás natural, entretanto, este acarreta em aumento dos custos com combustível, além de diminuir o apelo econômico de energia renovável que o biogás possui (TRENDEWICZ; BRAUN, 2013).

2.6 Tratamento

O biogás e o material digerido, gerados no tratamento anaeróbio de matéria orgânica, devem passar por uma etapa de tratamento para que possam ser utilizados e/ou comercializados.

Por se tratar de uma mistura gasosa, o biogás apresenta uma série de impurezas que devem ser retiradas, conforme seu uso final, de modo atender as especificações técnicas dos equipamentos de conversão, preservando a segurança e integridade dos equipamentos, além de elevar a qualidade do produto. Pode-se dizer que existem três motivos principais para o

tratamento do biogás: atender as especificações necessárias para cada aplicação, aumentar o poder calorífico do gás e padronizar o gás produzido (SANTOS; LIMA, 2016). A tabela 6 apresenta exemplos de impurezas encontradas no biogás e seus respectivos impactos.

Impureza	Impacto
Água	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em compressores, tanques de armazenamento e motores devido a reação com H₂S, NH₃ e CO₂ formando ácidos; • Acumulação de água nas tubagens; • Condensação e/ou congelamento a pressões elevadas.
Poeiras	<ul style="list-style-type: none"> • Atascamento devido ao depósito em motores e tanques de armazenamento.
H ₂ S	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em compressores, tanques de armazenamento e motores; • Concentração tóxica de H₂S (>5 cm³/m³) permanece no biogás; • SO₂ e SO₃ são formados quando da combustão, os quais são mais tóxicos que o H₂S em conjunto com a água provocam corrosão.
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • Afeta o poder calorífico inferior.
Siloxanos	<ul style="list-style-type: none"> • Formação de SiO₂ e micro cristais de quartzo durante a combustão; • Depósito em velas de ignição, válvulas e caebças de cilindros provocando abrasão nas superfícies.
NH ₃	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosivo quando dissolvido em água.
Cl ₋₃	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em motores de combustão.
F-	<ul style="list-style-type: none"> • Corrosão em motores de combustão.

Tabela 6 impurezas e impactos do biogás
 Fonte: RYCKEBOSCH et al., 2011

Existe uma série de processos de tratamento dessas impurezas. Todas as tecnologias existentes possuem vantagens e desvantagens, não havendo uma solução ótima para todas as situações e necessidades. A escolha do tratamento mais adequado deve considerar fatores econômicos, processuais, especificações de qualidade e valores pretendidos do biogás. De forma geral, as partículas são removidas utilizando lavadores tipo torre, centrífugos ou venturi, a água pode ser removida com glicóis ou sílica gel, o ácido sulfídrico via processo seco de oxidação e processos de oxidação na fase líquida, o dióxido de carbono por processos de absorção física e química, separação por membranas ou por processos criogênicos, por exemplo (SALAZAR, 2014).

É o uso final do biogás que determina o sistema de condicionamento necessário, a fim de atingir determinada especificação exigida pelos sistemas de conversão, levando em consideração composição, umidade, pressão, contaminantes, gases inertes, ácidos, além do

poder calorífico. Tratando-se de usos menos nobres, como a combustão direta para geração de energia térmica, o processo de condicionamento do biogás é limitado à remoção do vapor de água e do gás sulfídrico de modo a evitar, principalmente a corrosão. No caso de utilização final mais nobre, como o biometano, é necessária a realização de um processo de purificação, visando ampliar a concentração de metano no biogás para elevação do poder calorífico, equiparando-o ao gás natural, o que possibilita seu uso em instalações comerciais, industriais e em veículos, resultando em um processo mais complexo (LOBATO, 2011).

A Figura 2 apresenta um esquema dos tratamentos necessários ao biogás conforme seu uso final.

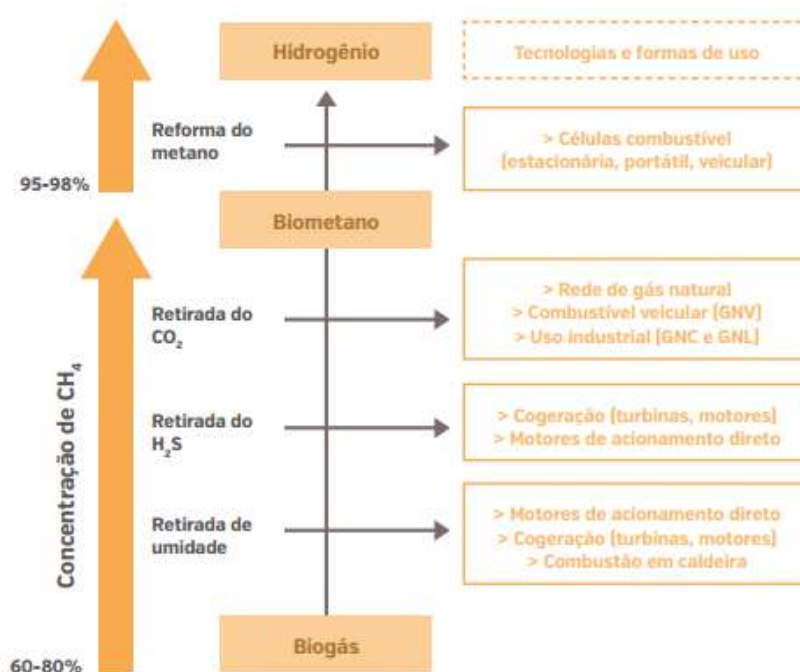


Figura 2 Tratamento conforme uso final
Fonte: GOMES et al., 2016: pág 58

No caso do digestado, para que possa ser utilizado como biofertilizante, ele também deve passar por etapa de pós tratamento, visando não só adquirir a qualidade desejada como também adequação a regulamentação pertinente ao produto, o que inclui os limites de agentes fitotóxicos e patógenos em geral, além de valores máximos para metais pesados, tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidos para estes produtos.

Conforme apresentado por Gomes et al. (2016), os tratamentos aplicáveis ao digestado, representados na figura 3, variam em função do teor de umidade do material, da tecnologia de metanização utilizada e do uso final desejado. Caso o digestado apresente consistência sólida, a separação sólido-líquido não é necessária, reduzindo os custos operacionais e a geração de

efluente líquido. O material é direcionado a processos de compostagem (digestão aeróbia), refino, remoção final de materiais inertes e possível adição de nutrientes, etc. Já no caso de o material digerido apresentar consistência líquida, é necessária uma etapa prévia de desaguamento antes da estabilização final da fase sólida, gerando assim efluentes que poderão ser empregados como biofertilizante líquido.

Além dos processos citados, os materiais digeridos provenientes de substratos como esgoto, lodo sanitário, resíduos sólidos urbanos e de origem animal podem demandar processos de desinfecção prévios, para a eliminação de coliformes fecais e parasitas. Este processo de higienização pode ser feito por meio de tratamento térmico antes ou depois da digestão anaeróbia ou também via compostagem térmica. No caso dos resíduos sólidos urbanos, devido a sua heterogeneidade, exigem ainda o peneiramento após a estabilização final, visando à remoção de impróprios.

Caso não seja possível aproveitamento do material digerido, seja por questões logísticas de distribuição ou legais, este deve ser direcionado a possíveis destinações finais seja como CDR (Combustível Derivado de Resíduos) direcionado para co-processamento (incineração) em fornos de cimento, por exemplo, para produção de energia térmica ou envio ao aterro sanitário. Já a fração líquida, em caso de não haver escoamento como fertilizante, deve ser direcionada a um sistema de pós-tratamento ou, então, descartada na rede coletora de esgoto, mediante o pagamento do serviço de coleta e tratamento à companhia local.



Figura 3 Processos de pós-tratamento do material digerido conforme tecnologia de metanização e uso previsto
 Fonte: GOMES et al., 2016: pág 65

2.7 Aplicações e Potencial de Comercialização

A digestão anaeróbia da matéria orgânica presente em resíduos e efluentes resulta na produção de biogás, produto principal do processo, passível de utilização energética variada, como energia elétrica, térmica e biometano. É possível obter também, nos processos de metanização e tratamento, alguns subprodutos, como: biofertilizante, dióxido de carbono, hidrogênio e créditos de carbono. Além dos benefícios ambientais, os produtos gerados podem ser consumidos na própria unidade, possibilitando redução de custos, ou ainda comercializados, resultando em fontes de receita ao empreendimento.

2.7.1 Energia Elétrica e Térmica

Diferentes tecnologias podem ser utilizadas para simplesmente gerenciar ou para se aproveitar do conteúdo energético do biogás, conforme a Tabela 7.

Aplicação	Tecnologia
Combustão direta, sem recuperação de energia.	<ul style="list-style-type: none">• Queimadores abertos• Queimadores fechados
Combustão direta, com geração de calor.	<ul style="list-style-type: none">• Caldeiras• Secadores térmicos
Geração combinada ou simples de eletricidade e calor.	<ul style="list-style-type: none">• Motores de combustão interna• Turbinas• Microturbinas

Tabela 7 Tecnologias de gerenciamento do biogás
Fonte: Adaptado de LOBATO, 2011: pág 56

Segundo Lobato (2011), a combustão direta, sem recuperação de energia, é realizada por meio de queimadores abertos ou fechados, dispositivos que possibilitam a ignição e a queima de gases. Trata-se de uma forma de gerenciar a emissão do gás formado no processo, de modo a reduzir a poluição ambiental, visto que o biogás é composto majoritariamente por metano, com potencial poluidor 23 vezes superior ao gás carbônico, além de reduzir os riscos de explosão. Entretanto, essa alternativa não aproveita o poder calorífico do metano e desperdiça sua energia que poderia ser utilizada de maneira mais nobre.

Outra alternativa seria o aproveitamento do biogás como energia térmica. Por meio da combustão direta em caldeiras ou secadores térmicos, os gases gerados com a sua combustão

aquecem e vaporizam a água, gerando energia térmica, em substituição a combustíveis convencionais como o gás natural, óleo combustível ou carvão, por exemplo. Cabe ressaltar que a combustão direta do biogás é similar à queima de um gás natural diluído, visto que no caso da combustão direta, o biogás apresenta menor conteúdo energético em comparação ao gás natural. Além disso, sem as etapas de tratamento, o biogás ainda contém substâncias corrosivas. Assim, a combustão direta de biogás resulta na necessidade de revestimento anti-corrosivo, além de modificações no sistema de alimentação e de queima de combustível nos equipamentos, de modo a possibilitar o processamento de uma vazão maior de gás e garantir um valor calorífico equivalente ao do gás natural.

Há ainda a possibilidade de geração de energia elétrica⁸ a partir do biogás, utilizando equipamentos como motores de combustão interna, turbinas a gás e microturbinas, em substituição a óleo diesel, gasolina, gás natural, por exemplo. Por mais eficiente que seja o processo de transformação da energia de um combustível em energia elétrica, grande parte da energia contida nesse combustível é transformada em calor e perdida para o meio ambiente. Uma forma de aumentar a eficiência energética do processo de geração de eletricidade é aproveitar também o calor gerado para uma aplicação secundária, através da cogeração. A figura 4 representa um grupo gerador, composto por um motor a combustão interna acoplado a um gerador elétrico, também conhecido como CHP (Combined Heat and Power), o qual apresenta eficiência energética média de 90% da energia contida no gás (GOMES et al., 2016).

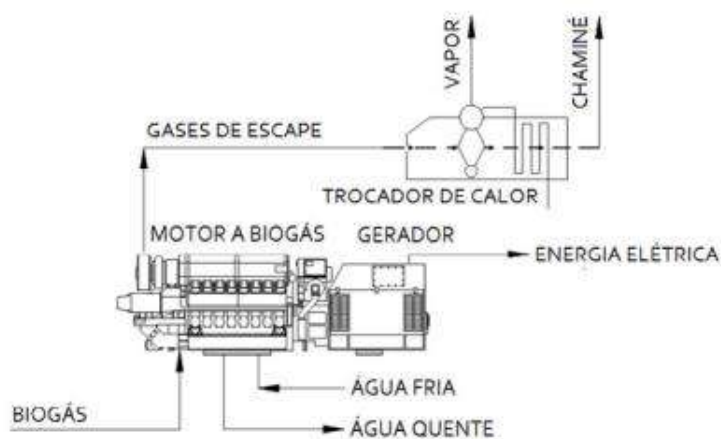


Figura 4 Esquema de funcionamento de um CHP
Fonte: GOMES et al., 2016: pág 59

⁸ Apesar dos diversos usos possíveis, atualmente o biogás é utilizado principalmente para a geração de eletricidade (LOBATO, 2011)

Dentre as vantagens da produção de energia elétrica a partir do biogás, pode-se citar: a possibilidade de geração descentralizada, próximo da fonte consumidora; redução no consumo de eletricidade suprida externamente; possibilidade de receita adicional com a comercialização de excedente, de acordo com as regras do sistema regulador do mercado de energia elétrica; potencial de uso em processos para a cogeração de eletricidade e calor; redução das emissões de metano (ROSA et al., 2013). É importante destacar que a geração de energia elétrica a partir do biogás é estocável, o que representa uma grande vantagem com relação às demais novas fontes renováveis, como a eólica e solar, que são intermitentes e trazem grande complexidade em sua integração com o sistema elétrico.

2.7.2 Biometano

O biogás, ao passar por etapas de purificação, com remoção de impurezas e aumento da concentração do metano acima de 95% em sua composição, é transformado em biometano, passível de aproveitamento energético ainda mais nobre, pois reúne características para ser intercambiável com o gás natural em todas as suas aplicações. A purificação permite a obtenção de um gás com poder calorífico maior, qualidade constante, e, devido a remoção de CO₂, H₂S, NH₃, material particulado e água, evita que as instalações sejam danificadas devido à corrosão, danos mecânicos e entupimento (ZANETTE, 2009).

Ao atingir as especificações da qualidade, equiparando-se ao gás natural, de acordo com as normas do país onde será utilizado, o biometano pode ser injetado na rede de distribuição de gás natural a ser utilizado por instalações comerciais e residências. O biometano pode também ser utilizado como combustível em instalações industriais ou como combustível veicular, substituindo diesel, gasolina, gás natural veicular (GNV), dentre outros combustíveis fósseis (GOMES et al., 2016).

2.7.3 Dióxido de Carbono

Segundo Heinz (2015), durante o processo de purificação do biogás para obtenção do biometano ocorre a obtenção do CO₂, como um subproduto que pode ser armazenado e comercializado para ser aproveitado em diferentes processos industriais de diversos setores, com grau de pureza exigido variado. Deste modo, o CO₂ deixa de ser classificado como um

resíduo, tornando-se um recurso, um produto valorizado. Os principais ramos industriais, cada qual com suas especificações e exigências, onde é possível utilizar o CO₂ são:

- Indústria de alimentos para o congelamento e conservação com atmosfera modificada de alimentos, como por exemplo: frigoríficos, laticínios, indústrias de peixes, panificadoras, hortifrutis, etc.;
- Indústria de bebidas e refrigerantes para a carbonatação;
- Indústrias frigoríficas para a insensibilização⁹ de animais;
- Embalagens de diferentes materiais com atmosfera modificada, como por exemplo: equipamentos eletroeletrônicos, equipamentos médicos/hospitalares, cosméticos, itens de supermercados e restaurantes, etc.;
- Indústria de polímero na expansão de espuma de poliuretano (PU Foaming);
- Indústria de papel e celulose para controle do pH;
- Combate ao fogo no enchimento de extintores de incêndio;
- Refrigeração industrial, para supermercados e sistemas de ar-condicionado.

2.7.4 Hidrogênio

O biometano pode ainda ser utilizado como insumo para a obtenção do hidrogênio, substância que possui o maior poder calorífico, ou seja, quantidade de energia por unidade de massa, quando comparado a qualquer outra substância conhecida (121.000 kJ/kg). O hidrogênio pode ser utilizado em células combustíveis, tecnologia que transforma a energia química do combustível diretamente em eletricidade. Esse processo é caracterizado pela alta eficiência, podendo chegar a 60% no caso do hidrogênio, e baixas emissões, visto que não há necessidade do processo de combustão. Como a demanda mundial por hidrogênio vêm aumentando cada vez mais, o biogás se apresenta como uma boa fonte de matéria prima para sua produção através de reformadores, que utilizam para tal, processos catalíticos a altas temperaturas (ALVES et al., 2013).

⁹ A insensibilização tem o objetivo de fazer com que o animal fique inconsciente no abate, para que este possa ser abatido de forma eficiente, sem lhe causar dor e angústia.

2.7.5 Crédito de Carbono

A coleta e o aproveitamento energético do biogás como descrito acima, além de permitirem a redução de custos com autoconsumo de eletricidade, calor e combustível e geração de receita com a venda de excedentes, contribui para a redução das emissões de gases do efeito estufa. Essa redução de emissão, quando certificada, também pode ser comercializada como crédito de carbono. Desta forma, usinas de biogás podem ainda se beneficiar com receitas extras à atividade fim do empreendimento, graças à venda de crédito de carbono tanto no mercado internacional como nacional, conforme legislação vigente de cada país. O impacto que a geração de créditos de carbono resulta para a empresa, não está apenas no econômico-financeiro, mas também na sobrevivência das organizações no atual cenário em que a própria sociedade cobra atitudes mais sustentáveis (BASSO; BERTAGNOLLI; SANTOS, 2017).

2.7.6 Biofertilizante

O processo de metanização dos resíduos e efluentes resulta não só no produto principal, o biogás, mas também no material digerido como subproduto. Este último, rico em nutrientes, também pode ser utilizado como biofertilizante. O nitrogênio¹⁰, por exemplo, componente essencial para crescimento de plantas, contido nos restos de cultura, é praticamente todo conservado após a digestão anaeróbica (FERRAZ; MARRIEL, 1997). Sendo assim, o biofertilizante pode ser reaproveitado na própria propriedade, principalmente nos setores agropecuário e agroindustrial, ou vendido. Sua utilização agrega valor ao processo produtivo ao promover a redução do consumo de fertilizantes de origem fóssil, o que melhora a sustentabilidade da cadeia produtiva e reduz custos.

O biofertilizante pode ser definido como o produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas¹¹, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando sua produtividade, sem ter em conta seu valor hormonal ou estimulante (CRUZ et al., 2017). Trata-se de um adubo orgânico que complementa a adubação orgânica natural do solo, fornecendo os nutrientes fundamentais para as plantas,

¹⁰ A formulação básica dos fertilizantes é uma combinação de três elementos químicos chamados de macronutrientes para as plantas: nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K).

¹¹ São produtos utilizados na agricultura para controlar insetos, doenças, ou plantas daninhas que causam danos às plantações, que, se aplicados de forma incorreta, podem ser prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana e animal.

além de auxiliar no controle de doenças e insetos. Quando comparado a fertilizantes tradicionais, o biofertilizante apresenta vantagens quanto à eficiência, sustentabilidade e economia.

Devido a sua maior facilidade de utilização pelos microrganismos do solo em função do seu elevado grau de decomposição, o biofertilizante propicia uma resposta mais rápida, com nutrição equilibrada do solo e aproveitamento mineral maximizado pelos cultivos. Uma vez que são melhor alimentadas e fertilizadas, as plantas cuidadas com biofertilizante apresentam melhor qualidade, mais duração e uma maior resistência a pragas, doenças e fungos. Além disso, o manejo do solo através do uso de biofertilizantes contribui com a mitigação da contaminação do solo e dos recursos hídricos, visto que reduz o escoamento superficial de defensivos químicos agrícolas. Adicionalmente, sua utilização promove a racionalização de fertilizantes químicos de origem fóssil, melhorando a sustentabilidade da cadeia produtiva e mitigando índices de emissões associadas a esta cadeia de insumos. Quanto à vantagem econômica, é importante ressaltar que o uso do biofertilizante faz uso de matéria prima já disponível em sua propriedade, reduzindo custos com compra de agrotóxicos caros e minimiza despesas com a revitalização da terra danificada por defensivos agrícolas (SOUZA; LAGE FILHO, 2014).

3. MODELOS DE NEGÓCIOS PARA O BIOGÁS

Em análises de casos existentes no mundo, observa-se que a criação de um modelo de negócios é uma etapa fundamental de projetos de biogás e contribui para torná-los viáveis, com perfis práticos, rentáveis e ambientalmente corretos (PICA; TONIELO, 2015). Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos de modelo de negócios e aplicá-los à dinâmica do biogás.

3.1 Conceituação de modelo de negócios

Um modelo de negócios descreve a estrutura de criação, entrega e captura de valor por parte de uma organização, como descrito por Teece (2010). Em outras palavras, o modelo articula a lógica do negócio, demonstra como valor é criado e entregue aos *stakeholders*, através de processos que vão desde a matéria-prima até o consumidor final, e descreve estrutura de receitas, custos e lucros associados a empresa. O projeto e a execução de bons modelos de

negócios envolvem avaliar não só fatores internos como também fatores externos - clientes, fornecedores e o ambiente de negócios.

Segundo Chesbrough (2010), modelos de negócios representam a maneira pela qual empresas comercializam suas ideias e tecnologias. Sua importância é tanta que, conforme observado, se um mesmo produto ou serviço for apresentado ao mercado por meio de modelos de negócios diferentes, levará a resultados econômicos diferentes.

Apesar de sua importância, modelos de negócios só ganharam relevância nas últimas décadas. Antigamente, as empresas inseriam toda a sua propriedade intelectual e tecnologia em um único produto vendido. Entretanto, a evolução na economia mundial mudou o equilíbrio entre cliente e fornecedor. Novas tecnologias de comunicação, computação e, principalmente, a globalização, significam maior variedade e opções de escolha para o cliente, resultando na necessidade de os empreendedores repensarem seus modelos de negócio, dando maior foco ao cliente, reavaliando as propostas de valor apresentadas, além de buscar a melhor forma de capturar valor e reduzir custos (TEECE, 2010).

Ainda de acordo com Teece (2010), a essência de um modelo de negócios está justamente na definição do modo pelo qual a empresa proporciona valor aos clientes, os estimula a pagar pelo valor e converte esses pagamentos em lucro. Reflete, então, hipóteses sobre o que os clientes querem, como querem, e como a empresa pode se organizar para melhor satisfazer essas necessidades, define a maneira como a empresa vai ao mercado, sua cadeia de valor e descreve a lógica necessária para obter lucro. O modelo de negócios incorpora nada menos do que a “arquitetura” organizacional e financeira do negócio. Pode ser incorporado a um plano de negócios, demonstrações de resultados e projeções de fluxo de caixa, mas, claramente, consiste em um modelo mais conceitual do que financeiro propriamente dito (TEECE, 2010).

Segundo Chesbrough e Rosenbloom (2002), um modelo de negócios cumpre as seguintes funções:

- Define a proposta de valor do produto aos seus usuários;
- Identifica o segmento de mercado alvo;
- Define a estrutura da cadeia de valor necessária para criar e distribuir o produto e os ativos complementares necessários;
- Detalha o mecanismo de geração de receita;
- Estima os custos e o potencial lucro, de acordo com a proposta de valor e a estrutura da cadeia de valor;

- Descreve a posição da empresa em sua relação com fornecedores e clientes, identificando potenciais parceiros e concorrentes;
- Formula estratégia competitiva a qual garante vantagem sobre os concorrentes.

A cadeia de valor, frequentemente mencionada pelos autores, é conceituada por Michael Porter como o conjunto de ações desempenhadas por uma empresa desde o relacionamento com os fornecedores até a distribuição final e venda dos produtos. Considerando a empresa como um sistema, existe uma série de funções e atividades, interdependentes e interligadas para a geração de produtos e serviços aos clientes. A maneira como as atividades dessa cadeia são realizadas determina os custos e afeta os lucros. A cadeia de valor é, portanto, a base do modelo de negócios (REZENDE, 2015).

Os elementos da cadeia de valor são divididos em atividades primárias, atividades de apoio e margem, onde atividades primárias relacionam-se diretamente com a criação física, venda, manutenção e suporte de um produto ou serviço e atividades de apoio ajudam as atividades primárias, buscando obter margem no negócio, como pode ser visto na figura 5. Uma firma ganha vantagem competitiva executando estas atividades estrategicamente importantes com menores custos ou com diferenciação reconhecida pelos seus clientes em relação à sua concorrência (REZENDE, 2015; TONDOLO; SCHNEIDER, 2005).



Figura 5 Cadeia de Valor
 Fonte: REZENDE, 2015; TONDOLO; SCHNEIDER, 2005

Uma metodologia muito utilizada ultimamente por empresas inovadoras¹² para desenvolver e esboçar o modelo de negócios de maneira fácil e visual é a sugerida por Osterwalder, chamada Canvas. A ferramenta auxiliar, chamada de Quadro de Modelo de Negócios (Anexo B), se apresenta como um mapa com 9 campos, listados abaixo, representando as hipóteses que devem ser testadas sempre pela empresa e alteradas, caso seja necessário (OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010):

- Proposta de valor: define agregação ou conjunto de benefícios que uma empresa oferece aos clientes. O que a empresa vai oferecer para o mercado que realmente terá valor para os clientes? Que problema está sendo resolvido? Quais necessidades estão sendo resolvidas?
- Segmentos de Cliente: define os diferentes grupos de pessoas ou organizações que uma empresa busca alcançar e servir. Quem são os consumidores mais importantes?
- Atividades-chave: descreve as ações mais importantes que uma empresa deve realizar para fazer seu Modelo de Negócios funcionar, que irá consistir no produto ou serviço ofertado para entregar a Proposta de Valor?
- Parcerias estratégicas: que rede de fornecedores e parceiros (terceiros) ajudarão a compor melhor essa oferta? Algumas atividades são terceirizadas e alguns recursos são adquiridos fora da empresa.
- Fontes de receita: como a empresa cobra por sua proposta de valor? Pagamento único? Renda constante? Que valor cada Segmento de Clientes está realmente disposto a pagar? Quem paga é o usuário/cliente final ou anunciante? Qual mecanismo de precificação?
- Estrutura de custos: descreve todos os custos envolvidos na operação que faz o negócio rodar.
- Principais recursos: descreve os recursos mais importantes exigidos para fazer um Modelo de Negócios funcionar; podem ser físicos, financeiros, intelectuais ou humanos; podem ser possuídos ou alugados pela empresa ou adquiridos de parceiros-chave. Qual a infraestrutura, recursos ou serviços de base?

¹² Uma empresa inovadora é aquela que implanta uma inovação durante o período de análise, podendo ser um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas.

- Canais de comunicação, distribuição e venda: descreve como uma empresa se comunica e como o produto alcança seus Segmentos de Clientes para entregar uma Proposta de Valor.
- Relacionamento com o cliente: Descreve os tipos de relação que uma empresa estabelece com Segmentos de Clientes específicos. Qual estratégia de relacionamento para conquistar/reter clientes?

Ao estabelecer um modelo de negócio, é provável que haja incerteza em relação à todos as questões acima. Há uma infinidade de possibilidades: alguns serão muito melhor adaptados às necessidades do cliente e ambientes de negócios do que outros. Um bom modelo de negócios produz proposições de valor que são atraentes para os consumidores/usuários e configura sistemas rentáveis para satisfazê-los com a qualidade necessária e a preços aceitáveis (TEECE, 2010).

Estruturar corretamente um negócio, descobrir, implementar e refinar mecanismos de receita e custos que sejam viáveis comercialmente, são tarefas críticas ao dono do negócio. Decepções podem surgir quando um modelo de negócios é construído, mas as taxas de sucesso podem ser melhoradas se os desenvolvedores do modelo de negócios aprenderem rapidamente, e forem capazes de ajustá-lo e ainda produzir um lucro satisfatório (TEECE, 2010).

Manter o modelo viável é uma questão contínua. Alta tecnologia, produto de qualidade, pessoas bem qualificadas, boa governança e liderança somente resultarão em um negócio sustentável se a configuração do modelo estiver adaptada ao ambiente competitivo atual. Chesbrough (2010) menciona que a tecnologia ou a ideia por si só não tem valor econômico para a empresa até que seja comercializado por meio de um modelo de negócio, sendo este tão importante quanto à inovação tecnológica, visando sempre manter a competitividade e lucratividade do negócio (REGO, 2014; CHESBROUGH, 2010).

3.2 Modelos de negócios para aproveitamento do biogás

Uma vez apresentadas as definições e principais componentes de um modelo de negócios, este tópico tem como objetivo, a partir da revisão bibliográfica realizada no capítulo 2, aplicar tais conceitos à realidade do biogás, descrevendo, de forma simplificada e qualitativa, como modelos de negócios podem ser estruturados em torno do biogás, com foco na criação de valor. Serão abordados, portanto, os seguintes componentes de um modelo de negócios:

proposta de valor, fornecedores de matéria prima, atividades-chave da cadeia de valor, fontes de receita, clientes, canais de distribuição e possíveis custos.

Como mencionado anteriormente, a proposta de valor envolve os benefícios que uma empresa oferece para seus clientes e que têm valor reconhecido por eles. Um produto tem valor se estiver resolvendo algum problema ou atendendo a necessidades específicas. Cada possível produto a ser comercializado em virtude do tratamento anaeróbio de matéria orgânica oferece propostas de valor diferentes. Dentre elas, conforme abordado no capítulo 2, pode-se citar: fornecimento de energia elétrica, de energia térmica, de biometano como combustível veicular, comercial, residencial e industrial, de hidrogênio, de dióxido de carbono, de crédito de carbono e de biofertilizante.

Em geral, para todos os segmentos de clientes, além da proposta de valor principal, atribuída ao uso final dos produtos acima mencionados, o valor da sustentabilidade da fonte é um atributo importante, apesar de ainda não ser devidamente valorizado. Caso o fosse, como se trata de um produto baseado no gerenciamento de resíduos e efluentes danosos ao meio ambiente e na redução da emissão de gases poluentes, quando comparada à obtenção desses mesmos produtos de origem fóssil, teria importante vantagem competitiva. Dentre as maiores oportunidades oferecidas pela transformação do biogás, a imagem da responsabilidade ecológica é um atrativo para os operadores da rede de gás, fornecedores de gás, proprietários de frotas de veículos, distribuidores de combustíveis, agroindústrias, proprietários rurais e empresas de investimento, por exemplo.

No caso do autoconsumo, quando o consumidor final é o próprio produtor, existe ainda uma proposta de valor complementar de redução de gastos, seja com fertilizantes químicos, energia elétrica, diesel ou gás natural, por exemplo, visto que o produtor pode usufruir desses mesmos produtos a partir do que já tem disponível em sua propriedade, sem precisar comprar de um fornecedor externo.

Para o governo, os estímulos aos investimentos em empreendimentos de biogás têm como propostas de valor o correto gerenciamento de resíduos e efluentes, a redução da emissão de gases do efeito estufa e, no caso de aplicação energética, a distribuição descentralizada, aumentando a segurança na oferta de energia nacional, além de tornar a matriz mais limpa.

Para que o valor proposto possa ser criado e entregue ao cliente, existe uma cadeia de valor necessária para criar e distribuir o produto através de processos que vão desde a matéria-prima até o consumidor final. Dentre as possíveis matérias-primas do processo, podem-se utilizar resíduos sólidos urbanos, efluentes municipais, resíduos e efluentes agropecuários e

agroindustriais. Os fornecedores dessas matérias primas são as prefeituras, proprietários rurais e agroindústrias, respectivamente.

Até que essas matérias-primas sejam processadas são necessárias algumas atividades-chave que devem ser realizadas para fazer o modelo de negócios funcionar, como: transporte do ponto de geração até a usina de metanização, armazenamento, triagem e condicionamento dos substratos até que sejam inseridos no biodigestor, do qual são obtidos o biogás e o material digerido. O gás obtido, então, passa por processos de tratamento, dependendo do produto final a ser utilizado ou comercializado, e o material digerido é condicionado até atingir a qualidade necessária de um biofertilizante ou então transportado para destinação final.

As diferentes etapas da cadeia podem ser controladas por apenas uma empresa ou por diferentes empresas ao longo da cadeia. Quando se trata de resíduos sólidos urbanos ou esgotos municipais, por exemplo, geralmente o gerador não é responsável pelo transporte até a usina de biogás, pela triagem, pelo tratamento, comercialização e distribuição dos produtos. Diferentemente do que ocorre geralmente com proprietários rurais, sendo responsáveis pela cadeia desde a geração de resíduos e efluentes, pela biodigestão, tratamento do biogás e geração dos produtos, por exemplo.

A captura de valor depende fortemente dos mecanismos de receita e custos. Dentre os custos da cadeia, podem-se citar os custos operacionais com transporte de matéria-prima, sistemas de captação e tratamento do biogás, geradores de energia elétrica, sistema de sucção e queima do biogás quando necessário, manutenção, mão-de-obra, impostos, entre outros. Caso os produtos gerados sejam consumidos no próprio processo, esses custos podem ainda ser reduzidos.

Em relação à geração de receitas, suas fontes, canais de distribuição e os segmentos de mercado alvo podem ser diversos. Pode-se obter receita logo no início da cadeia, no recebimento das matérias-primas, quando o gerador de resíduos e efluentes não é o produtor de biogás. Nesse caso, fornecedores de matéria prima como prefeituras, agroindústrias ou proprietários rurais, pagam às usinas de biogás pelo serviço de tratamento anaeróbio dos resíduos e efluentes, proporcionando a correta destinação dos mesmos e cumprimento de legislações ambientais.

Pode-se gerar receita também com a venda dos produtos gerados ao final do processo. O biogás pode ser tratado e transformado em energia elétrica, que pode ser vendida a distribuidoras de energia elétrica, por exemplo. Em uma usina que invista em processos mais refinados de tratamento e purificação do biogás, pode-se obter o biometano, que pode ser

comercializado como gás de cozinha por meio de botijões de gás comprimido ou injetado em redes de gás canalizado, atendendo a domicílios ou indústrias. Além disso, ele pode ser vendido como combustível veicular a distribuidores, como postos de gasolina.

No caso de modelos de negócios que visa a produção de biometano, o empreendedor pode obter receita também com a venda de dióxido de carbono, subproduto obtido no processo de purificação. Como explicitado no capítulo 2, dentre os possíveis clientes de CO₂, pode-se citar: indústria de alimentos, de bebidas e refrigerantes, frigoríficas, de polímero; de papel e celulose, e etc. Pode-se mencionar também a venda do hidrogênio, obtido a partir de biometano, que pode ser utilizado para produção e venda de energia elétrica a partir de células combustível. Nesse caso, o produtor de biogás pode ser o consumidor final, onde ele próprio gera o hidrogênio e utiliza-o em células combustíveis próprias, ou pode vendê-lo.

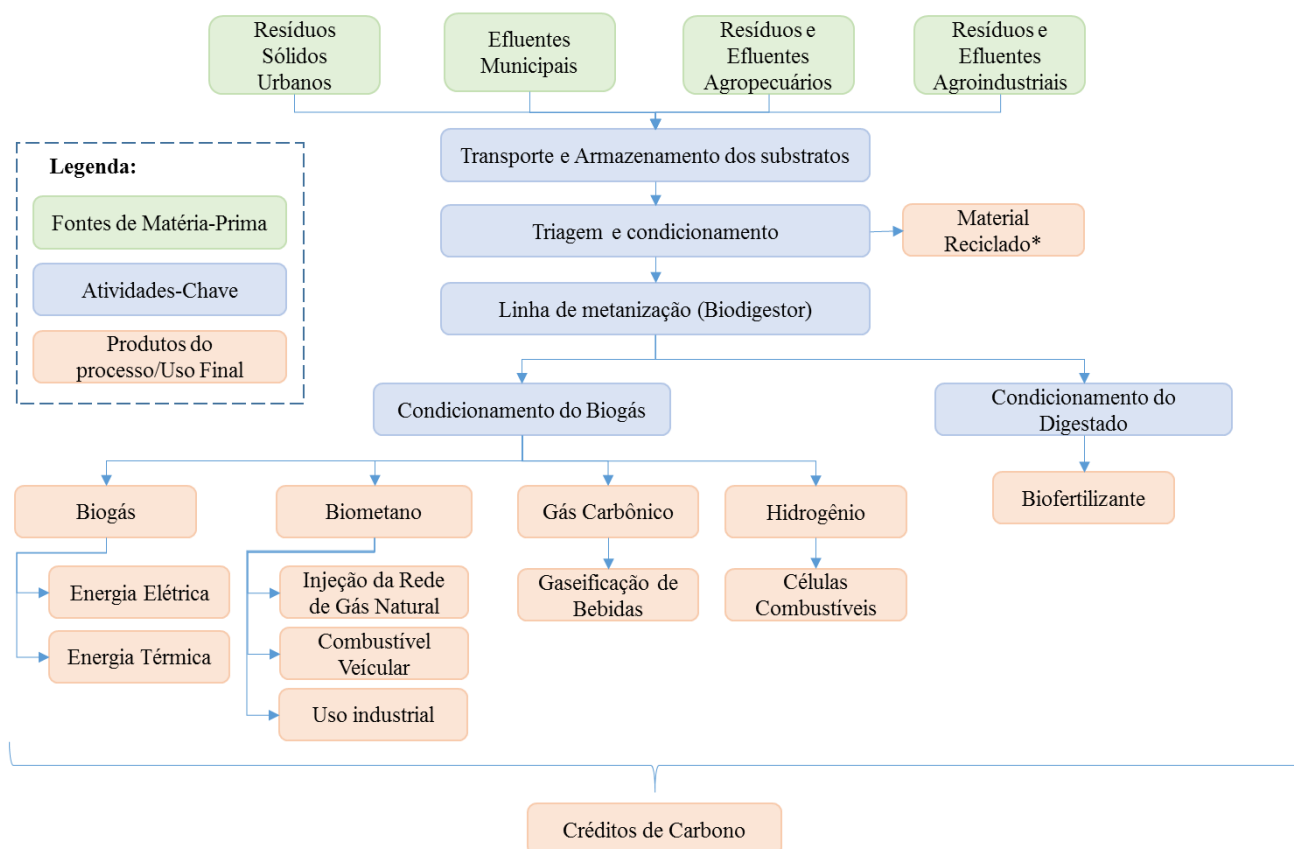
Há também outros subprodutos do processo que podem ser comercializados, representando fontes de receita adicionais, independente se o biogás for utilizado para geração de eletricidade ou biometano. É o caso do material digerido, que também pode ser tratado e vendido a produtores rurais para uso como biofertilizante. Uma outra possibilidade a ser considerada é quando a usina de biogás recebe resíduos sólidos urbanos e realiza uma etapa de triagem antes da biodigestão. Neste caso, pode-se separar o material reciclado, o qual pode ser posteriormente vendido a usinas de reciclagem. Existe ainda uma fonte de receita extra com a transação de um produto intangível, um ativo financeiro, que são os títulos representativos do êxito de cada país no controle de emissões. Um grande benefício bastante atrativo para quem vende crédito de carbono é a vinculação da idéia “sustentável” à sua marca, agregando valor a seus produtos e diferenciando-os, cumprindo sua responsabilidade social ambiental (ALVES, OLIVEIRA, LOPES, 2013).

Cabe ressaltar que muitos dos produtos aqui citados, além de poder gerar receita com a venda a terceiros, ainda podem proporcionar redução de custos, no caso do autoconsumo. A eletricidade e a energia térmica geradas podem ser utilizadas no próprio processo de metanização, em equipamentos da agroindústria ou na própria propriedade rural, além das áreas administrativas da usina. Pode-se, também, consumir energia térmica nos próprios processos de secagem e higienização do lodo em ETEs, na secagem de grãos e no aquecimento/resfriamento de unidades de confinamento de animais. O biofertilizante pode ser autoconsumido nos modelos de negócios que utilizam resíduos e efluentes agropecuários e agroindustriais, de modo a promover a redução do consumo de fertilizantes de origem fóssil e de custos. O biometano pode ser consumido como gás de cozinha do produtor rural ou como

combustível veicular na própria frota de caminhões de coleta de RSU, frota cativa da agroindústria ou na própria frota das propriedades agrícolas, reduzindo o gasto com diesel, um dos grandes fatores de custo do agronegócio. Já o CO₂ pode ser autoconsumido em agroindústrias como: indústria de alimentos, para o congelamento e conservação com atmosfera modificada de alimentos; indústria de bebidas e refrigerantes para a carbonatação; indústrias frigoríficas para a insensibilização de animais.

Conforme destacado por Gomes et al. (2016), a aplicação de tratamento anaeróbico dos resíduos e efluentes agroindustriais e aproveitamento dos produtos gerados conferem ao setor uma grande vantagem para seus negócios. A mitigação das emissões de gases poluentes pode representar um potencial para marketing ambiental e contribuir para a obtenção de certificados¹³ de produção mais sustentável. Como consequência, as empresas certificadas têm o valor agregado de seus produtos e serviços aumentados, maior abertura de mercados externos, ações na bolsa valorizadas, além de acesso à linhas de crédito facilitadas.

A figura 6, a seguir, representa, de forma simplificada, a cadeia do biogás acima descrita.



*Material reciclado é obtido na triagem de resíduos sólidos urbanos.

¹³ Exemplos de certificados: Selo Energia Verde, Roundtable on Sustainable Biofuels (RSB), International Sustainability & Carbon Certification (ISCC), Better Sugarcane Initiative (Bonsucro), dentre outros.

Figura 6 Cadeia simplificada do biogás

Fonte: BRAGA, 2018

A relação entre quem é o produtor e o consumidor final apresenta fortes laços com a fonte de matéria prima utilizada. No caso de a fonte de matéria prima ser resíduos sólidos urbanos, de aterros, por exemplo, o produtor de biogás dessa fonte não é o gerador de resíduos, nem o consumidor final, sendo geralmente responsável por receber os resíduos, coletar o biogás e então tratá-lo para depois vendê-lo. Já os produtores de ETE e agropecuários, tendem a utilizar os produtos obtidos em suas atividades principais, podendo também vender excedentes (PEREIRA, 2014).

Conclui-se então que existe uma série de possíveis estruturações de modelos de negócios envolvendo biogás, com flexibilidade de escolha tanto de matéria-prima e fornecedores, como de aplicação, fontes de receita e consumidores finais. Cabe ao empreendedor adaptar melhor o seu negócio às necessidades do cliente, ao ambiente de negócios no qual está inserido, adequando-o de tal forma que seja rentável. Seu sucesso depende de alguns fatores como oferta de matéria prima, demanda pelo produto final, tecnologia, boa gestão, regulamentação do setor, políticas de incentivo, dentre outros fatores abordados no capítulo 4.

4. MODELOS DE NEGÓCIOS PARA O BIOGÁS NO BRASIL

Este capítulo tem como objetivo entender o ambiente de negócios do Brasil para implementação de modelos de negócios de biogás e sua inserção na matriz energética. São analisados a oferta de matéria-prima, os benefícios que o aproveitamento do biogás pode proporcionar ao país, o marco regulatório nacional vigente, exemplos de modelos de negócios presentes no Brasil, além da identificação de barreiras para sua disseminação.

4.1 Oferta de Matéria-Prima

Um dos primeiros fatores a serem considerados para análise da viabilidade de um modelo de negócios é a oferta de matéria-prima, que representa o início da cadeia de valor. Quanto a isso, é inquestionável a grande oferta no Brasil para implementação de modelos de negócios de tratamento anaeróbio e posterior aproveitamento dos produtos obtidos no processo. Trata-se de um país em que sua população ultrapassa os 200 milhões de habitantes, sendo 80% localizados em áreas urbanas, além de ter uma economia fortemente assentada sobre uma das

maiores produções agropecuárias e industriais do mundo, resultando em enormes concentrações de resíduos e efluentes orgânicos nessas áreas.

A elevada oferta de matéria-prima, que se traduz em grande oportunidade de transformar o que seria passivo ambiental em energia para o país, pode ser constatada também ao analisar os expressivos números, apresentados a seguir, de geração nacional de resíduos e efluentes orgânicos. Estes números representam as oportunidades de implementação de modelos de negócios do biogás, podendo utilizar como substratos os 4 grupamentos de matéria prima.

4.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos

No caso de resíduos sólidos urbanos, o país é o 5º maior gerador do mundo, segundo informado pela ABRELPE em 2014. Em 2015, o Brasil produziu 79,9 milhões de toneladas de RSU, o equivalente a aproximadamente 390 kg por habitante por ano. Deste total, 72,5 milhões de toneladas foram coletadas, resultando em um índice de cobertura de coleta de 90,8%. Do total de RSU coletado, segundo dados do IPEA, 57,41% correspondem à matéria orgânica, ou seja, cerca de 41 milhões de toneladas, é passível de tratamento anaeróbio e consequente geração de biogás e energia. A principal solução sanitária aplicada no Brasil para o RSU são os aterros sanitários, que recebem, em termos de volume, 58,7% de todo o resíduo urbano coletado em território nacional, isto é, 42,6 milhões de toneladas de RSU por ano (ABRELPE, 2015).

Além do elevado volume de RSU gerado, fato que representa grande oportunidade para implementação de modelos de negócios para tratamento anaeróbio neste setor, este tem crescido em um ritmo preocupante. Enquanto, na última década, o volume de resíduos cresceu em 21%, o índice de crescimento da população foi de 9,6% no período¹⁴. Tal análise intensifica ainda mais não só a necessidade de um correto gerenciamento da disposição final de resíduos sólidos urbanos, como também o grande potencial de transformar parte deste passivo ambiental em energia.

O estudo encomendado pelo PNUD e pelo MMA à Arcadis Tetraplan¹⁵ estimou, para 56 localidades brasileiras, a produção de energia elétrica potencial. O resultado demonstrou que há a possibilidade de se ter uma capacidade instalada de geração de 311 MW, suficiente para

¹⁴ Disponível em: <http://www.ambientaldobrasil.com.br/noticia.php?id=7>. Acesso em: julho de 2017.

¹⁵ Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf. Acesso em: agosto de 2017.

abastecer uma população de 5,6 milhões de habitantes, que equivale aproximadamente a cidade do Rio de Janeiro (IPEA, 2012).

4.1.2 Efluentes Líquidos

Ao analisar o setor de tratamento de esgoto, é sabido que este é um dos gargalos históricos de desenvolvimento do País. O “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos”, publicado em 2014 pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), indicou que apenas 48,6% da população brasileira tinham acesso à coleta de esgoto em 2013. Os dados mostram ainda que foram coletados, aproximadamente, 5,22 bilhões de m³ de esgoto, dos quais cerca de 3,58 bilhões de m³ foram tratados, valor que corresponde a aproximadamente 68% do total coletado e apenas 39% do total de esgoto gerado no país (SNIS, 2014).

Apesar da baixa taxa de tratamento de efluentes, ainda assim o volume é considerável. Com a implementação do PLANSAB¹⁶, os valores de coleta e tratamento de esgoto tendem a aumentar consideravelmente nos próximos anos, elevando ainda mais o potencial de aproveitamento energético do biogás gerado a partir das estações de tratamento de esgoto. Com maior volume de esgoto tratado, maior será a viabilidade de captação e produção do biogás em escala economicamente atrativa.

4.1.3 Resíduos Agropecuários

A agropecuária é um dos setores mais importantes do Brasil. No país, pode-se destacar como setores prioritários na pecuária a bovinocultura intensiva, suinocultura e avicultura. Vale ressaltar que o Brasil tem o maior rebanho comercial bovino do mundo. Já na agricultura, cabe destacar as lavouras de produção de soja, milho, cana-de-açúcar, entre outros.

Considerando o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, realizado em 2012 pelo IPEA, no setor da pecuária, para as criações confinadas¹⁷, foram estimados 365 milhões de toneladas de dejetos gerados pela criação de bovinos (86,7%), aves (7,7%) e suínos (5,6%). Para se ter uma

¹⁶ PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico: tem como um de seus principais objetivos universalizar a coleta e tratamento de esgoto até 2033.

¹⁷ O estudo não levou em conta o modelo extensivo, visto que, neste, os resíduos ficam dispersos nas pastagens, sem viabilidade de aproveitamento em sistemas de biodigestão. A pecuária bovina intensiva e a leiteira, e a criação de suíno e frangos, por sua vez, são mais apropriadas para o aproveitamento do biogás, pois nesses casos os animais ficam confinados em um mesmo local, o que permite a coleta e o tratamento dos dejetos de forma eficiente.

melhor dimensão desse potencial, se todos os dejetos das criações confinadas fossem utilizados para biodigestão, poderiam gerar um potencial de até 1290MW/ano, por exemplo. O estudo não estimou a parcela de resíduos orgânicos gerados nas atividades de cultivo e colheita, do setor da agricultura, por considerar que não apresentam impactos potenciais negativos ao ambiente quando comparado aos dejetos de animais.

4.1.4 Resíduos Agroindustriais

A agroindústria é um dos principais segmentos da economia brasileira, com importância tanto no mercado interno como externo. Segundo estimado pela Confederação Nacional da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) em 2017¹⁸, a participação no Produto Interno Bruto (PIB) é de cerca de 20%, o que representa uma posição de destaque entre os setores da economia. Os principais segmentos do setor, no Brasil, são o abate e a preparação de carnes, fabricação e refino de açúcar, os laticínios, panificação e fabricação de massas, os óleos vegetais e a indústria de sucos. As elevadas quantidades de produtos agroindustriais processados no país são responsáveis pela geração de grandes volumes de resíduos e efluentes, representando alto potencial do país em aproveitar energeticamente estes resíduos via produção de biogás.

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, estudo realizado em 2012 pelo IPEA, para as agroindústrias associadas a agricultura, estima-se a geração total de 291 milhões de toneladas de resíduos sólidos por ano. Apenas o processamento de cana de açúcar gera 201 milhões de toneladas de resíduos sólidos e 605 milhões de metros cúbicos de efluente por ano. Os resultados mostram que se todos os resíduos secos da produção da agroindústria da cana no Brasil fossem utilizados para a geração de energia, a potência instalada seria de 16.464 MW/ano, um potencial superior ao da usina de Itaipu. No caso das agroindústrias associadas a pecuária, a estimativa de geração resíduos sólidos é de 1,7 milhões de toneladas e 21,5 milhões de metros cúbicos de efluentes líquidos por ano, volume equivalente a geração de 14,6 MW/ano, deste valor, 11,2MW corresponde a abatedouros, 2,6 a laticínios e 0,8 MW a graxarias¹⁹.

¹⁸ Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-12/cna-preve-expansao-de-2-do-agronegocio-em-2017>. Acesso em: setembro de 2017.

¹⁹ Atividade de coleta e reciclagem dos restos de animais gerados pelos abatedouros, açougues e frigoríficos, comumente empregados na produção de sabões, sabonetes e rações para animais.

4.2 Oportunidades de Monetização

A grande oferta de resíduos e efluentes orgânicos, e o fato do Brasil ser um país de clima tropical, vantajoso ao processo de biodigestão, resultam em grande potencial de produção de biogás. Em números, o Brasil tem potencial de produzir 52 bilhões de metros cúbicos de biogás ao ano, ou cerca de 140 milhões de metros cúbicos por dia (PIONEIRO, 2017). Quando se trata de biometano o país tem potencial de gerar cerca 78 milhões de metros cúbicos diários. Esse dado leva em consideração números de 2017 e consta de um levantamento apresentado pela ABiogás. Desse volume, 72% são originados do setor sucroenergético, 19% da produção de alimentos e outros 9% derivam do saneamento básico. Este volume equivale a 25% de energia elétrica²⁰, 44% do diesel ou 73% do gás natural consumidos no país em 2015 (CANAL ENERGIA, 2017).

Este tópico irá analisar a oportunidade de comercialização, com base em análise de demanda e legislação²¹ que regulamenta e possibilita a atividade, tanto da aplicação energética do biogás como eletricidade e biometano, como dos principais produtos residuais: biofertilizantes e crédito de carbono.

Cabe ressaltar que são as condições de regulamentação que possibilitam um desenvolvimento sólido do setor e a consolidação dos mercados para o escoamento efetivo dos produtos e subprodutos do processo para os consumidores finais. Conhecer a regulamentação, portanto, é imprescindível para garantir a viabilidade da proposta de um modelo de negócio. É necessário entender em qual contexto regulatório o empreendimento está inserido (GOMES et al., 2016).

4.2.1 Energia Elétrica

Segundo dados presentes no Boletim Mensal de Energia, referente ao mês de janeiro de 2017, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia, a matriz energética brasileira apresenta boa participação de fontes renováveis, característica que deve se manter estável no ano de 2017,

²⁰ Segundo dados da Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás), o Brasil tem condições de gerar 115 mil gigawatts-hora (GWh) de energia por ano com o aproveitamento dos rejeitos urbanos, da pecuária e agroindústria. Tal volume equivale a uma Itaipu e meia e poderia abastecer quase 25% de toda energia consumida em 2015.

²¹ Devido ao caráter multidisciplinar dos projetos de biogás, podem ser aplicadas muitas das legislações já existentes em outras áreas, como de meio ambiente, saneamento, energia, infraestrutura, agricultura e etc.

com a participação de 43,8% do total, como mostrado no gráfico 1. Este desempenho reflete as transformações ocorridas no setor energético nacional, que tem incentivado tanto o crescimento dessas fontes quanto à diversificação da matriz nos últimos anos.

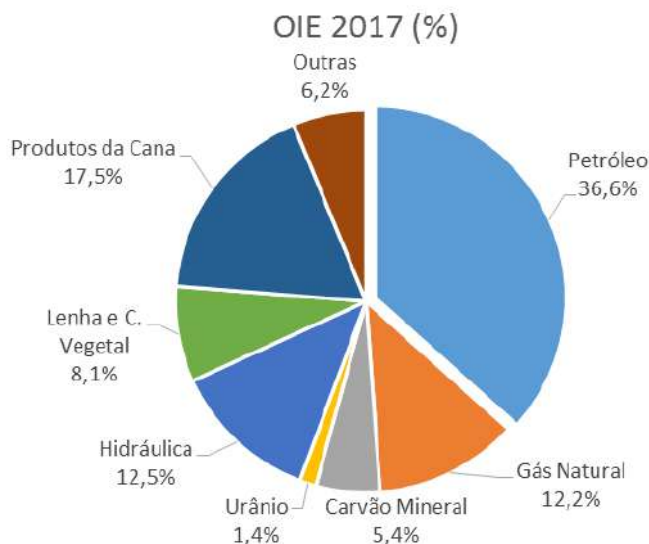


Gráfico 1 Matriz Energética Nacional (%)

Fonte: Boletim Mensal de Energia, Ministério de Minas e Energia – janeiro de 2017

Quando observada a matriz de energia elétrica – subconjunto da matriz energética, a proporção das renováveis é bem mais significativa, com previsão de chegar a 83,3%, bem acima do valor mundial referente a este indicador, de apenas 24,1%. Conforme estimativa do MME, representada no gráfico 2, a energia hidráulica deve continuar sendo a mais importante na matriz elétrica de 2017, respondendo por 67,9%, percentual ligeiramente inferior ao verificado em 2016 (68,6%). Essa redução da fonte hídrica será compensada por bons desempenhos de outras fontes renováveis, sendo que a biomassa deverá passar de uma proporção de 8,8% para 9,0%, de 2016 para 2017, o que mostra uma tendência do aumento da participação de outras fontes renováveis na matriz brasileira além da hidráulica, inclusive de biogás. Entretanto, o fato de quase 70% da matriz elétrica depender de apenas uma fonte, é algo preocupante.



Gráfico 2 Matriz de Energia Elétrica Nacional

Fonte: Boletim Mensal de Energia, Ministério de Minas e Energia – janeiro de 2017

Buscando diversificar a matriz elétrica brasileira, uma das vantagens da geração de energia elétrica a partir do biogás está relacionada a proposta da geração descentralizada, visto que sua capacidade é composta por pequenas gerações em vários produtores. A modalidade da geração distribuída traz benefícios para o sistema elétrico brasileiro como a geração próxima ao consumo, atendimento mais rápido ao crescimento da demanda, adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética. São inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e sustentabilidade (ANEEL, 2017).

Quando comparada a energia hidráulica, principal fonte de eletricidade do país, o biogás tem uma logística muito mais fácil, com geração próxima ao consumo, sem necessidade de grandes linhas de transmissão. Para transmitir a energia gerada em Itaipu, gigante hidrelétrica com 14 mil MW de capacidade, localizada na fronteira entre o Brasil e o Paraguai, há uma grande linha até a cidade de São Paulo, por exemplo. Se houver algum problema nessa enorme linha de transmissão, toda a cidade fica no escuro, como já aconteceu no passado. A geração descentralizada, portanto, traz maior segurança na oferta de energia elétrica.

Além disso, as hidrelétricas dependem fortemente de chuvas para manter o nível de seus reservatórios e garantir a geração de eletricidade. Em períodos de escassez de água, hidrelétricas precisam comprar energia de termelétricas movidas a diesel ou a carvão, para entregar a expectativa, levando a compra de uma energia cara e suja. Desta forma, outra vantagem é a possibilidade de substituição da energia de origem fóssil pela renovável, visto que a energia antes gerada por uma termelétrica a diesel ou a carvão, acionada para sustentar a ausência de geração de energia das hidrelétricas, poderá ser substituída por aquela gerada a biogás. Além dos benefícios mencionados quando comparado a hidrelétricas e termelétricas a diesel ou carvão, o biogás ainda supre a intermitência das energias renováveis eólica e solar que têm crescido no país.

Para que o biogás possa ser aproveitado energeticamente como energia elétrica no Brasil, devem ser observadas as leis em vigor assim como as resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), autarquia em regime especial vinculada ao Ministério de Minas e Energia, criada para regular o setor elétrico brasileiro.

A Lei nº 9.074/1995 estabeleceu a figura do Produtor Independente de Energia (PIE), efetivando a possibilidade da pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio receberem concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao

comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco, assim como a figura do Autoprodutor, que é um titular de concessão, permissão ou autorização para produzir energia elétrica para seu uso exclusivo, podendo, mediante autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), comercializar seus excedentes de energia.

As relações comerciais no Sistema Interligado Nacional (SIN), no atual modelo, se estabelecem em duas esferas: no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e no Ambiente de Contratação Livre (ACL), conforme a lei nº10.848/2004. No primeiro caso, todas as distribuidoras do Sistema Interligado Nacional (SIN) se reúnem em processos licitatórios (leilões) para comprar energia de geradores. Vencem a licitação aqueles geradores que possuem os menores preços de energia e assinam contratos, regulados pela ANEEL, com as distribuidoras, não passíveis de alterações bilaterais pelos agentes. Já no caso do ACL, os geradores de energia e consumidores livres e especiais²² têm liberdade para negociar e estabelecer em contratos os volumes de compra e venda de energia e seus respectivos preços, podendo variar consideravelmente entre projetos, de acordo com o mercado. Neste ambiente, os geradores podem vender energia diretamente aos consumidores livres, com demanda superior a 3MW. Nos casos dos consumidores especiais, em que a demanda é inferior a 3MW e superior a 500kW, os contratos podem ser negociados com os geradores que utilizam fontes incentivadas, como eólica, solar, PCH e biomassa, incluindo o biogás.

Desde 2012, foram instituídas as modalidades de micro e minigeração distribuídas de energia elétrica, que visa reduzir as barreiras regulatórias existentes para conexão de geração de pequeno porte disponível na rede de distribuição, bem como introduzir o sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*). A partir da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade, gerando créditos de energia.

Em revisão a resolução de 2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015, com o objetivo de reduzir os custos e tempo para a conexão da microgeração e minigeração; compatibilizar o sistema de compensação de energia elétrica com as condições gerais de fornecimento; aumentar o público alvo; e melhorar as informações na fatura. Sendo assim, de acordo com a legislação vigente, a microgeração distribuída é caracterizada pela

²² Consumidor Livre – aquele com demanda superior a 3MW, que pode escolher seu fornecedor de energia elétrica por meio de livre negociação; Consumidor Especial – aquele com demanda entre 500 kW e 3MW, que tem o direito de adquirir energia de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) ou de fontes incentivadas especiais (eólica, biomassa ou solar) (CCCE, 2017).

central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Já a minigeração distribuída é caracterizada pela central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5MW e que utilize cogeração qualificada ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras²³.

Sendo assim, para que uma instalação de biogás, que se enquadre em tal modalidade possa usufruir do sistema de compensação, primeiramente é preciso ter acesso ao Sistema Interligado Nacional (SIN). A solicitação de acesso deve conter o Formulário de Solicitação de Acesso para microgeração e minigeração distribuída, acompanhado dos documentos pertinentes a cada caso. Compete à distribuidora a realização de todos os estudos para a integração do gerador, sem ônus ao acessante. A distribuidora é responsável por adquirir e instalar o sistema de medição, sem custos para o acessante no caso de microgeração distribuída, assim como pela sua operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição. No caso de conexão de minigeração distribuída, o acessante é responsável por ressarcir a distribuidora pelos custos de adequação do sistema de medição, nos termos da regulamentação específica.

Uma vez garantido o acesso ao SIN, as centrais geradoras que se enquadrem em tais modalidades, portanto, podem ter acesso ao sistema de compensação de energia elétrica, também chamado de *net metering*. Este modelo permite que a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída seja cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com a geração de um crédito de energia elétrica ativa que pode ser consumida até um prazo de 60 meses²⁴. Como os créditos são determinados em termos de energia elétrica ativa, sua quantidade não está sujeita a alterações nas tarifas de energia elétrica. A medição líquida da energia pode apontar para três situações:

- Quantidade de energia gerada menor que a quantidade de energia consumida: O valor a ser faturado corresponde à energia consumida descontada da energia gerada.

²³ Na resolução de 2012, era denominada microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 100 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 100 kW e menor ou igual a 1 MW.

²⁴ Na resolução de 2012, este prazo de validade dos créditos de energia era de 36 meses.

- Quantidade de energia gerada igual à quantidade de energia consumida: Não há faturamento na unidade geradora conectada à rede ou, apenas o pagamento de um valor mínimo, estipulado em regulamentação específica.
- Quantidade de energia gerada maior que a quantidade de energia consumida: A diferença é injetada na rede da distribuidora e gera créditos para compensação na fatura de energia elétrica em meses subsequentes.

Cabe ressaltar que este mecanismo não permite a venda da energia excedente. Entretanto, ele possibilita que os créditos de energia também possam ser usados para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto” e não era prevista na resolução de 2012.

Outra inovação da norma diz respeito à possibilidade de instalação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras). Nessa configuração, a energia gerada pode ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores. A ANEEL criou ainda a figura da “geração compartilhada”, possibilitando que diversos interessados se unam em um consórcio ou em uma cooperativa, instalem uma micro ou minigeração distribuída e utilizem a energia gerada para redução das faturas dos consorciados ou cooperados dentro da mesma área de concessão.

4.2.2 Biometano

Como já mencionado, a capacidade de produção de biometano no Brasil, se utilizado como combustível veicular, poderia substituir 44% do diesel consumido em 2015. Ao analisar o cenário deste combustível no país, o Brasil é fortemente dependente, visto que sua base de transporte de carga é majoritariamente rodoviária, cerca de 58%, segundo dados do Ministério dos Transportes de 2010. Estima-se que este modelo de logística atual para o transporte de commodities agrícolas resulta em um custo de logística correspondente a 11,5% do PIB nacional. Esse valor é duas vezes maior que Estados Unidos, três vezes maior que Europa e quatro vezes maior que China, reduzindo assim a competitividade da produção brasileira (JENDE, 2016).

Além disso, a importação de óleo diesel bateu recorde durante o primeiro semestre de 2017, quando mais de 5,6 bilhões de litros do derivado entraram no país apenas nos primeiros seis meses do ano, esse é pior resultado para o período no histórico de 21 anos mantido pelo

Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Cabe destacar que, a principal causa do aumento da importação do diesel não é a falta de oferta nacional, como ocorre com o gás natural. O principal fator é o preço praticado pela Petrobras, tornando mais vantajosa a importação de terceiros do que consumo do diesel nacional.

A substituição do diesel por biometano seria interessante, portanto, se o preço estabelecido for vantajoso. Segundo Gabriel Kropsch, vice-presidente da ABiogás (2017), o biometano tem competitividade frente aos combustíveis fósseis tradicionais como o diesel, no transporte pesado, ou GLP, no uso industrial, visto que é um combustível renovável com oferta em bases firmes e estrutura de preço estável, pois não sofre com oscilações cambiais e variação do preço internacional.

A substituição do diesel por biometano, portanto, resultaria na redução de custos logísticos, de modo a aumentar a competitividade do setor produtivo do Brasil. Ademais, a substituição do derivado de origem fóssil por biometano de fonte renovável diminuiria a dependência do Brasil de importação, aumentando assim a segurança no fornecimento do óleo pelo qual o setor de transporte é dependente, além de ser mais sustentável (Biodieselbr, 2017).

O biometano também poderia substituir 73% do gás natural consumidos no país em 2015. Esta alternativa também é interessante, pois reduz a dependência de importações, melhora a balança comercial, aumenta a segurança no fornecimento, além de ser uma fonte de energia limpa em substituição a uma fonte de origem fóssil. Segundo Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural de junho de 2017, elaborado pelo MME, o Brasil produz 69,9% do gás natural consumido no Brasil e 26,8% é de importação da Bolívia. A capacidade de produção diária de biometano é inclusive maior que a capacidade de importação de gás natural da Bolívia pelo Brasil, via gasoduto (Sebigas-Cótica, 2017).

Além da redução da demanda por importação do gás natural, a geração descentralizada de biogás apresenta a vantagem de reduzir a demanda por infraestrutura de redes de gás, agrega valor às regiões centrais e eleva a segurança da oferta de gás. Isto ocorre, pois as redes de transporte de gás natural se concentram nas regiões costeiras e nos grandes centros urbanos, como mostra a Figura 7, o que torna o uso desta fonte de combustível não acessível para grande parte do território nacional, principalmente as áreas de grande produção agrícola, um dos motores da economia nacional. O acesso ao gás natural nestas áreas se dá por transporte altamente custoso de GNC (gás natural comprimido). O biometano, portanto, possibilitaria a interiorização do gás metano, de modo a democratizar o uso de energia e reduzir custos de transporte.



Figura 7 Distribuição dos gasodutos de transporte de gás
 Fonte: EPE, 2014c

As especificações de biometano proveniente da digestão de resíduos orgânicos agrossilvopastoris²⁵, são estabelecidas e regularizadas através da Resolução da ANP n° 8 de 30 de janeiro de 2015. O Regulamento Técnico n°1/2015 apresenta especificações do biometano para aplicação em instalações residenciais e comerciais ou uso veicular (GNV), em nível nacional, conforme apresentado no Anexo C. A resolução permite ainda que o biometano de procedência qualificada seja odorado e misturado ao gás natural e comercializado por meio de conexão à rede de distribuição de gás canalizado, ou então, na forma de gás comprimido, distribuído em botijões.

Já no caso do biometano oriundo de RSU e ETEs, a resolução que estabelece regras voltadas para o controle de qualidade e a especificação para uso veicular e de instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional só foi aprovada pela ANP recentemente, pela Resolução ANP n° 685 de 29 de junho de 2017. A regulamentação do produto permite sua comercialização e sua utilização como substituto do gás natural, devendo o produtor obter a aprovação do controle de qualidade da Agência antes de iniciar a comercialização. Logo depois, em julho de 2017, como mecanismo de incentivo, o

²⁵ Resíduos gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades, de acordo com a Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010;

Estado de São Paulo também aprovou resolução que regulamenta injeção de biometano na rede de distribuição de gás natural.

Até então, o biogás proveniente destes dois substratos para uso veicular e residencial obedecia à Resolução ANP nº 21, de 11 de maio de 2016, na qual era direcionado apenas para uso experimental e específico. Isto porquê, segundo Nota Técnica nº: 157/2014/SBQ/RJ, ainda faltavam estudos mais aprofundados sobre impactos, limites de concentração aceitáveis e processos de medição e remoção de contaminantes presentes no biometano obtido a partir destas fontes, como siloxanos, aromáticos e halogenados, prejudiciais aos equipamentos e à saúde pública. Apenas para uso em equipamentos industriais (equipamento que realiza queima por meio de processo de combustão interna ou externa em fontes fixas, incluindo geradores de energia elétrica) é que ficava dispensada a autorização.

Importante ressaltar que essa resolução impedia, até então, a utilização de Biometano oriundo de aterro sanitário ou estação de tratamento de esgoto na rede de distribuição de gás canalizado, o que ia de encontro a algumas legislações estaduais já existentes, a citar: Lei nº 6.361, de 19/12/2012, do Estado do Rio de Janeiro. Neste regulamento, como mecanismo de incentivo estadual, as concessionárias de distribuição de gás canalizado do RJ ficam obrigadas a adquirir, de forma compulsório, todo o Gás Natural Renovável produzido no Estado até o limite de 10% do volume de gás natural convencional distribuído por cada uma delas, não incluído o volume destinado ao mercado termelétrico.

Um exemplo de como a legislação interfere no modelo de negócios é o caso da Usina de Dois Arcos, localizado em São Pedro da Aldeia (RJ), em operação desde 2014, a qual produz biometano a partir de aterro sanitário que recebe resíduos de diversos municípios da Região dos Lagos. Com a lei estadual do RJ estabelecendo que até 10% do combustível comercializado pelas concessionárias de distribuição de gás canalizado seja biogás, a usina inicialmente visava vender o gás para CEG e CEG Rio. Inclusive já tinha contratos para fornecer biometano de aterros com a CEG (RJ) e com a Cegás (CE). Entretanto, enquanto ainda não era permitido, pela lei federal da ANP, a comercialização de biometano oriundo de aterros para uso residencial, a usina vendia biometano para uso industrial do centro de distribuição da rede de supermercados Guanabara, em Itaguaí. Embora a venda do gás nesse modelo seja por um valor acima do acordado com a distribuidora do Rio, é mais vantajoso para a Usina injetar seu biocombustível na rede da CEG, para uso residencial e comercial, visto que o custo logístico de entrega para o supermercado via cilindros de gás comprimido mitiga os ganhos da Usina (ABEGÁS, 2015).

Apesar do aterro sanitário produzir biometano desde 2014, apenas em setembro de 2017, 3 meses após a nova resolução da ANP referente à regulamentação de biogás oriundo de lixo e esgoto, a Usina Dois Arcos foi a primeira do Brasil a receber autorização da ANP para captação e comercialização de biogás em aterro sanitário. Espera-se que, em breve, a usina dará início à comercialização de 10 mil m³/dia de biometano para postos de combustíveis por meio de caminhão-tanque, com capacidade de abastecimento de uma frota de 660 veículos diariamente.

Desta forma, esta recente regulamentação do produto oriundo de aterros sanitários e ETEs marca uma nova fase para o setor no Brasil e permite sua comercialização e a utilização como equivalente ao gás natural. Segundo o presidente da Associação Brasileira de Biogás e Biometano (ABiogás), Alessandro Gardemann, tal normativa é positiva, pois além de desenvolver nova atividade econômica e introduzir agentes ao mercado, a resolução será um marco importante do ponto de vista ambiental, aproximando o Brasil às metas estabelecidas no Acordo de Paris e à economia de baixo carbono. Com a publicação desta Resolução, a ABiogás espera que se possa se injetar, no curto prazo, 285 mil m³/dia de biometano na rede de distribuição de gás natural. Segundo projeções da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2030, é possível chegar até 17 milhões de m³/dia (Sebigas-Cótica, 2017).

4.2.3 Biofertilizante

No Brasil, de forma geral, os solos são pobres em relação aos nutrientes, havendo necessidade da aplicação de fertilizantes nos solos, o que torna a demanda de fertilizante muito grande. Hoje, o país importa cerca de 70% das matérias-primas utilizadas para a fabricação dos fertilizantes químicos usados em seus cultivos, estando em quarto lugar no ranking dos consumidores mundiais de nutrientes para a formulação de fertilizantes. Conforme dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos, foram comercializadas no Brasil, em 2010, mais de 24,5 milhões de toneladas de fertilizantes. Esta demanda tende a crescer com o aumento da produção agrícola (IPEA, 2012). O consumo de fertilizantes no Brasil tem apresentado um crescimento a uma taxa de 6,1% ao ano, nos últimos doze anos (HEINZ, 2015).

Desta forma, a comercialização e utilização do material digerido, subproduto da produção do biogás, como biofertilizante, pode trazer como benefício a redução da dependência do Brasil por fertilizantes químicos importados e contribuir para viabilizar a sustentabilidade do crescimento da produção agrícola, setor de extrema importância ao país, um dos maiores produtores agrícolas de grãos, cana-de-açúcar, carne e café do mundo.

Apesar de conter um alto valor de nutrientes, o uso do resíduo gerado na biodigestão como fertilizante agrícola nem sempre é possível. Os fatores que limitam sua aplicação podem ser de ordem logística, devido a elevada distância entre o local da geração do material e sua área de aplicação, acarretando em custos que inviabilizam a prática; ou legais, como a proibição do seu emprego como fertilizante devido à não aderência a especificação exigida.

No que tange às questões legais, segundo Heiz (2015), apesar de não existir normas ou qualquer regulamentação específica para o adubo orgânico proveniente de uma usina de biogás, os produtos orgânicos destinados à agricultura estão bem amparados pela Legislação Brasileira, por meio de decretos e instruções normativas. A citar:

- Para produzir, importar ou comercializar os biofertilizantes, estes devem estar abaixo dos limites de concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas, conforme estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V pela Instrução Normativa nº 27, de 05/06/2006 – MAPA. O Anexo V pode ser consultado no Anexo D deste trabalho.
- Normas sobre as especificações de embalagem e rotulagem dos biofertilizantes destinados à agricultura podem ser consultadas na Instrução Normativa nº 25, de 23/07/2009.
- As disposições e critérios para o registro do biofertilizante no MAPA para sua comercialização estão expostas na Instrução Normativa nº 53, de 23/10/2013, com as alterações da IN nº 6 de 10/03/2016.
- A inspeção e fiscalização da produção e do comércio de biofertilizantes estão dispostas no Decreto nº 4.954, de 14/01/2004, com alterações do Decreto nº 8.384/2014, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980 (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2017).

Para que os biofertilizantes gerados a partir da biodigestão anaeróbia possam ser utilizados e comercializados, portanto, é necessário se adequar aos limites de concentração de determinados compostos como contaminantes, agentes fitotóxicos, patogênicos, entre outros, conforme estabelecidos pelos regulamentos apresentados. Desta forma, passa a ser imprescindível a inclusão de etapas de pós-tratamento que envolvem os processos de higienização e desaguamento do material, por exemplo, de modo a viabilizar a comercialização desse produto.

4.2.4 Crédito de Carbono

Com a assinatura do Acordo de Paris em 2015, que entrou em vigor em 2016, em substituição ao Protocolo de Quioto²⁶, cada um dos quase 200 países aderentes estabelece metas nacionais de redução de emissão. Para fomentar a ajuda mútua entre todos os países neste esforço coletivo de controle das emissões, o acordo prevê a criação de instrumentos econômicos e de mercado, que permitam transacionar títulos representativos do êxito de cada país no controle de emissões ou o engajamento projetos conjuntos de redução de GEE, representando uma oportunidade de comercialização internacional de créditos de carbono nos modelos de negócios do biogás.

Isto não é totalmente novo nas economias mundiais desde que o Protocolo de Quioto, assinado em 1997, criou o “comércio de emissões” entre países desenvolvidos, e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). No Protocolo, países desenvolvidos tinham metas de redução média na emissão de gases de 5,2% entre 2008 até 2012, com base da emissão do ano de 1990. Durante a Conferência do Clima (COP 17), em 2011, as metas foram ampliadas para cortes de 25% a 40% nas emissões, em 2020 (PORTAL BRASIL, 2014).

Para auxiliar o alcance das metas por esses países, os países em desenvolvimento, caso do Brasil, podiam se beneficiar de atividades de projetos que resultavam em reduções certificadas de emissões, através de projetos MDL, alinhando desenvolvimento com sustentabilidade. Já os países desenvolvidos, que extrapolam o limite de emissão, podiam comprar as reduções certificadas de emissões, resultantes de tais atividades de projetos, para contribuir com o cumprimento de parte de seus compromissos quantificados de redução de emissões (PORTAL BRASIL, 2014).

Dentre os requisitos gerais que deviam ser atendidos por um projeto de MDL, este deveria apresentar benefícios ambientais reais, mensuráveis e de longo prazo relacionados com a mitigação da mudança do clima. Ademais, as reduções de emissões a serem certificadas deveriam ser referentes aquelas adicionais as que ocorreriam na ausência da atividade do projeto, seguindo o princípio da adicionalidade.

O Brasil se beneficiou com a venda de créditos de carbono e, segundo Silva Júnior (2011), a nacionalidade dos compradores dos créditos de carbono de projetos de MDL no Brasil eram: Suíça, Reino Unido, Japão, Holanda, Nova Zelândia, Alemanha, Suécia, França, entre

²⁶ Disponível em: <http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/Protocolo_Quito.pdf>. Acesso em: setembro de 2017.

outros. Os recursos que podiam ser arrecadados com a venda de crédito de carbono não são desprezíveis. Em setembro de 2007, por exemplo, o banco holandês Fortis Bank NV/SA desembolsou R\$ 34 milhões pelo lote de 808.450 créditos de carbono colocados em negociação pela Prefeitura de São Paulo na Bolsa de Mercadorias e Futuros, em função do aproveitamento energético do biogás captado pelo Aterro Bandeirantes (MENEGUIN, 2012).

Com a substituição do Protocolo de Quioto, o que muda com o Acordo de Paris é que esse mercado atinge escala global, permitindo a participação de todos os países, desde que cumpridas regras que resguardem a integridade do mercado em relação à efetiva redução de emissões de efeito estufa agregadas, de forma a garantir que não haja dupla contagem de uma mesma redução por dois países, falha ocorrida com os mercados de carbono do MDL (Estadão, 2016).

Assim, criado pelo artigo 6 do Acordo de Paris, a geração de crédito se dará via MDS - Mecanismo de Desenvolvimento Sustentável, em substituição ao MDL. O MDS é um “ultra-esquema de certificação”, por meio do qual qualquer empresa, governo subnacional ou país que adote formas mais baratas e seguras de reduzir emissões poderá comercializar créditos de carbono num mercado internacional. Deste modo, se um país consegue reduzir suas emissões além da meta, ele pode transacionar o excedente no mercado, e países que não conseguiram reduzir tanto assim podem comprar esses créditos e deduzi-los da própria meta. Se em Quioto isso só era permitido entre países desenvolvidos, no Acordo de Paris, quase todos os países do mundo passam a ter compromisso de redução, podendo tanto comprar como vender. O MDS ainda está em fase de detalhamento, porém há uma enorme expectativa para seja um dos grandes motores da transição para a economia de baixo carbono (Observatório do Clima, 2016).

Uma vez que o Brasil, em setembro de 2016, concluiu o processo de ratificação do Acordo de Paris, o país assumiu o compromisso oficial de reduzir as emissões de efeito estufa em 37%, até 2025, e em 43%, até 2030, ambas em relação à 2005 (MMA, 2017). Neste contexto, com a finalização da regulamentação do MDS, novos modelos de negócio do biogás poderão considerar a oportunidade de comercializar créditos de carbono no mercado internacional.

Além do mercado global de carbono, que está sendo estruturado pelo Acordo de Paris, também há hoje no mundo 64 mercados de carbono em nível nacional ou subnacional, segundo dados do Banco Mundial (2016). Em mercados nacionais, um limite é estabelecido na quantidade de emissões que as companhias e indústrias podem emitir por setor econômico. Depois de o teto ser definido, as indústrias recebem uma alocação de licenças para emitir e

podem comprar e vender entre outras da mesma área de atuação para suprir suas necessidades. É como ocorre no European Union Emissions Trading System (EU-ETS), maior sistema de compra e venda de carbono do mundo, o qual permite mercado tanto nacional como internacional (ZOGHBI, 2017).

Apesar de ainda não existir um mercado nacional propriamente dito no Brasil, cabe destacar o incentivo ao crédito de carbono no âmbito do Renovabio (Política Nacional de Biocombustíveis), um sistema inspirado em modelos similares que visam mitigar suas emissões de carbono e estimular o investimento em tecnologias de baixo carbono. O programa, ainda em fase de aprovação, estabelece a distribuidores de combustíveis metas para reduzirem emissões, o que os forçará a gradualmente aumentar os volumes de biocombustíveis. Na prática, haverá certificações de redução de emissão de carbono, com emissão de Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis (CBios), ativo financeiro que poderá ser negociado em bolsa, conforme figura 8. O Renovabio, portanto, aumenta a demanda interna por crédito de carbono, na medida que estabelece metas de redução para os distribuidores.

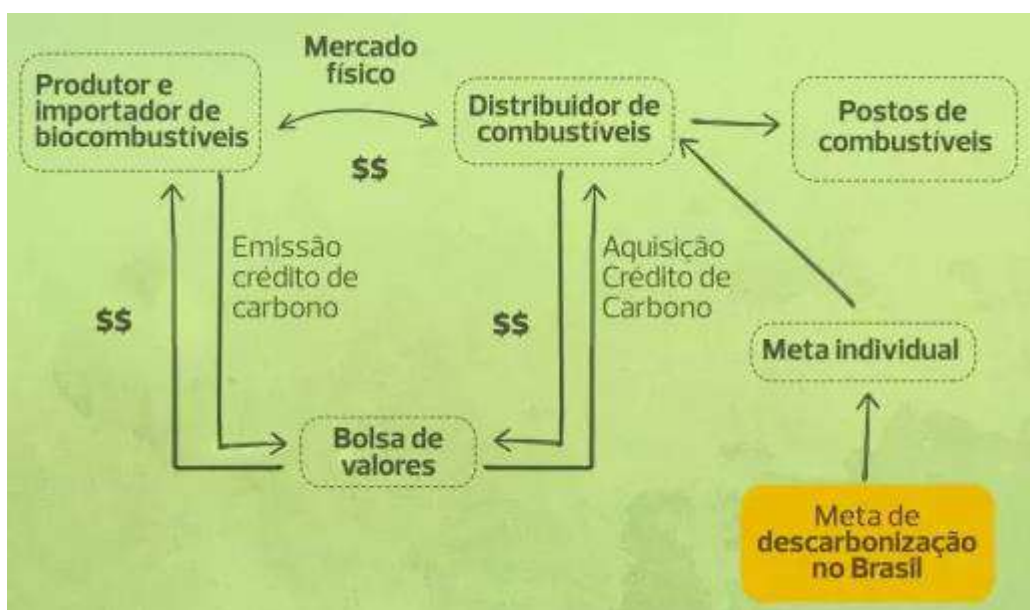


Figura 8 Mecanismo de funcionamento do RenovaBio
 Fonte: Diário do Transporte, 2017

No âmbito do Renovabio, cada produtor de biocombustível, através de certificação voluntária a ser executada por firma inspetora credenciada e usando critérios internacionais de padrão ISO, vai receber uma nota de eficiência energética-ambiental. Em segundo lugar, a partir de sua nota, cada produtor poderá solicitar a emissão de Créditos de Descarbonização (CBios) que serão negociados em bolsa, em livre mercado. O crédito poderá ser adquirido e utilizado

pelas distribuidoras para comprovar o cumprimento de sua obrigação. Estes créditos serão denominados em valor monetário por tonelada de carbono (CO₂e) e haverá, portanto, um único valor para a tonelada de carbono a cada momento.

A possibilidade de receita com a venda de crédito de carbono nos modelos de negócios de biogás pós-MDL, portanto, dependerá do que for regulamentado pelo Acordo de Paris nas próximas COPs, no que diz respeito ao mercado internacional de carbono. Quanto ao mercado nacional, o que há de mais próximo no Brasil hoje é o Renovabio, o qual ainda está em fase de aprovação, com estimativa de entrar em vigor em 2020.

4.3 Políticas de Incentivo

Para estabelecer condições favoráveis à participação das fontes renováveis na matriz energética de qualquer país são necessárias políticas de incentivo, de modo a reduzir uma ou mais barreiras que impedem o desenvolvimento dessas fontes (OLIVEIRA, 2016). Este tópico tem como objetivo apresentar políticas relacionadas ao tratamento de resíduos e efluentes (Política Nacional de Resíduos Sólidos, Plano Nacional de Saneamento Básico, Plano ABC), além de políticas relacionadas à inserção da energia renovável na matriz energética nacional como energia elétrica (Proinfa) e biocombustível (RenovaBio).

4.3.1 Políticas de Incentivo Relacionadas ao Saneamento

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), instituídos pela Lei 12.305/2010 e Lei 11.445/2007, respectivamente, são dois elementos regulatórios voltados para questões de saúde pública mais especificamente, que criam cenário favorável ao desenvolvimento de tecnologias de biogás no Brasil. Tratam-se de duas leis federais que reforçam o grande desafio, enfrentado pelo país, de ampliar os níveis de tratamento de efluentes e dos resíduos sólidos

A PNRS contém instrumentos importantes para permitir o avanço necessário ao país no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos. Estabelece o princípio da hierarquia nas ações de manejo dos resíduos, que deve obedecer à seguinte ordem de prioridade: não-geração; redução; reutilização; reciclagem; tratamento e disposição final adequada dos rejeitos. Torna obrigatória

a coleta seletiva e determina que apenas os rejeitos²⁷ sejam encaminhados a aterros sanitários (Ministério do Meio Ambiente, 2017).

Desta forma, a PNRS é um incentivo a implementação de modelos de negócios de digestão anaeróbia para o tratamento do RS e aproveitamento de biogás, visto que este atende às diretrizes da PNRS. Isto porque as usinas de tratamento biológico do RS demandam a segregação prévia de materiais recicláveis e impróprios ao processo de digestão anaeróbia, destinando material orgânico para o tratamento anaeróbio e apenas rejeitos para aterros sanitários.

Já o PLANSAB tem como um de seus principais objetivos universalizar a coleta e tratamento de esgoto até 2033. A Política se trata de uma extensão de ações desenvolvidas no âmbito do PAC, criada pela lei 11.445 de 2007 e aprovada pelo Decreto nº 8.141 de 5 de dezembro de 2013. Desde então, governo federal intensificou os investimentos no setor. Vale destaque para a condição de que, para receber os investimentos federais, as prefeituras e governos estaduais devem elaborar projetos que interliguem necessariamente redes de coleta com unidades de tratamento (Ministério das Cidades, 2016).

O PLANSAB, portanto, segundo estudo da Arcadis Tetraplan (2010), acaba sendo um incentivo à implementação de usinas de biogás que utilizam efluentes como substrato, visto que além de tratar o esgoto, promove economia no processo de tratamento com o aproveitamento energético do biogás, aumentando a viabilidade da implantação de serviços de saneamento básico, com reflexos extremamente positivos em termos sociais, ambientais e de saúde pública.

No caso específico da agricultura, o Brasil estruturou também o Plano ABC em 2011, oficialmente denominado "Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura", como parte da estratégia do Estado Brasileiro na mitigação da emissão de GEE e no combate ao aquecimento global. Uma de suas ações é ampliar o uso de tecnologias para tratamento de dejetos de animais para geração de energia e produção de composto orgânico, conforme proposto pelos modelos de negócios de biogás proveniente de resíduos agropecuários. O Plano criou ainda uma linha de crédito para financiar, através no BNDES, práticas adequadas, tecnologias adaptadas e sistemas produtivos eficientes que contribuam para a mitigação da emissão dos gases de efeito estufa (Embrapa, 2017).

²⁷ Rejeitos são os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

4.3.2 Políticas de Incentivo à Inserção de Fontes Renováveis

Como mecanismo de incentivo ao aumento da participação de fontes alternativas renováveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimentos termelétricos a biomassa) na produção de energia elétrica, privilegiando empreendedores que não tenham vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição, foi instituído o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), conforme descrito no Decreto nº 5.025, de 2004. O Programa, que conta com recursos do BNDES, tem o intuito de promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, investindo em alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, além de permitir a valorização das características e potencialidades regionais e locais.

O programa prevê a garantia de compra da energia gerada a preços pré-estabelecidos, de fontes renováveis, como eólica, biomassa e PCHs, abrindo-se assim, uma oportunidade para que sistemas de geração de energia elétrica, utilizando biogás como fonte primária de energia, fossem implementados, promovendo com isso um incentivo a participação dessa fonte renovável alternativa de energia na matriz energética nacional. A energia produzida pelas unidades geradoras selecionadas seria adquirida pelas Centrais Elétricas Brasileiras S.A (Eletrobrás) por preços pré-estabelecidos via contratos de 20 anos, fatores importantes que dão maior segurança para os investidores (Ministério de Minas e Energia, 2017).

Além do Proinfa, como política de incentivo a modelos de negócios que utilizem o biogás para geração e comercialização de energia elétrica, pode-se citar também o Renovabio, como política de incentivo aos biocombustíveis, o qual ainda está em fase de aprovação. Neste sentido, de modo a cumprir o compromisso assumido no Acordo de Paris, de reduzir as emissões de efeito estufa em 37%, até 2025, e em 43%, até 2030, em relação à 2005, entre outras medidas, o Brasil se comprometeu a reduzir a participação de energia de origem fóssil, aumentando a participação de bioenergia²⁸ sustentável na sua matriz energética para aproximadamente 18% até 2030 (Ministério do Meio Ambiente, 2017).

Com objetivo de alcançar a meta estabelecida, o Governo Federal lançou recentemente, pelo Ministério de Minas e Energia, em dezembro de 2016, o programa RenovaBio. O novo marco legal dos biocombustíveis, tem como objetivo promover a expansão dos biocombustíveis

²⁸ Em definição ampla, é qualquer produto derivado de biomassa, seja sólido, líquido ou gasoso, que pode ser aproveitado para geração de energia.

no Brasil, visando tanto a segurança energética quanto para mitigação de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa. O programa não implica em subsídios à produção, nem novos tributos, mas estabelecerá a distribuidores de combustíveis metas para reduzirem emissões, o que os forçará a gradualmente aumentar os volumes de biocombustíveis.

Quando aprovado, espera-se que o RenovaBio aumente a participação dos biocombustíveis até 2030, inclusive o biogás, na matriz energética brasileira, tornando a oferta de energia no país cada vez mais sustentável, previsível, competitiva e segura. É uma política que dá tranquilidade suficiente aos investidores para enxergar que essa é uma prioridade do país, estabelece uma regulamentação que traz segurança jurídica aos investidores, alia a preservação ambiental e o cumprimento das metas de descarbonização com o estímulo das indústrias nacionais e a consequente geração de empregos (Ministério de Minas e Energia, 2017).

Além disso, com a implementação do sistema Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis (CBios), mencionado em 4.2, a produção de biocombustível que for mais eficiente do ponto de vista energético e ambiental é a que vai poder emitir mais créditos e, portanto, será mais recompensada. O RenovaBio, portanto, ao premiar a produção mais eficiente, incentiva a busca de eficiência na produção e a redução de emissões, valorizando os combustíveis de menor intensidade carbônica, com mais investimentos em cogeração, biodigestão e substituição de fontes de energia fóssil. O estímulo ao investimento vai gerar efeito multiplicador, mais emprego e renda, e, portanto, mais arrecadação através do crescimento econômico (Nova Cana, 2017).

O programa ainda pretende desenvolver mecanismos que favoreçam a pesquisa e o incremento de tecnologia nacional na cadeia produtiva até o consumidor final, de forma a baratear a produção tornar ainda mais viável o aproveitamento do biogás. Segundo o diretor do Departamento de Biocombustíveis do Ministério de Minas e Energia, Miguel Ivan Lacerda, com a aprovação do RenovaBio, existem grandes chances de os preços dos combustíveis baixarem no Brasil.

4.4 Modelos de Negócios Implementados no Brasil

No Brasil, já existem modelos de negócios implementados, operando em todas as escalas com tecnologias ambientalmente, energeticamente e economicamente sustentáveis. De maneira geral, de acordo com dados do BiogásMap, disponibilizado pelo Centro Internacional

de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás), existem no Brasil 153 unidades gerando energia elétrica, térmica ou biocombustível por meio do biogás, produzido a partir do tratamento anaeróbio de dejetos de animais, resíduos agroindustriais, lixo e esgoto sanitário (Canal – Jornal da Bioenergia, 2017). Este tópico tem como objetivo apresentar exemplos de modelos presentes no país.

4.4.1 Modelos de Negócios a partir de RSU

Observa-se que no Brasil, a maior parte dos projetos de geração de biogás a partir do tratamento de RSU bruto ou segregado na fonte, por meio da implantação de fato de usinas de tratamento mecânico biológico para valorização integral do RSU, com adequação à PNRS, ainda estão em estágio de planejamento. Um deles é o Ecoparque, projeto de uma central de tratamento de resíduos projetada para receber todo o lixo recolhido nos 22 municípios da Grande Florianópolis.

A proposta do Ecoparque é concentrar as milhares de toneladas de resíduos produzidos na região em um único espaço, obtendo assim o ganho com escala. A estrutura com capacidade para receber mil toneladas de material por dia está orçada em R\$ 100 milhões, segundo Feldmann (2017), e promete ser o primeiro aterro do Brasil totalmente alinhado com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, visto que usará sistemas de triagem que têm eficácia comprovada na Europa, Estados Unidos e Ásia, com foco na separação do lixo reciclável que vem misturado com o urbano e hoje é destinado de forma incorreta aos aterros sanitários. Após a separação, os resíduos orgânicos e não recicláveis são levados para o aterro sanitário, onde haverá o aproveitamento do Biogás para geração de energia elétrica a partir da decomposição do material. O projeto é de iniciativa privada, dependendo atualmente de licenças ambientais. Pelo modelo de negócios desse projeto, a empresa Ecoparque receberia pagamento das prefeituras para fazer o descarte de lixo no local, além de obter receita com a venda do material reciclado recuperado, do biogás bruto e do biofertilizante que pode ser utilizado na agricultura. O projeto ainda promete geração de 150 empregos diretos e 450 indiretos (FELDMANN, 2017).

Por outro lado, o uso energético do biogás gerado em aterros sanitários, mesmo que sem separação mecânica prévia, tem assumido crescente relevância por possibilitar a valorização de uma instalação que geralmente se constitui em um passivo ambiental para os municípios. Ainda assim, proporcionalmente é pequeno o número de aterros sanitários no Brasil que aproveitam energeticamente o biogás gerado. Segundo dados da ABiogás, existem cerca de 2 mil aterros

no Brasil todo, entretanto, apenas 15 aproveitam o biogás através da geração de energia elétrica, enquanto a maioria apenas queima o gás em flaires (ABIOGÁS, 2017).

Dentre os projetos existentes, cabe destacar a Termoverde Caieiras, em São Paulo, a maior termelétrica movida a biogás de aterro sanitário da América Latina e uma das maiores do mundo, recebe cerca de 8000 toneladas de resíduos urbanos e industriais por dia, com potência instalada inicial de 29,5 MW, capaz de atender uma cidade de cerca de 300 mil habitantes com energia elétrica sustentável. A geração de energia elétrica proporciona ao aterro economia em relação aos gastos com a energia elétrica adquirida da rede, proveniente da concessionária local, além de possibilitar a obtenção e comercialização dos créditos de carbono e receita com a venda da energia excedente através da conexão da termelétrica ao SIN (Sistema Interligado Nacional). A unidade possui basicamente 3 sistemas: sistema de tratamento do biogás; geração de energia por meio de geradores; e subestação com transmissão de energia elétrica. Segundo o diretor da empresa, Carlos Bezerra, o projeto só foi possível com o incentivo dos governos federal, por meio do Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI), e estadual, pela isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Este exemplo mostra a importância de haver incentivos econômicos e fiscais do governo para maior disseminação de projetos de biogás (Agência Brasil, 2016).

Outro exemplo de projeto que utiliza resíduos sólidos urbanos como substrato é do Aterro Jardim Gramacho, localizado no estado do Rio de Janeiro, que chegou a ser o maior aterro sanitário da América Latina, sendo fechado em 2012. O Aterro pertence a COMLURB/RJ, e desde 2013, sob contrato de concessão, permitiu que uma empresa de iniciativa privada, Gás Verde S.A. investisse R\$ 240 milhões em seu projeto de tratamento de biogás, com expectativas de receita superando um bilhão de reais em 20 anos. Desde então, a empresa é responsável pela extração, purificação e transporte do biogás gerado a partir do lixo acumulado durante 34 anos de operação no aterro. O gás, até então era simplesmente queimado, impedindo que o metano fosse lançado na atmosfera, enquanto que hoje é purificado e vendido a Refinaria de Duque de Caxias (Reduc), umas das maiores do Brasil, pertencente a Petrobras.

O gás é captado no aterro, transportado por tubulações até a usina Gás Verde, onde é purificado a biometano, seguindo as rígidas especificações técnicas da Petrobras, tornando a combustão mais limpa que a do gás natural do petróleo (GNP). Este é então vendido e transportado via gasoduto à Reduc, suprimindo aproximadamente 10% de suas necessidades energéticas. O gasoduto é o único do mundo que liga um aterro sanitário a uma refinaria de petróleo. Como proposta de valor do biogás gerado pelo aterro de Gramacho que motivou a

compra pela Petrobras, pode-se citar: contribuição para a recuperação do aterro de Gramacho, oportunidade econômica de diversificação do suprimento de gás para a Refinaria²⁹ e permitir à Companhia desenvolver o conhecimento específico da queima de biogás purificado. Com a capacidade de processamento de 70 milhões de metros cúbicos de biogás por ano, produção suficiente para abastecer todo o consumo residencial e comercial da cidade do Rio de Janeiro, o aterro pode ter como fontes de receita a venda do biogás purificado (biometano), dos créditos de carbono³⁰ e do CO₂³¹ de alta pureza, coletado através do processo de tratamento do biogás, que pode ser usado pela indústria alimentícia (PEREIRA, 2014).

José Henrique Penido, assessor da Diretoria Técnica e Industrial da COMLURB, explica que a movimentação econômica estimada para o empreendimento é de R\$ 800 milhões, sendo R\$ 400 milhões pela comercialização de créditos de carbono e R\$ 400 milhões pela venda do biogás à Petrobras (MILENA, 2010). O contrato de concessão de serviços no aterro define que 36% dos ganhos com a venda de crédito de carbono devem ser repassados, à COMLURB e à Prefeitura de Duque de Caxias, em partes iguais.

4.4.2 Modelos de Negócios a partir de Efluentes Municipais

Quanto ao biogás obtido do tratamento de efluentes, apesar do Brasil ser referência mundial no tratamento de esgotos via anaeróbia, sobretudo na utilização de sistemas UASB, o principal objetivo das estações é o atendimento às normativas ambientais de qualidade final do efluente tratado, tendo a geração de biogás como consequência, e não como fim. Não obstante, a maior parte do biogás gerado em Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) é direcionada a queimadores (flares), não sendo recorrente a sua utilização energética. Gradativamente, observa-se crescente interesse do setor no aproveitamento do biogás.

Como exemplo de ETE com aproveitamento energético do biogás, tem-se a ETE de Arrudas, uma das maiores e mais modernas do país, na qual a Copasa (Companhia de Saneamento de Minas Gerais), responsável pela prestação de serviços de saneamento no estado

²⁹ A Reduc é responsável pelo maior processamento de gás natural do Brasil.

³⁰ Segundo a Comlurb, a queima do gás metano acumulado no aterro de Gramacho para geração de energia em usina de biogás deve evitar que, em um período de 15 anos, cerca de 75 milhões de metros cúbicos de metano sejam liberados anualmente para atmosfera. Este montante equivale a capacidade para obter 10 milhões de certificados de redução de carbono (CER, em inglês), sendo o maior projeto do mundo, na categoria aterros, em emissões de CER; De acordo com a prefeitura do Rio, a iniciativa deve gerar cerca de R\$ 407 milhões ao longo de 15 anos em créditos de carbono.

³¹ São coletadas 200 toneladas diárias de CO₂ de alta pureza, através do processo de tratamento do biogás.

mineiro, implantou um sistema de cogeração de energia a partir do biogás gerado no tratamento de 2,250m³/s de esgoto. Após captura e armazenamento, o biogás é tratado e conduzido a quatro microturbinas, perfazendo uma instalação total de 2,4 MW de potência instalada.

A energia elétrica gerada nessa pequena central termelétrica é utilizada integralmente na própria planta, podendo gerar uma potência firme capaz de suprir cerca de 90% da necessidade da estação, proporcionando economia anual de aproximadamente de R\$ 2,7 milhões com custo de energia elétrica, um de seus principais custos. O calor dos gases de exaustão das microturbinas é conduzido para trocadores de calor, de modo a aquecer o lodo proveniente dos biodigestores, num circuito fechado, aumentando a temperatura média no interior dos mesmos, otimizando a digestão e aumentando a produção do biogás que alimenta as microturbinas. Dessa forma, as despesas com transporte e o volume para a disposição final do lodo seco são menores do que quando se transporta e dispõe um lodo úmido. O efluente tratado ainda é utilizado para resfriamento de máquinas, ao invés de ser lançado em corpos receptores (Copasa, 2017). O processo descrito está representado na figura 9.

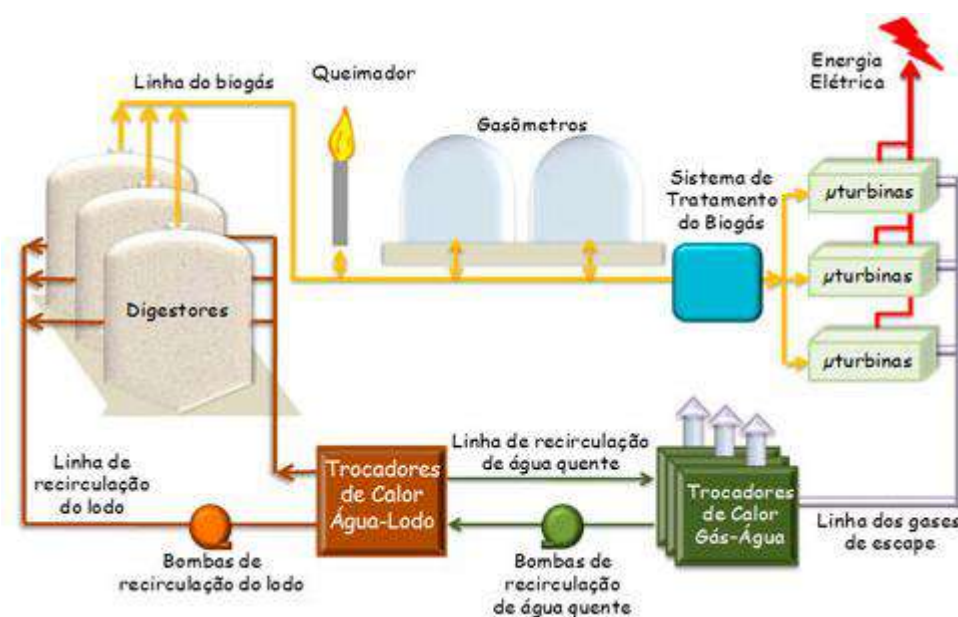


Figura 9 Representação do Processo da ETE de Arruda
Fonte: Copasa, 2017

4.4.3 Modelos de Negócios a partir de Resíduos Agropecuários

Em relação ao tratamento de resíduos da agropecuária, atualmente, este também tem como principal objetivo a adequação às normativas ambientais, visando à regulamentação da atividade produtiva e minimização de possíveis impactos ambientais, como a contaminação do

solo e dos corpos d'água. Este cenário tem se alterado gradativamente, na medida em que o setor tem reconhecido o potencial do tratamento anaeróbio com produção de biogás, que resulta em um combustível passível de uso diverso, além da produção de biofertilizantes, justificando maiores investimentos neste sistema.

As usinas de biogás para aplicação no setor agropecuário no Brasil se concentram principalmente no setor de suinocultura. Apesar de não haver dados consistentes e definitivos sobre o número de biodigestores nestas propriedades, informações disponibilizadas por fornecedores de lagoas cobertas indicam a existência de mais de 2.000 sistemas no Brasil, descritos como lagoas cobertas simples, de baixo custo e baixo grau de sofisticação. Estes sistemas são de pequeno porte, entre 20kWel (equivalente elétrico) e aproximadamente 150kWel de potência instalada (GOMES et al., 2016).

Como exemplo de modelo de negócios implementado no Brasil, pode-se mencionar a Granja São Pedro Colombari, localizada no Paraná. A propriedade é pioneira no auto abastecimento energético no país. A granja tem cinco mil suínos, produzindo cerca de 45 m³ por dia de efluentes líquidos, que são direcionados a dois biodigestores de lagoa coberta, que operam em série. O plantel atual possibilita a produção diária de 750 m³ de biogás que, após etapa de tratamento, é aproveitado para geração de energia elétrica, com potencial de produção de 50 kWh. Desde 2006 a unidade opera em Geração Distribuída (GD), conectada à Companhia Paranaense de Energia (Copel) para fornecer energia para a rede. A propriedade também usa o digestato proveniente do processo de tratamento do efluente, utilizando-o na lavoura, substituindo parte do fertilizante mineral, reduzindo os gastos da propriedade com este insumo. A Granja faz parte da nova economia rural, demonstrando o quanto à energia gerada por meio do aproveitamento do biogás é estratégica para o Brasil. Muito mais que ganhos ambientais, houve ganhos sociais e econômicos (CibioGás, 2017).

Em países como a Alemanha, por exemplo, a produção do biogás a partir de resíduos agropecuários é centralizada, onde uma planta de biogás funciona a partir de matéria prima coletada de diversas fazendas; esse sistema reduz os investimentos, os custos, o tempo e a mão de obra, gastos com os transportes relacionados à planta (OLIVEIRA, 2016). Trata-se de um modelo de negócios baseado em cooperativismo para o gerenciamento da produção coletiva do biogás. A exemplo dos países europeus, soluções como essas vem sendo adotadas no Brasil.

É o caso do Condomínio de Agroenergia³² para Agricultura Familiar/Ajuricaba³³, no Paraná, formado por 33 propriedades rurais, produz 16 mil toneladas por ano de resíduo orgânico de origem animal, possibilitando a geração de aproximadamente 266.000 m³/ano de biogás. As propriedades contam com biodigestores individuais, que produzem biofertilizante e biogás. Parte do biogás é consumida nas propriedades, sendo utilizada para cocção de alimentos, aquecimento de água para banho e para limpeza de equipamentos de ordenha. O excedente é transportado por um gasoduto de 25,5 km até uma Micro Central Termelétrica, onde o biogás produzido tem três possibilidades de conversão: energia elétrica, energia térmica e energia veicular. O aproveitamento em energia elétrica é realizado por meio de grupo motorizador, com conexão à rede local de distribuição, em Geração Distribuída. O biogás também é utilizado como fonte de calor indireto no Secador de Grãos. A aplicação veicular é possível a partir da purificação do biogás (biometano), de alto poder calorífico, que é tratado na Unidade de Tratamento de Biogás (UTB). Entre os resultados alcançados pela unidade destacam-se o aumento da produção agrícola, a diversificação produtiva, a melhoria da qualidade de vida nas propriedades pela redução de odores e insetos, a segurança energética, a conservação do solo e da água, a redução do êxodo rural, a ampliação das oportunidades na agricultura familiar, a redução de custos de produção e a geração de receita adicional. As parcerias estabelecidas foram essenciais para o êxito do projeto, destacando os trabalhos da ITAIPU Binacional e o Município de Marechal Cândido Rondon na viabilização dos recursos financeiros e área para implantação da unidade, a concessionária local de energia viabilizando a conexão do sistema com a rede elétrica e o comprometimento dos agricultores tanto através da cooperativa quanto na execução das atividades de sua responsabilidade dentro da propriedade rural.

4.4.4 Modelos de Negócios a partir de Resíduos Agroindustriais

Assim como nos demais segmentos, a realização do tratamento anaeróbio nos resíduos e efluentes agroindustriais tem como foco, primeiramente, o atendimento às legislações vigentes relacionadas à regulamentação das atividades exercidas, as quais possuem padrões de

³² Condomínios de agroenergia são agrupamentos (ou condomínios) de biodigestores, com uma estrutura centralizada para utilização do biogás, representando uma solução para que pequenas propriedades, com baixa capacidade de investimento, possam tratar seus resíduos e aproveitar energeticamente o biogás gerado.

³³ Disponível em: <<http://www.boaspraticas.org.br/index.php/pt/areas-tematicas/energias-renovaveis/16-condominio-ajuricaba-de-agroenergia-para-agricultura-familiar>>. Acesso em: setembro de 2017.

lançamento de seus efluentes e resíduos de processo. Apesar da existência de usinas de biogás e da demanda por energia térmica e elétrica nos empreendimentos no setor agroindustrial, a grande maioria das instalações não faz uso energético do biogás gerado, que resultaria em benefícios adicionais ao setor, com redução de custos de produção, geração de receita com a venda de excedentes e aumento da competitividade (GOMES et al., 2016).

Cabe ressaltar que as agroindústrias são grandes consumidoras de energia e pagam as maiores tarifas do setor elétrico, sendo este um dos principais custos de produção. Além disso, é comum a demanda de energia em horários de pico de consumo ser compensada com o uso de geradores a diesel, o que encarece ainda mais o processo, além de utilizar uma fonte de energia de origem fóssil. Tais fatores intensificam ainda mais a oportunidade de geração de receitas e custo evitado com projetos de biogás que poderiam suprir essa alta demanda de energia elétrica (GOMES et al., 2016).

Neste setor, a empresa Geo Energética inaugurou em 2013 uma planta que realiza, diariamente, a metanização de cerca de 300 toneladas de torta-de-filtro, vinhaça e palha, os três principais resíduos da Coopcana³⁴, indústria sucroalcooleira, localizada em Tamboara, Paraná. A fábrica é a única no Brasil que produz biogás em escala comercial com resíduos da cana. A planta possui capacidade instalada de 4MW de energia elétrica, o suficiente para atender o consumo de dez mil habitantes, que é comercializada por meio de uma parceria com a Companhia Paranaense e Energia Elétrica (Copel). Nos próximos anos, essa planta será ampliada e deve absorver a totalidade dos resíduos produzidos pela cooperativa, atingindo potencial energético de 40 MW. O projeto custou R\$ 30 milhões e foi possível graças a uma parceria feita com a Cooperativa Agrícola Regional de Produtores de Cana (Coopcana), além do financiamento de R\$ 18 milhões da linha de inovação do BNDES. A planta de Tamboara tem como diferencial competitivo a patente de uma estrutura flex de produção de biogás e biometano, este último, podendo ser usado como combustível, especialmente na frota da própria agroindústria, substituindo o uso do diesel, que atualmente representa uma parcela relevante dos custos³⁵. O sistema produz ainda adubo sólido e líquido de alto valor agregado, devolvendo ao solo todos os nutrientes que a atividade agrícola retira (GEO Energética, 2013).

³⁴ A Coopcana, formada por 127 associados, produz 3,5 milhões toneladas de cana-de-açúcar por ano, convertidos em 190 milhões de litros de etanol e 130 mil toneladas de açúcar do tipo exportação.

³⁵ Segundo estimativas de mercado, o processamento de uma tonelada de cana necessita de quatro litros de diesel. A safra 2017/2018 tem como previsão colher 647 milhões de toneladas de cana no Brasil. Com a implantação do projeto em todas as usinas utilizando metade do combustível a gás natural ou biometano e o restante a diesel, as empresas podem chegar a uma economia de 1,3 bilhão de litros de diesel por safra, o que significa uma elevada redução nas emissões de carbono e nos custos com combustível.

Um exemplo de empresa que faz aproveitamento energético de biogás, na indústria de bebidas, é a Ambev. Seguindo seu compromisso de preservar o meio ambiente e se alinhar ao Protocolo de Quioto, o objetivo da cervejaria é ter 40% da sua matriz energética calorífica composta por fontes renováveis até o final de 2017. Na iniciativa de diversificar sua matriz energética, a Ambev capta o biogás resultante das suas estações de tratamento de efluentes e o reaproveita para gerar energia calorífica para a própria cervejaria, evitando que seja lançado na atmosfera e reduzindo uso de combustíveis fósseis. A unidade de Jaguariúna, por exemplo, produz 240 metros cúbicos por hora de biogás para a utilização como fonte de energia na geração de vapor. A medida permitiu a redução de cerca de 7% do uso de gás natural e diminuiu a emissão de gás carbônico na atmosfera³⁶.

Na mesma linha, pode-se mencionar a Brasil Kirin³⁷, uma das maiores empresas de bebidas do País, com o projeto de reaproveitamento do biogás gerado no tratamento dos efluentes líquidos das unidades fabris, com objetivo de reduzir a utilização do gás natural em caldeiras para geração de energia térmica. Com o projeto, a empresa conseguiu reduzir em cerca de 5% a demanda dessa fonte de energia não renovável gerando ganhos ambientais e também econômicos.

4.4.5 Modelos de Negócios a partir de Diferentes Substratos

Como exemplo de modelo de negócios utilizando diferentes substratos para produção de biogás, pode-se mencionar a Unidade de Demonstração de Biogás e Biometano, localizada dentro da Central Hidrelétrica de Itaipu. A planta é a primeira do Brasil a utilizar como matéria-prima uma mistura de esgoto, restos orgânicos de restaurantes e poda de grama. Fabricada com tecnologia 100% nacional, a planta de biogás custou menos de um terço de uma solução que seria importada da Alemanha. O custo total de implantação do projeto foi de R\$ 2.160.053 – o que inclui gastos com pesquisa e desenvolvimento tecnológico, por se tratar de um projeto inovador no Brasil. Mensalmente, ela pode tratar 10 toneladas de resíduos alimentares, gerados nos quatro restaurantes da área interna de Itaipu; 30 toneladas de poda de grama, provenientes dos 400 hectares de área verde da empresa; e 300 mil litros de esgoto, oriundos dos prédios

³⁶ Disponível em:

<http://www.valor.com.br/sites/default/files/upload_element/02.03.2017_balanco_ambev.pdf>. Acesso em: setembro de 2017.

³⁷ Disponível em: <<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2013/08/portfolio-para-renovaveis/23282>>. Acesso em: outubro de 2017.

administrativos. A produção atual é de 4 mil m³ de biometano por mês, que pode abastecer 80 veículos da frota da usina, considerando um uso médio de 800 km por veículo ao mês. Só esta parte da frota vai economizar 5.650 litros de etanol. Ao custo de R\$ 0,26 o m³ do biometano, contra R\$ 0,36 do etanol, a economia financeira chega a R\$ 15 mil todo mês. Como subproduto, são produzidos 300 mil litros de biofertilizante, que serão utilizados como adubo para canteiros e gramados da empresa. Finalmente, mensalmente é evitada a emissão de 4 toneladas de gases causadores do efeito estufa. Em operação desde março de 2017, o modelo passará por 20 meses de teste e poderá ser replicado em todo o País com grandes vantagens ambientais, econômicas e sociais (Cibiogás, 2017).

Com a consolidação deste modelo de negócios, a replicação terá um custo mais baixo. O modelo pode ser levado a indústrias, cooperativas, hotéis, além de servir como política pública para as prefeituras resolverem o problema do lixo urbano e atenderem às exigências da Política Nacional de Resíduos Sólidos de eliminar os lixões entre 2018 e 2021. Segundo o diretor presidente do CIBiogás, Rodrigo Régis, esse projeto tem o potencial de mostrar às prefeituras que elas podem usar os resíduos sólidos para gerar gás que pode abastecer a frota do município. Segundo o diretor-geral da Itaipu Binacional, Luiz Fernando Vianna, a empresa usará seu peso institucional para incentivar prefeituras e entidades parceiras a replicarem a tecnologia, que está disponível para ser aplicada em qualquer região do País (Cibiogás, 2017).

4.5 Entraves para Disseminação do Biogás no Brasil

Apesar da grande oferta de matéria-prima, da demanda pelos produtos do processo e vantagens que o biogás pode trazer para o Brasil, da existência de certa legislação que incentiva e regulamenta a atividade, além de diversos modelos de negócios já implementados, o país ainda não tem no biogás uma fonte energética disseminada e com participação significativa na matriz nacional. O aproveitamento, sobretudo energético, do biogás no país é, atualmente, bastante aquém de seu teórico potencial. De acordo com dados da ANEEL, a produção de biogás para geração de energia elétrica atingiu a marca de 118,6 MW de energia instalada em fevereiro de 2017, representando apenas 0,0741% da matriz elétrica brasileira, frente ao potencial teórico de representar 25%.

Embora o aproveitamento do biogás seja ainda incipiente no Brasil, o setor está em expansão. Apesar da pequena parcela de 0,0741% da participação do biogás na matriz elétrica brasileira, este valor era de 0,0572% no início de 2016, representando um crescimento

percentual de quase 30% em um ano, sendo uma das fontes que mais cresceram no Brasil (UDOP, 2017).

A ABiogás estima que até 2030, o Brasil receba investimento na ordem de R\$ 50 bilhões em biogás gerado a partir de resíduos, principalmente dos setores sucoenergético, de alimentos e de saneamento. O potencial de investimento em biogás estimado pela instituição considera uma produção de biogás, no período, de 32 milhões de metros cúbicos diários (Sebigas-Cótica, 2017). Ainda segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), com horizonte até 2026, o governo prevê capacidade instalada total de 300 megawatts (MW) de termelétricas a biogás no fim do período analisado.

Para viabilizar uma maior disseminação do biogás no Brasil, conforme previsto pela ABiogás, entretanto, será necessário vencer barreiras de ordem técnica, econômica e regulatória. Com o objetivo de entender as razões pelas quais o biogás ainda não é uma fonte amplamente disseminada no país, este tópico tem como objetivo identificar as principais barreiras para os modelos de negócios que dificultam o crescimento e consolidação dessa fonte de energia no mercado.

Ao longo do estudo foram encontradas uma série de entraves, também confirmados por um estudo realizado pela PROBIOGÁS (JENDE, 2016), que podem ser divididos em quatro enfoques: incerteza sobre retorno do investimento; reduzida quantidade de projetos de referência bem-sucedidos em escala comercial; dificuldade no acesso às informações técnicas, comerciais e legais; inexistência de políticas específicas relacionadas ao biogás.

4.5.1 Incerteza sobre o Retorno do Investimento

A relação incerta entre o custo do projeto e seu benefício comercial é explicada pelos custos ainda elevados para implantar e manter os projetos de biogás, somados ao mercado incipiente de sua comercialização e barreiras regulatórias explicitados a seguir. Tal incerteza quanto ao retorno do investimento eleva o grau de risco e a insegurança para o investidor nesse setor.

Os investimentos necessários para aquisição de conhecimento, para o desenvolvimento de clientes e fornecedores, para capacitações de profissionais e para a oferta de serviços no mercado são elevados. Por se tratar de um mercado incipiente, há uma dificuldade de desenvolver tecnologias nacionais. Em função disso, os projetos e equipamentos acabam sendo

caros, pois dependem, muitas vezes, de know-how estrangeiro³⁸, com impostos elevados para a importação, altos custos para manutenção (reparações e reposições) e operação (tecnologias não conhecidas), necessidade de busca por capacitações no exterior, além do investimento em soluções que atendam a normas nem sempre adequadas ao Brasil, sendo superequipadas ou não customizadas de acordo com as condições locais. Este fato reforça a necessidade de se incentivar o processo de aprendizagem tecnológico através de políticas específicas para que a barreira dos elevados custos iniciais seja superada.

Além disso, altas exigências de qualidade resultam em elevados custos de operação. Cabe ressaltar que o investimento e custos relacionados ao modelo de negócios que envolve a venda do biometano é ainda mais elevado, devido a necessária purificação do biogás, ao alto nível tecnológico envolvido e aos elevados custos de operação para a compressão do gás.

Para que um projeto se torne economicamente viável é necessário que haja retorno sobre o investimento. Quanto mais elevado for o valor do investimento, maior é a expectativa de receitas, ou seja, as elevadas exigências para o desenvolvimento de projetos aumentam a necessidade de retorno pelo valor comercial do produto principal e subprodutos do processo. Entretanto, o mercado incipiente do biogás e dos subprodutos da biodigestão dificulta ainda mais a viabilização dos projetos, já que não garante receitas equivalentes e coerentes aos investimentos demandados.

No caso da comercialização de energia elétrica a partir do biogás, poucos podem participar dos leilões do Ambiente de Comercialização Regulada (ACR), pelo fato da maioria não ter capacidade de produção de biogás em larga escala e de forma constante, de forma a garantir contratos. Além disso, existe a dificuldade do setor de chegar a preços competitivos em relação as fontes convencionais. Cabe destacar que, recentemente, apenas em 2016, pela primeira vez na história, um projeto de biogás em larga escala venceu um leilão de geração de energia. No Leilão A-5, promovido pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), o projeto vencedor foi a Raízen, que negociou energia da Biogás Bonfim, de 20,8 MW, a R\$ 251/MWh³⁹.

³⁸ Os custos de importação e nacionalização, sem considerar o custo do representante no Brasil, encarecem um equipamento em um fator de 1,6 a 1,7 em relação ao seu preço no país de origem e ainda incidem sobre o valor da mercadoria em forma de cascata: custos de transporte, seguro marítimo, armazenamento, tarifas portuárias, etc., ou seja, tributos sobre tributos, onerando ainda mais a importação de mercadorias.

³⁹ Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/pela-primeira-vez-um-projeto-de-biogas-venceu-um-leilao-de-energia/>. Acesso em: setembro de 2017.

Sendo assim, a possibilidade de comercialização mais considerada é do Ambiente de Comercialização Livre (ACL), entretanto, para ser atrativo ao comprador de energia, os preços praticados nesse ambiente devem ser menores do que os praticados no Ambiente de Comercialização Regulada (ACR), o que acaba não sendo tão vantajoso e prejudicando a viabilidade do projeto de biogás.

Mesmo no âmbito do Proinfa, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, segundo IPEA (2012), *stakeholders* indicam que o índice de nacionalização exigido pelo Proinfa é muito alto, sendo proibitivo para o setor. Citam ainda que o “preço premium”, oferecido pelo programa para a energia gerada como não sendo suficientemente atrativo. A exigência de que os créditos de carbono gerados em projetos com o financiamento do Proinfa sejam atribuídos à Eletrobrás também não agradou os empreendedores do setor.

No caso do autoconsumo da energia elétrica gerada, sua viabilidade depende diretamente do valor da tarifa de energia. O autoconsumo só faz sentido ao produtor quando gerar sua própria energia elétrica for mais barato que pagar tarifas da rede. Em outras palavras, para tornar o *net metering* um instrumento de incentivo viável, o custo da geração de energia pelo gerador deve ser competitivo frente à tarifa da energia convencional que está sendo paga no ponto de consumo. Além disso, o sistema *net metering* de geração distribuída ainda possui algumas limitações causadas por dúvidas em relação à tributos, perda de energia, contratos com as distribuidoras e, também, devido aos altos custos de instalação dos medidores e sistemas de controle.

Em relação ao uso do biogás como substituto do gás natural, considera-se que o incentivo criado por alguns estados quanto à obrigação de venda do biometano às concessionárias de gás estaduais, quando injetado na rede, representa, na verdade, uma barreira. É certo que a venda de biometano para as redes distribuidoras de gás é uma modalidade de comercialização confortável, de certa forma, para o operador de uma planta de biogás, visto que, normalmente, as distribuidoras que detém a concessão sobre o gás canalizado pagam pelo volume injetado na rede e assumem todos os riscos de transporte, distribuição, ou até mesmo compressão e transporte por caminhões, de modo que o empresário do biogás não precisa investir recursos em desenvolvimento de clientes e logísticas de transporte de gás. Entretanto, a inexistência de um ambiente livre de comercialização acaba limitando o valor pago pelo biometano ao que for determinado pela concessionária, impossibilitando negociação, podendo inviabilizar os projetos.

No caso da valorização do biogás como GNV, é necessário que o biometano ainda seja comprimido, o que aumenta mais ainda os custos com energia para compressão, tornando a oportunidade maior somente em regiões com altos preços de GNV ou sem acesso direto às redes de gás natural. A grande dificuldade do setor é ser competitivo frente às fontes convencionais.

Cabe destacar que, conforme mencionado em 4.2, a resolução que estabelece regras voltadas para o controle de qualidade e a especificação de biometano oriundo de RSU e ETEs destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional só foi aprovada pela ANP recentemente, pela Resolução ANP n° 685 de 29 de junho de 2017. Apenas a partir desta data que os modelos de negócios que utilizam resíduos sólidos urbanos e efluentes municipais puderam considerar a possibilidade de comercialização de biometano.

Em relação a comercialização dos créditos de carbono, esta ainda é incerta enquanto não for definida a regulamentação do comércio internacional no Acordo de Paris. Quanto ao mercado nacional, há expectativa sobre o mecanismo de certificação no âmbito do Renovabio, porém com um longo caminho pela frente. Quando aprovado, ainda precisará ser regulamentado, a meta de descarbonização precisará ser definida, a certificação iniciada, os agentes precisam se familiarizar com a medida, e a fiscalização do cumprimento pelas partes envolvidas através da ANP precisa ser efetiva (Nova Cana, 2017).

4.5.2 Reduzida Quantidade de Projetos de Referência

O segundo enfoque de barreiras está relacionado à reduzida quantidade de projetos de referência bem-sucedidos em escala comercial, deixando uma percepção de risco para os empresários do setor e exigindo um certo grau de pioneirismo entre os empreendedores. Experiências históricas, em grande parte malsucedidas, criaram desconfiança entre os atores e resistência para novos investimentos. Nas décadas de 70 e 80, centenas de biodigestores foram instalados e pouco tempo depois abandonados por problemas de dimensionamento, uso de materiais inadequados⁴⁰ e falta de assistência técnica. Nos anos 2000, houve um novo impulso na instalação de biodigestores com o objetivo de gerar créditos de carbono pelo Mecanismo de

⁴⁰ O modelo mais replicado na época foi o sistema indiano cuja cobertura era de aço, material altamente corrosivo, o que resultava em altos custos de manutenção.

Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Quioto, porém a maioria dos biodigestores deixou de ser operada⁴¹.

Apesar das referências internacionais, se faz necessário recuperar a confiança neste mercado, demonstrando a viabilidade de modelos comerciais bem-sucedidos que respondem as exigências atuais nacionais. Isto porque, a falta de experiência no desenvolvimento de projetos cria uma insegurança não com relação às tecnologias, já comprovadas no exterior, mas com relação aos modelos de negócios aplicáveis e à viabilização em longo prazo dos projetos no Brasil. Foram mencionados em 4.4 alguns exemplos de modelos de negócios que devem ser divulgados e usados como referências no Brasil, como a recém-inaugurada termelétrica movida a biogás, a maior da América Latina ou a Unidade de Demonstração de Biogás e Biometano, localizada dentro da Central Hidrelétrica de Itaipu, planta fabricada com tecnologia 100% nacional, custando menos de um terço de uma solução que seria importada da Alemanha.

4.5.3 Dificuldade no Acesso às Informações

Quanto ao terceiro enfoque, este se refere à dificuldade no acesso às informações técnicas, comerciais e legais. Como mostrado em 3.2, existe uma diversidade de arranjos comerciais possíveis para o biogás, inserida em uma variedade de mercados e culturas de negócios, o que exige grandes esforços para o desenvolvimento de projetos de tamanha complexidade. Entretanto, observa-se uma dificuldade de acesso às informações, aliado uma cultura de não compartilhar as experiências adquiridas. Existem iniciativas de incentivo ao setor, como o projeto PROBIOGÁS⁴², mas ainda se observa falta de conhecimento sobre as oportunidades, custos, formas de comercialização e financiamento de projetos de biogás no Brasil. Há pouca divulgação dentre os atores e pouco conhecimento dos próprios órgãos responsáveis pela implementação. Ademais, as condições legais para o aproveitamento de biogás e seus subprodutos não estão muito claras para todos, além de não haver um ponto de

⁴¹ Com a queda dos valores do crédito após a crise econômica mundial, as plantas não se viabilizaram de uma forma satisfatória a médio e longo prazo.

⁴² O projeto PROBIOGÁS atuou entre 2013 e início de 2017, com o objetivo de ampliar o aproveitamento energético do biogás no Brasil. Através de ações junto aos órgãos de governo, setor privado e academia, o projeto apoiou indiretamente o crescimento e a consolidação da indústria do biogás no Brasil, fornecendo capacitações, apoio ao ambiente regulatório, pesquisa e desenvolvimento e disseminação de informações, deixando como legado uma biblioteca virtual. O PROBIOGÁS foi fruto da cooperação técnica entre o Governo Brasileiro, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e a Cooperação Alemã, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

consulta centralizado de informações legais e regulatórias com implicação direta sobre o negócio do biogás.

Até o momento, a utilização de biodigestores é conhecida no país especialmente como uma forma de tratamento de resíduos orgânicos, não sendo vista como uma oportunidade de aproveitamento do potencial energético do biogás produzido, resultando em uma visão do processo apenas como custo. O impacto disto está na redução da percepção das oportunidades de negócio, aumento dos custos de desenvolvimento de projetos e redução da rentabilidade, insegurança que inibe a disposição de atores em investir no mercado e lentidão do desenvolvimento do mercado.

A criação de associações regionais e nacionais no setor de biogás, como a ABiogás, ABBM, entre outros, é recente, mas tem o potencial de formar uma plataforma de acesso às informações do setor. Um exemplo de boa prática que tem acontecido desde 2014 é a realização do Fórum do Biogás, organizado pela ABiogás, hoje o maior evento da América Latina do setor, com o objetivo de debater como a fonte pode ajudar o Brasil a alcançar as metas de redução de emissões e as perspectivas e necessidades para a inserção definitiva do biogás e do biometano na matriz energética brasileira.

4.5.4 Inexistência de Políticas Específicas Relacionadas ao Biogás

Em relação ao quarto e último enfoque de barreiras, este se refere a inexistência de políticas específicas relacionadas ao biogás, o que reforça a visão de que a importância estratégica do biogás ainda não é reconhecida em toda sua amplitude, resultando na insegurança do investidor. A falta de políticas específicas resulta na falta de linhas de financiamento, de um marco regulatório e de incentivos específicos para projetos de biogás, levando a redução da atratividade econômico-financeira de projetos, podendo inclusive inviabilizar sua execução.

Conforme mencionado ao longo do atual trabalho, o biogás é uma fonte renovável de energia com potencial de complementar ou substituir outras fontes e que tem benefícios adicionais pelo tratamento e saneamento de efluentes e resíduos orgânicos. Em outras palavras, energia, saneamento e biogás são produtos sinérgicos e, portanto, precisam de políticas concatenadas e de longo prazo. Entretanto, não se percebe no setor de energia ou de saneamento uma política que favoreça o aproveitamento desses ganhos sinérgicos. Os instrumentos de política devem ser adaptados a esta complexidade de forma integrada e estratégica. Para os

empresários que planejam investimentos de longo prazo, é essencial que haja um sinal de que este é um setor estratégico para o país.

As políticas voltadas ao saneamento, como a PNRS e o PLANSAB, por exemplo, não reconhece diretamente o investimento em projetos de biogás tanto como fonte de energia renovável quanto de medida de saneamento nas áreas urbanas e rurais. Já o RenovaBio, mencionado em 4.3.1, política que visa aumentar a participação dos biocombustíveis na matriz energética brasileira, até 2030, inclusive o biogás, reconhecendo-o como fonte de energia, já é um movimento que dá certa tranquilidade aos investidores para enxergar que essa é uma prioridade do país. Entretanto, ainda não é uma política específica do biogás, não é integrada ao saneamento e ainda não foi aprovado no Congresso Nacional.

Nesse sentido, a ABiogás tem desempenhado um papel importante. Em 2016, a associação foi responsável pela elaboração e apresentação ao Governo Federal do Programa Nacional de Biogás e Biometano (PNBB). O documento sugere políticas públicas específicas que viabilizem o energético no Brasil, destacando a necessidade de criação de leilões de energia específicos, simplificação tributária e desonerações na cadeia produtiva de equipamentos para a produção de biogás e biometano. O PNBB pretende estabelecer condições específicas para que os investimentos no setor sejam atrativos para potenciais produtores e usuários e que se estabeleçam como fontes de energia seguras, oficialmente inseridas na matriz energética. Acredita-se que tal documento foi uma das razões para o significativo crescimento do setor desde então (ABiogás, 2017).

Em relação a marco regulatório específico ao biogás, apenas em julho de 2017, foi formulado o primeiro marco legal do Brasil, específico ao biogás, pelo estado de Santa Catarina, um dos grandes produtores de animais e preocupado com o passivo dos resíduos. Pioneiro na iniciativa, o estado propõe uma política estadual de desenvolvimento energético considerando o potencial de produção de biogás e biometano no Estado a partir do tratamento de dejetos resultantes da produção de proteína animal, carnes e leite, visando o desenvolvimento econômico do Estado e a preservação do meio ambiente. A motivação para elaboração do documento foi justamente a identificação que um dos gargalos para o desenvolvimento do biogás em Santa Catarina era a inexistência de embasamento legal para produção e aproveitamento energético do combustível (ABiogás, 2017).

Quanto às linhas de financiamento para projetos de biogás, apesar de existirem algumas linhas que se adequam aos projetos de biogás, como financiamentos para infraestrutura (PAC), de cunho socioambiental (no caso de RSU) ou de fomento à indústria (caso do setor suco

energético), certos projetos de biogás tornam-se inaptos a receber tais recursos devido a algumas particularidades que acabam dificultando ou impossibilitando o acesso à linhas existentes. Isto ocorre, pois existe a necessidade de garantias que, por vezes, não é possível pelo fato de se tratarem de projetos com características desconhecidas pelos agentes financeiros, de grande complexidade e de elevado investimento.

Pode-se mencionar o caso de contratos de comercialização de energia no caso da venda direta no mercado livre em contratos de curto prazo que, apesar de se configurar o arranjo mais rentável quando comparado aos de longo prazo, este modelo geralmente não serve como garantia para financiamentos, devido a intrínseca variabilidade do preço da energia no mercado e o risco que isto representa para a receita do projeto. Neste caso, os contratos de longo prazo passam a ser priorizados, ainda que por valores menores, mas que podem ser apresentados às instituições financeiras e investidores. Desta forma, as garantias exigidas pelas linhas de financiamento existentes dificultam a inserção de projetos de biogás.

Também faltam mais incentivos fiscais e tributários específicos ao biogás, visto que a soma dos impostos e contribuições a pagar afeta diretamente o custo de implantação dos projetos de biogás, especialmente em caso de importações. Hoje, há isenção do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços (ICMS) sobre equipamentos para geração de biogás em alguns estados como MG, SP e RS, por exemplo. Entretanto, seria interessante analisar a isenção de outros impostos que afetam o setor, como o Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), Imposto de Importação, alíquotas da Contribuição para o PIS/PASEP, da COFINS, da Contribuição para o PIS/Pasep-Importação e da COFINS-Importação, entre outros, a fim de reduzir a carga tributária incidente sobre plantas biogás, o custo dos empreendimentos no mercado nacional, ampliar a atratividade do negócio e estimular a concorrência. Em médio prazo, os governos federais e estaduais poderiam se beneficiar do aumento da arrecadação em função da ampliação deste mercado.

Conclui-se então, que o Brasil, pelo fato de representar um mercado de biogás ainda emergente, apresenta uma série de barreiras inerentes supracitados. Por outro lado, apesar dos entraves, percebe-se que tem surgido iniciativas no país para a superação das barreiras, conforme mencionado ao longo deste tópico, de modo a permitir que os modelos de negócios dessa fonte possam ser implementados com cada vez mais frequência e segurança. Ainda assim, o Brasil tem um caminho a percorrer e depende fortemente de políticas de incentivo específicas para estabelecer condições favoráveis à participação do biogás na matriz energética e tornar essa fonte amplamente disseminada no país.

5. CONCLUSÃO

Levando em consideração que o biogás é produzido a partir do tratamento anaeróbio de resíduos e efluentes orgânicos e que apresenta aplicações energéticas, configurando-se como fonte de energia renovável, pode-se afirmar que a implementação de modelos de negócios para o aproveitamento do biogás auxilia na resolução simultânea de três problemas atuais: gerenciamento de resíduos e efluentes, segurança na oferta de energia e aquecimento global. Com o aumento da população e sua cultura consumista, a taxa de geração de resíduos e efluentes são elevadas, demandando cada vez mais o correto gerenciamento de resíduos e efluentes, de modo a evitar contaminação de solo, de corpos hídricos, proliferação de doenças, entre outros impactos ambientais e sociais. Junto ao aumento da população, tem-se o aumento da demanda por energia e a preocupação em relação a segurança em sua oferta, intensificando a necessidade da diversificação da matriz energética, além da distribuição descentralizada. Ademais, o aproveitamento do biogás, composto majoritariamente por metano, evita que o mesmo seja lançado diretamente na atmosfera, além de substituir combustíveis fósseis, resultando na mitigação das emissões de gases do efeito estufa.

Em termos de modelos de negócios, existe uma diversidade de arranjos possíveis, com flexibilidade de escolha tanto de matéria-prima e fornecedores, como de aplicação, fontes de receita e consumidores finais. O biogás pode ser produzido a partir de resíduos sólidos urbanos, efluentes domésticos, além de sólidos e efluentes agropecuários e agroindustriais, podendo ter como fornecedor prefeituras, proprietários rurais e agroindústrias, respectivamente. Os produtos a serem autoconsumidos ou comercializados são diversos: energia elétrica e térmica, biometano para injeção na rede de gás natural, combustível veicular ou uso industrial, gás carbônico, hidrogênio, biofertilizante, material reciclado e crédito de carbono. Além da proposta de valor atrelado ao uso final de cada produto, independente do consumidor final, seja operador da rede de gás, proprietário de frotas de veículos, agroindústrias, distribuidor de combustível, usina de reciclagem, proprietário rural ou distribuidores de energia elétrica, há também a proposta de valor adicional pautada na sustentabilidade.

Sendo um modelo de negócios a estrutura de criação, entrega e captura de valor por parte de uma organização, através de processos que vão desde a matéria-prima até o consumidor final, seu sucesso depende de alguns fatores como oferta de matéria prima, demanda pelo produto final, tecnologia, boa gestão, regulamentação do setor, políticas de incentivo, entre

outros. Cabe ao empreendedor adaptar melhor o seu negócio às necessidades do cliente, ao ambiente de negócios no qual está inserido, adequando-o de tal forma que seja rentável ao mesmo tempo que entregue o valor proposto.

A oferta de matéria-prima é um dos pontos mais fortes do Brasil. Dentre os fatores que conferem ao país este grande potencial: trata-se de um país com uma economia fortemente assentada sobre uma das maiores produções agropecuárias e industriais do mundo; sua população ultrapassa 200 milhões de habitantes, sendo 80% localizados em áreas urbanas, resultando em enormes concentrações de resíduos e efluentes orgânicos nessas áreas. Tais fatores resultam no potencial de produção de 52 bilhões de metros cúbicos de biogás ao ano, volume equivalente a 25% de energia elétrica, 44% do diesel ou 73% do gás natural consumidos no país em 2015 (PIONEIRO, 2017; CANAL ENERGIA, 2017). Ao analisar o mercado dos produtos do processo de digestão anaeróbia, pode-se afirmar que existe demanda significativa no país e que o biogás traz uma série de benefícios adicionais aos setores de energia elétrica, de combustível veicular e residencial, além de fertilizantes.

Em relação à energia elétrica, o Brasil é fortemente dependente da fonte hídrica, caracterizada por geração centralizada, representando quase 70% da matriz brasileira (MME,2017). Além disso, o crescimento da demanda exige expansão de geração e sistemas de transmissão e distribuição. A obtenção de energia elétrica a partir do biogás, caracterizada como geração distribuída, traz benefícios para o sistema elétrico brasileiro com a geração próxima ao consumo, atendimento mais rápido ao crescimento da demanda, adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, baixo impacto ambiental, redução no carregamento das redes, minimização das perdas e a diversificação da matriz energética.

Quanto ao diesel, o Brasil é fortemente dependente desse combustível, visto que sua base de transporte de carga é majoritariamente rodoviária e tem batido recordes de importação, devido aos altos preços praticados no mercado nacional pela Petrobras. Como o biometano é um combustível renovável com oferta em bases firmes e estrutura de preço estável, pois não sofre com oscilações cambiais e variação do preço internacional, ele tem competitividade frente aos combustíveis fósseis. Dessa forma, a utilização do biometano como combustível veicular em substituição ao diesel, resultaria na redução de custos logísticos, aumento da competitividade do setor produtivo, redução da dependência do Brasil pelo diesel e sua importação, impacto positivo na balança comercial, além de ser mais sustentável.

Já a demanda do Brasil pelo gás natural é inegável, visto que o país não é autossuficiente e importa quase 30% do que consome da Bolívia (MME, 2017). Além disso, as redes de

transporte de gás natural se concentram nas regiões costeiras e nos grandes centros urbanos, o que torna o uso desta fonte de combustível não acessível para grande parte do território nacional, demandando transporte altamente custoso de GNC (gás natural comprimido). O uso do biometano tornaria o Brasil livre da importação de gás natural, além de, devido à sua geração descentralizada, reduzir a demanda por infraestrutura de redes de gás, elevar a segurança da oferta e possibilitar a interiorização do gás metano, de modo a democratizar o uso de energia e agregar valor às regiões centrais.

No caso do setor de fertilizantes, a demanda é alta, visto que o Brasil importa cerca de 70% das matérias-primas utilizadas para a fabricação dos fertilizantes químicos, estando em quarto lugar no ranking dos consumidores mundiais de nutrientes para a formulação de fertilizantes (IPEA, 2012). A utilização de biofertilizante proveniente do tratamento anaeróbio pode trazer como benefício a redução da dependência do Brasil por fertilizantes químicos importados e viabilizar a sustentabilidade do crescimento da produção agrícola.

Em suma, pode-se afirmar que no Brasil, além da sua alta capacidade de produção de biogás devido a oferta de matéria-prima, existe demanda para inserção de seus modelos de negócios, trazendo inúmeras vantagens como: mitigação dos impactos ambientais com a substituição de fontes de energia de origem fóssil; aumento do nível de tratamento de resíduos e efluentes; diversificação da matriz energética brasileira, de maneira descentralizada, perto dos locais de consumo, reduzindo custos de transporte e transmissão, aumentando segurança na oferta de energia e criando empregos; redução da importação de gás natural, diesel e fertilizantes químicos.

Além disso, modelos de negócios do biogás estão alinhados a uma série de políticas nacionais que justificam e incentivam sua implementação. A citar, o país ratificou o Acordo de Paris assumindo metas desafiadoras de redução das emissões de efeito estufa até 2030. Para cumpri-las, o país se comprometeu a aumentar a participação de bioenergia sustentável na sua matriz energética para aproximadamente 18% até 2030 e elaborou o Renovabio. O país estabeleceu também leis federais que reforçam o grande desafio de ampliar os níveis de tratamento de efluentes e dos resíduos sólidos, instituindo o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Neste contexto, se pode afirmar que a disseminação do biogás é estratégica para o Brasil, representando um meio do país alcançar seus objetivos de segurança e diversificação da matriz energética, aumento do nível de saneamento e redução das emissões de GEEs.

Entretanto, o biogás não se configura como uma fonte de energia disseminada no Brasil. A produção de biogás para geração de energia elétrica atingiu a marca de 118,6 MW de energia instalada em 2017, representando apenas 0,0741% da matriz elétrica brasileira, frente ao potencial teórico de 25% (ANEEL, 2017). Este fato se deve a uma série de barreiras como: forte dependência de tecnologia estrangeira, investimentos elevados, alta incidência de impostos, mercado incipiente para comercialização, incerteza do retorno de investimento, regulamentação recente, como a do biometano proveniente de RSU e ETE, programas de incentivo com pouca atratividade como o Proinfra, falta de conhecimento técnico e entendimento das leis, dificuldade no acesso às informações técnicas, comerciais e legais, experiências passadas malsucedidas, inexistência de políticas específicas relacionadas ao biogás, resultando na falta de linhas de financiamento, de um marco regulatório e de incentivos específicos para projetos de biogás, levando a redução da atratividade econômico-financeira e insegurança ao investidor.

Apesar dessas barreiras, percebe-se que tem surgido iniciativas no país para superá-las. A citar: o projeto PROBIOGÁS que forneceu capacitações, apoio ao ambiente regulatório, pesquisa e desenvolvimento e disseminação de informações; a recentemente regulamentação do biometano proveniente de RSU e ETE; isenção de ICMS em alguns estados; criação de associações como a ABiogás e ABBM; realização de fóruns do Biogás; criação do marco regulatório de Santa Catarina; elaboração dos programas RenovaBio e Programa Nacional de Biogás e Biometano (PNBB), entre outros.

Essas iniciativas possibilitaram alguns avanços recentes e a implementação de uma série de projetos referência em diversos setores, como: a Termoverde Caieiras, em São Paulo, a maior termelétrica movida a biogás de aterro sanitário da América Latina com potência instalada inicial de 29,5 MW; o Condomínio de Agroenergia para Agricultura Familiar/Ajuricaba, no Paraná, exemplo de gestão compartilhada de resíduos e efluentes, visando aumentar a capacidade instalada dos empreendimentos de biogás, otimizando sua viabilidade econômica; além da Unidade de Demonstração de Biogás e Biometano, localizada dentro da Central Hidrelétrica de Itaipu, primeira planta do Brasil a utilizar como matéria-prima uma mistura de esgoto, restos orgânicos de restaurantes e poda de grama, com tecnologia 100% nacional, custando menos de um terço de uma solução que seria importada da Alemanha., dentre outros exemplos.

Com isso, apesar do aproveitamento do biogás ser ainda incipiente no Brasil, o setor está em expansão, haja vista o crescimento de 30% de sua participação na matriz elétrica

brasileira de 2016 para 2017, sendo uma das fontes de energia que mais cresce no país (UDOP, 2017). Segundo a Abiogás, a expectativa é que o Brasil, até 2030, receba investimento na ordem de R\$ 50 bilhões em biogás gerado a partir de resíduos, principalmente dos setores sucroenergético, de alimentos e de saneamento e aumente sua capacidade instalada para 300MW até 2026.

Para estabelecer condições favoráveis à participação do biogás na matriz energética e tornar essa fonte amplamente disseminada no país, é necessário que o Brasil supere as barreiras, criando políticas de incentivo específicas para o biogás, melhorando a articulação entre os setores público e privado, investindo em tecnologia nacional de modo a superar essa barreira técnica e reduzir custos de investimento, reduzindo impostos, criando um ponto de consulta centralizado de informações legais e regulatórias com implicação direta sobre o negócio do biogás de modo a facilitar o acesso às informações, dentre outras medidas.

Em geral, uma estratégia que pode ser considerada nos próximos anos, diante dos desafios associados aos elevados custos de investimento e operação, é a formação de consórcios. A gestão compartilhada dos resíduos e efluentes, aumenta a capacidade instalada dos empreendimentos de biogás e reduz consideravelmente tanto os custos operacionais como os investimentos iniciais, viabilizando financeiramente a gestão de resíduos e efluentes, além da captura, queima do biogás e geração de energia.

Para o futuro, sugere-se estudar os mecanismos de incentivo adotados por outros países que inseriram com sucesso o biogás em suas respectivas matrizes energéticas, como Estados Unidos e Alemanha, de modo a identificar quais seriam os mais adequados para serem adotados e ajustados à realidade brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEGÁS. **ABNT deve definir neste mês norma para biometano.** 2015. Disponível em: <<http://www.abegas.org.br/Site/?p=49143>>. Acesso em: agosto de 2017.

ABIOGÁS. **ABiogás comemora resolução da ANP que estabelece regras para controle de qualidade do biometano oriundo de aterros sanitários e ETEs.** 2017. Disponível em: <<https://www.abiogas.org.br/anp-regulamentacao-biometano>>. Acesso em: julho de 2017.

ABIOGÁS. **Biometano de aterro sanitário e de estações de tratamento de esgoto em pauta na ANP.** Disponível em: <<https://www.abiogas.org.br/biometano-em-pauta-anp>>. Acesso em: julho de 2017.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos,** 2013.

ABRELPE, Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil,** 2015.

Agência Brasil. **Maior termelétrica com combustível renovável é inaugurada em São Paulo.** 2016. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2016-09/maior-termeletrica-com-combustivel-renovavel-e-inaugurada-em-sao-paulo>>. Acesso em: setembro de 2017.

ALVES, Helton José et al. **Overview of hydrogen production technologies from biogas and the applications in fuel cells.** international journal of hydrogen energy, v. 38, n. 13, p. 5215-5225, 2013.

ALVES, Raíza Silva; DE OLIVEIRA, Louise Antunes; DE LAVOR LOPES, Paloma. **CRÉDITO DE CARBONO: O mercado de crédito de carbono no Brasil.** Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, 2013.

ANEEL. **Geração Distribuída.** Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoes-tecnicas/-/asset_publisher/CegkWaVJWF5E/content/geracao-distribuida-introducao-1/656827?inheritRedirect=false>. Acesso em: setembro de 2017.

ANP. **Produção e fornecimento de biocombustíveis.** Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/producao-de-biocombustiveis>>. Acesso em: julho de 2017.

BASSO, Renata Lúcia; DE OLIVEIRA BERTAGNOLLI, Daniele Dias; DOS SANTOS, Lucas Almeida. **Análise econômico-financeira mediante geração e comercialização de créditos de carbono.** Revista Ambiente Contabil, v. 9, n. 2, p. 296, 2017.

BiodieselBR. **Brasil bate recorde de importação de diesel no 1º semestre de 2017.** Disponível em: <<https://www.biodieselbr.com/noticias/regulacao/dist/importacao-diesel-primeiro-semester-foi-maior-historia-100717.htm>>. Acesso em: agosto de 2017.

Canal – Jornal da Bioenergia. **Retrospectiva Canal/Produção de biogás tem grande potencial, mas depende de incentivos.** 2017. Disponível em: <<http://www.canalbioenergia.com.br/apesar-dos-recursos-disponiveis-producao-de-biogas-ainda-e-pequena/>>. Acesso em: agosto 2017.

CANAL ENERGIA. **Biogás tem potencial equivalente a 25% da energia do país, aponta ABiogás.** 2017. Disponível em: <<https://www.abiogas.org.br/potencial-biogas-canal-energia>>. Acesso em: agosto de 2017.

CHERNICHARO, C. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997. 379p

CHESBROUGH, Henry. **Business model innovation: opportunities and barriers.** Long range planning, v. 43, n. 2, p. 354-363, 2010.

CHESBROUGH, Henry; ROSENBLOOM, Richard S. **The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies.** Industrial and corporate change, v. 11, n. 3, p. 529-555, 2002.

CIBiogás. **A unidade gera energia elétrica no modelo de Geração Distribuída e apresenta grandes resultados com o uso do biofertilizante.** Disponível em: <<https://cibiogas.org/colombari>> Acesso em outubro de 2017.

CIBiogás. **CIBiogás e Itaipu inauguram planta de biogás para a geração de biometano.** 2017. Disponível em: <<https://www.cibiogas.org/inauguracaoud>>. Acesso em: outubro de 2017.

COPASA. **ETE Sustentável.** 2017. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/wps/portal/internet/esgotamento-sanitario/valorizacao-do-esgoto/conteudos/ete-sustentavel>>. Acesso em: setembro de 2017.

CRUZ, André Camargo. et. al. **Fertilizantes organominerais de resíduos do agronegócio: avaliação do potencial econômico brasileiro.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 45, 2017.

Diário do Transporte. **PL do RenovaBio passa a tramitar em caráter de urgência na Câmara.** 2017. Disponível em: <<https://diariodotransporte.com.br/2017/11/23/pl-do-renovabio-passa-a-tramitar-em-carater-de-urgencia-na-camara/>>. Acesso em: novembro de 2017.

EBA, EuropeanBiomassAssociation. A Biogas Road Map for Europe, 2010.

EMBRAPA. **País terá de investir em novos biocombustíveis para cumprir Acordo de Paris.** 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/26021588/pais-tera-de-investir-em-novos-biocombustiveis-para-cumprir-acordo-de-paris>> Acesso em: setembro de 2017.

EMBRAPA. **Plano ABC – Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-agricultura-de-baixo-carbono/sobre-o-tema>> Acesso em: agosto de 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. PEMAT - **Plano Decenal de Expansão da Malha de Transporte Dutoviário** – Pemat 2022. Brasília: 2014c.

ESTADÃO. **O Acordo de Paris e o novo paradigma legal e econômico das mudanças climáticas.** 2016. Disponível em: <<http://politica.estadao.com.br/blogs/fausto-macedo/o-acordo-de-paris-e-o-novo-paradigma-legal-e-economico-das-mudancas-climaticas/>>. Acesso em: novembro de 2017.

FELDMANN, Simone. **Projeto de Ecoparque em Tijucas promete reaproveitar lixo descartado na Grande Florianópolis.** 2017. Disponível em: <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/estilo-de-vida/noticia/2017/08/projeto-de-ecoparque-em-tijucas-promete-reaproveitar-lixo-descartado-na-grande-florianopolis-9881147.html>>. Acesso em: setembro de 2017.

FERRAZ, José Maria Gusmann; MARRIEL, Ivanildo Evódio. **Biogás: fonte alternativa de energia.** Embrapa Milho e Sorgo-Circular Técnica (INFOTECA-E), 1997.

FRITZ, Natally et al. **Produção de Biogás a Partir da Degradação de Resíduos da Agroindústria de Biodiesel.** MAIA, v. 2, p. 1, 2010.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. **Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo-PR.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GEO Energética. **GEO apresenta solução para produzir energia a partir dos resíduos da agroindústria, com aumento da área agrícola.** 2013. Disponível em: <<http://www.geoenergetica.com.br/imprensa/19/GEO-apresenta-solucao-para-produzir-energia-a-partir-dos-residuos-da-agroindustria--com-aumento-da-area-agricola>>. Acesso em: outubro de 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 3º Edição. São Paulo: Atlas, 1991.

GOMES et al. **Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás.** 1º Edição. Brasília: Coletânea de publicações do PROBIOGÁS, 2016.

GONÇALVES TONDOLO, Vilmar Antonio; SCHNEIDER, Luis Carlos. **Vantagens logísticas e cadeia de valor na rede de empresas: o caso de uma rede gaúcha de pequenas farmácias.** Revista Alcance, v. 12, n. 2, 2005.

HEINZ, Peter Schnicke. **Comercialização de subprodutos de uma planta de biogás.** 1º Edição. Brasília: Coletânea de publicações do PROBIOGÁS, 2015.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas.** Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf>. Acesso em: outubro de 2017.

IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf> Acesso em: outubro de 2017.

IPEA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrossilvopastoris e a questão dos catadores.** 2012. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/ruralbr/balano-resduos-slidos-do-ipea>> Acesso em: outubro de 2017.

JENDE, Oliver. **Barreiras e propostas de soluções para o mercado de biogás no Brasil.** 1º Edição. Brasília: Coletânea de publicações do PROBIOGÁS, 2016.

KAPDI, S.S., VIJAY, V.K., RAJESH, S.K., PRASAD R., (2005), “**Biogás scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context**”, Renewable Energy , 30, 1195 – 1202 pp.

LA FARGE, B. **Le Biogaz – Procèdes de Fermentation Méthanique.** Paris: Masson, 1979.

LOBATO, L.C.S. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico.** Tese (Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LOUZADA, A. G. **Avaliação da atividade metanogênica específica de lodos com condicionamento hidrolítico provenientes dos sistemas UASB + BFs.** 2006. 145p. Tese (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

MENEGUIN, Fernando. **O que é o mercado de carbono e como ele opera no Brasil?.** 2012. Disponível em: <<http://www.brasil-economia-governo.org.br/2012/08/13/o-que-e-o-mercado-de-carbono-e-como-ele-opera-no-brasil/>>. Acesso em: setembro de 2017.

MILENA, Lilian. **Usina de Biogás é maior empreendimento de créditos de carbono do Brasil.** 2010. Disponível em: <<http://jornalgggn.com.br/materia-artigo/usina-de-biogas-e-maior-empreendimento-de-creditos-de-carbono-do-brasil>>. Acesso em: setembro de 2017.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB**. 2016. Disponível em: <<https://www.cidades.gov.br/saneamento-cidades/plansab>>. Acesso em: julho de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Acompanhamento da Indústria de Gás Natural - junho de 2017**. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138769/12566999/Boletim+Mensal+de+Acompanhamento+da+Ind%3%BAstria+de+G%3%A1s+Natural_Junho2017+ok.pdf/eff5c15f-7601-4eca-b537-42ebcb1d29c3>. Acesso em: setembro de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Boletim Mensal de Energia - janeiro de 2017**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/7994286/Boletim+Mensal+de+Energia+jan+2017.pdf/f9f255a3-7c0e-491d-8f6a-672907692b77>>. Acesso em: setembro de 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Renovabio**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-combustiveis-renovaveis/programas/renovabio/principal>>. Acesso em: setembro de 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Acordo de Paris**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>> Acesso em: julho de 2017.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/pol%3%ADtica-de-res%3%ADduos-s%3%B3lidos>> Acesso em: junho de 2017.

NOVA CANA. **A diferença entre o imposto sobre carbono e o RenovaBio**. 2017. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/etanol/impostos/diferenca-imposto-carbono-renovabio-221117/>>. Acesso em: dezembro de 2017.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Brasil tenta regular novo mercado de carbono**. 2016. Disponível em: <http://www.observatoriodoclima.eco.br/brasil-tenta-regular-novo-mercado-de-carbono/>. Acesso em: novembro de 2017.

OLIVEIRA, Paula Aguiar de. **Fatores Críticos Para o Aproveitamento do Biogás no Brasil**. Monografia (Engenharia de Bioprocessos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2016.

OSTERWALDER, Alexander; PIGNEUR, Yves. **Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers**. John Wiley & Sons, 2010.

PEREIRA, Rafael Leal Ferraz. **Implementação do Biogás: Exploração de Aspectos Técnicos e Mercadológicos**. Monografia (Engenharia de Bioprocessos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2014.

PICA, Cesare Quinteiro; TONIELO, Mayara Letícia. **Sistemas cooperados de produção de biogás e geração de energia: análise de casos e modelagem de negócio de projeto em santa catarina.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 4, p. 330-346, 2015.

PIONEIRO. **Biogás e biometano ainda são pouco explorados no Brasil.** 2017. Disponível em: <<http://pioneiro.clicrbs.com.br/rs/economia/noticia/2017/06/biogas-e-biometano-ainda-sao-pouco-explorados-no-brasil-9815308.html>>. Acesso em: julho de 2017.

PORTAL BRASIL. **Entenda como funciona o mercado de crédito de carbono.** 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/entenda-como-funciona-o-mercado-de-credito-de-carbono>>. Acesso em: outubro de 2017.

REGO, João. **Estratégia e Inovação: Agarrando as Oportunidades.** 2014. Disponível em: <<http://joaorego.com/2014/05/27/estrategia-e-inovacao-agarrando-as-oportunidades-24/>>. Acesso em: abril de 2017

REZENDE, Frederico. **O Modelo de Cadeia de Valor de Michael Porter.** 2015. Disponível em: <<http://www.gestaoporprocessos.com.br/o-modelo-de-cadeia-de-valor-de-michael-porter/>> Acesso em: abril de 2017.

ROSA, André Pereira et al. **Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso Estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira).** Eng. sanit. ambient, v. 21, n. 2, p. 315-328, 2016.

RYCKEBOSCH, E.; DROUILLON, M.;VERVAEREN, H. **Techniques for transformation of biogas to Biomethane,** Biomass & Bioenergy, v. 35, n.5, p. 1633-1645, 2011.

SALAZAR, Adriane Ricartes Guimarães. **Estudo da Utilização do Biogás como Fonte de Energia Renovável no Processo Produtivo de Indústria de Bebidas.** Dissertação (Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2014.

SALOMON, Karina Riberio. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para geração de Eletricidade.** Tese (Doutorado em Conversão de Energia). Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, 2007.

SANTOS, R. B., LIMA, A. K. C. **Análise Comparativa do Biogás: Processo em Biodigestores e de Aterro.** Revista Eletrônica de Energia. Salvador. v. 6, n. 1, p. 48-57, jan./dez. 2016.

Sebigas-Cótica. **ANP libera biometano de resíduos sólidos urbanos.** Disponível em: <<http://sebigascotica.com.br/residuos-solidos-urbanos/anp-libera-biometano-de-residuos-solidos-urbanos.html>>. Acesso em: julho de 2017.

Sebigas-Cótica. **Investimento em biogás deve atingir R\$ 50 bilhões até 2030.** Disponível em: <<http://sebigascotica.com.br/noticias/investimentos-em-biogas.html>>. Acesso em: agosto de 2017.

Sebigas-Cótica. **Propostas das Instituições Presentes na Reunião de Construção do Renovabio Biocombustíveis.** Disponível em: <http://sebigascotica.com.br/wp-content/uploads/2017/07/Propostas_para_Biogas_e_Biometano_16022017100238.pdf?x54489>. Acesso em: setembro de 2017.

SGANZERLA, E. **Biodigestores: Uma Solução.** Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SILVA JUNIOR, A. C. **Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): promotores de transferência de tecnologia e tecnologias mais limpas no Brasil.** Tese (Doutorado em Engenharia Industrial). Faculdade Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos,** 2014.

SOUZA, Marcos Eduardo de. **Fatores que influenciam a digestão anaeróbia.** Revista DAE. V.44. n. 137. Junho de 1984.

SOUZA, Maria Luiza Borges; LAGE FILHO, Frederico de Almeida. **Emprego de biodigestores anaeróbios no aproveitamento energético de resíduos animais e controle da poluição ambiental.** Revista Oswaldo Cruz. ano 1, n.3 julho-setembro 2014.

SUN, Q.; LI, H.; YAN, J.; LIU, L.; YU, Z.; YU, X. **Selection of appropriate biogas upgrading technology – review of gas cleaning, upgrading and utilization.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. v. 51, p. 521 – 532, 2015.

TEECE, David J. **Business models, business strategy and innovation.** Long range planning, v. 43, n. 2, p. 172-194, 2010.

TRENDEWICZ, A.A.; BRAUN, R.J. **Techno-economic Analysis of Solid Oxide Fuel Cell-Based Combined Heat and Power Systems for Biogas Utilization at Wastewater Treatment Facilities.** Journal of Power Sources 233 380 - 393, 2013.

UDOP. **Produção de biogás no Brasil cresce 30% em um ano. 2017.** Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1148168>>. Acesso em: agosto de 2017.

ZANETTE, André Luiz. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil.** Dissertação (Programa de Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2009.

ZOGHBI, Eduarda Oliveira. **Perspectivas para o mercado de carbono pós- COP21,** 2017.

ANEXO A - Produção estimada de biogás e biometano de distintos substratos

Grupamento	Substrato	ST (%)	Relação SV/ST (%)	Produtividade de biogás (l/kg SV)	CH ₄ (%)	Degradabilidade dos SV (%)
Resíduos Sólidos Urbanos	Fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos	25	70	615	60	55
Efluentes líquidos	Lodo de estação de tratamento de esgoto sanitário	1	72	450	65	45
Efluentes líquidos	Esgoto sanitário	35	82	450	65	45
Resíduos agropecuários	Dejetos de bovinos	10	85	380	60	40
Resíduos agropecuários	Dejetos de suínos	5	85	450	60	50
Resíduos agropecuários	Dejetos de aves	30	75	550	60	50
Resíduos agropecuários	Dejetos de ovinos com palha	30	80	450	55	45
Resíduos agropecuários	Dejetos com equinos com palha	28	75	300	55	30
Resíduos agropecuários	Resíduos vegetais	15	78	560	60	60
Resíduos agropecuários	Feno	85	92	550	53	60
Resíduos agropecuários	Silagem de sorgo	28	90	610	52	65
Resíduos agroindustriais	Glicerina	98	95	850	50	85
Resíduos agroindustriais	Sangue	18	92	685	70	90
Resíduos agroindustriais	Rúmen	15	84	480	55	50
Resíduos agroindustriais	Conteúdo estomacal de porcos	14	80	450	60	50

Tabela 8 Produção estimada de biogás e biometano de distintos substratos

Fonte: GOMES et al., 2016: pág 71

ANEXO B - Quadro de Modelo de Negócios

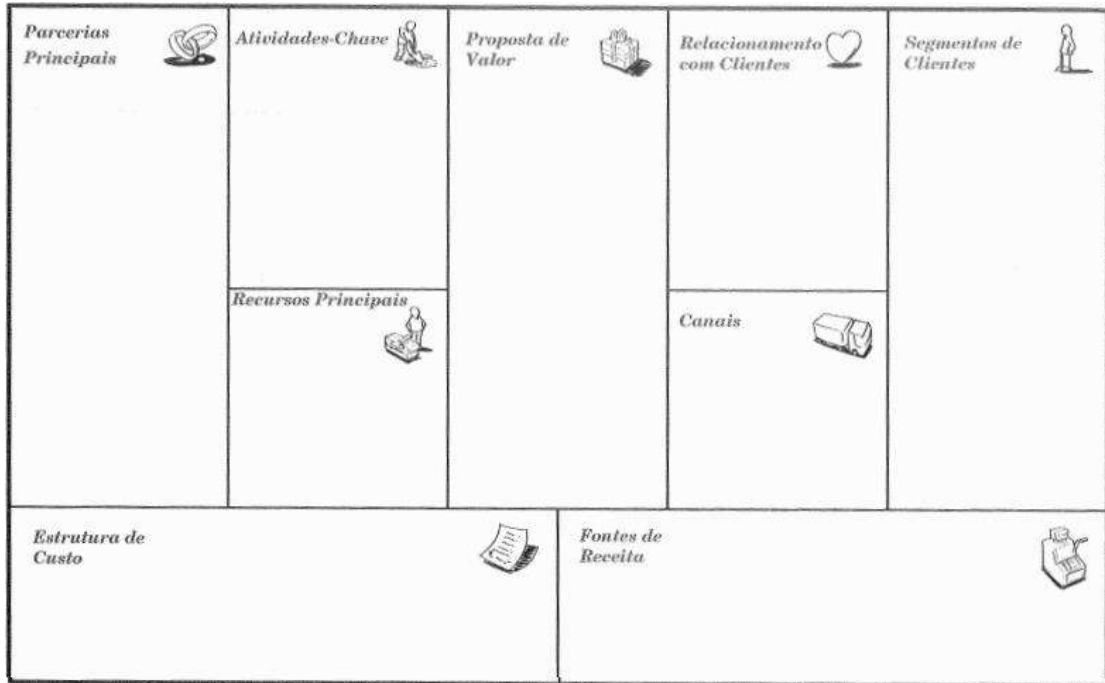


Figura 10 Quadro de Modelo de Negócios

Fonte: OSTERWALDER; PIGNEUR, 2010: pág 44

ANEXO C - Especificações do Biometano

Característica	Unidade	Limite	
		Região Norte – Urucu	Demais Regiões
Metano	% mol	90,0 a 9,0 ²	96,5 min.
Oxigênio, máx.	% mol	0,8	0,5
CO ₂ , máx.	% mol	3,0	3,0
CO ₂ + O ₂ + N ₂ , máx.	% mol	10,0	3,5
Enxofre total, máx ³ .	Mg/m ³	70	70
Gás Sulfídrico [H ₂], máx.	Mg/m ³	10	10
Ponto de orvalho de água a 1atm, máx.	°C	-45	-45

Tabela 9 Especificações do Biometano

Fonte: GOMES et al., 2016: pág 88

Observações: (1) O biometano deve ser isento de partículas sólidas ou líquidas, devendo ser usado um filtro de 0,2 µm no produtor e 1,0 µm no revendedor varejista.; (2) A especificação de 90,0 a 94,0% mol de metano deve ser seguida somente nas localidades da Região Norte abastecidas pelo gás natural de Urucu.; (3) A odorização do biometano, quando necessária, deverá atender à norma ABNT NBR 15616.; (4) O ponto de orvalho de água deve ser calculado por meio da norma ISO 18453, quando se usar método para a determinação do teor de água.

ANEXO D – Limites máximos de contaminantes admitidos em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos

A tabela 10 apresenta limites máximos de contaminantes admitidos em substrato para plantas e em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo, estabelecidos pela Instrução Normativa nº 27, de 05/06/2006, alterada pela IN SDA 07 de 12/04/2016.

Contaminante	Valor máximo admitido em substrato para plantas e condicionadores de solo	Valor máximo admitido em fertilizantes orgânicos
Sementes ou qualquer material de propagação de ervas daninhas	0,5 planta por litro, avaliado em teste de germinação	-
As espécies fitopatogênicas dos fungos do Gênero Fusarium, Phytophthora, Pythium, Rhizoctonia e Scleroctinia	Ausência	-
Arsênio (mg/kg)	20	20
Cádmio (mg/kg)	8	3
Chumbo (mg/kg)	300	150
Cromo (mg/kg)	500	200
Mercúrio (mg/kg)	2,5	1
Níquel (mg/kg)	175	70
Selênio (mg/kg)	80	80
Coliformes termotolerantes – número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1000	1000
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)	1	1
Salmonella sp.	Ausência em 10g de matéria seca	Ausência em 10g de matéria seca

Tabela 10 Limites máximos de contaminantes admitidos em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos

Fonte: GOMES et al., 2016: pág 113