

**BIOGÁS**

**CONCEITOS PARA O  
LICENCIAMENTO AMBIENTAL  
DE USINAS DE BIOGÁS**

---

**BIOGÁS**

**CONCEITOS PARA O  
LICENCIAMENTO AMBIENTAL  
DE USINAS DE BIOGÁS**

---

**Coletânea de publicações do PROBIOGÁS**  
Série Desenvolvimento do Mercado de Biogás

1ª Edição  
Ministério das Cidades  
Brasília, 2016

*República Federativa do Brasil*

**Presidente da República**

Michel Temer

**Ministro das Cidades**

Bruno Araújo

**Secretário Executivo do Ministério das Cidades**

Luciano Oliva Patrício

**Secretário Nacional de Saneamento Ambiental**

Alceu Segamarchi

**Chefe de Gabinete**

Gustavo Zarif Frayha

**Diretor de Articulação Institucional**

Ernani Ciríaco de Miranda

**Diretor de Desenvolvimento e Cooperação Técnica**

Hélio de Freitas (Diretor substituto)

**Diretor de Águas e Esgotos**

Johnny Ferreira dos Santos

*Apoio Técnico*

Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ).

**Diretor Nacional:** Wolf Michael Dio

**Coordenador do Projeto:** Wolfgang Roller

*Informações legais*

*As idéias e opiniões expressas neste livro são dos autores e não refletem necessariamente a posição do Ministério das Cidades, da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental ou da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.*

*A duplicação ou reprodução de todo ou partes (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que o projeto PROBIOGÁS seja citado como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento por escrito do Ministério das Cidades e da GIZ.*

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação [CIP]

Bibliotecário Responsável: Illy Guimarães B. Batista [CRB/DF 2498]

Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás.

Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás / Probiogás ; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ] ; autores, Felipe Correa de Souza Pereira Gomes ... [et al.]. – Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2016.

147 p. : il. – [Desenvolvimento do mercado de biogás; 3]

ISBN: 978-85-7958-057-4

1. Usina de biogás – aspectos tecnológicos - Brasil. 2. Usina de biogás – aspectos técnicos - Brasil. 3. Usina de biogás – aspectos ambientais - Brasil. 4. Usina de biogás – regulamentação - Brasil. 5. Energia – fontes alternativas. I. Ministério das Cidades. II. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH [GIZ]. III. Gomes, Felipe Correa de Souza Pereira. IV. Título. V. Série.

CDD 665.776

CDU 662.767.2



## Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil

[www.cidades.gov.br/probiogas](http://www.cidades.gov.br/probiogas)

O Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS – é um projeto inovador, fruto da cooperação técnica entre o Governo Brasileiro, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, e o Governo Alemão, por meio da Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ). Com o objetivo de contribuir para a ampliação do uso energético eficiente do biogás e, por conseguinte, para a redução de emissões de gases indutores do efeito estufa, o projeto conta com uma rede de parcerias nas esferas governamental, acadêmica e empresarial e possui vigência entre os anos de 2013 e 2017.

Para alcançar tais objetivos, o PROBIOGÁS desenvolve atividades em três linhas: (1) *condições-quadro*, atuando junto a órgãos governamentais em prol da melhoria das condições regulatórias relacionadas à produção de energia a partir do biogás; (2) *cooperação científica*, aproximando instituições de ensino e de pesquisa brasileiras entre si e das alemãs; e, (3) *cadeia de valor*, com o intuito de fomentar a indústria brasileira para produção nacional de tecnologia e de aproximar empresas brasileiras e alemãs para o intercâmbio de conhecimento. Além dessas atividades, o PROBIOGÁS busca capacitar profissionais brasileiros em diversos níveis, contemplando os atores que integram a cadeia de biogás e objetivando fortalecer o mercado de biogás no Brasil.

A realização da parceria Brasil-Alemanha possibilita a transferência do conhecimento e da experiência alemã sobre o aproveitamento do biogás gerado a partir do tratamento de efluentes e de resíduos, cuja expertise é reconhecida mundialmente. Neste contexto, o PROBIOGÁS assume papel relevante, indutor do desenvolvimento de tecnologias nacionais para o aproveitamento do biogás, possibilitando um retorno positivo para o setor saneamento básico no Brasil, em função do potencial de incremento na viabilidade técnica e econômica das plantas e instalações de tratamento de esgotos e de resíduos sólidos, a partir da geração de energia proveniente dos processos de biodegradação da fração orgânica.

Para melhor inserir o Projeto nas políticas nacionais foi criado um Comitê Gestor interministerial com a função de assegurar a integração entre as diversas áreas do Governo Federal com atuação no tema. O Comitê é formado pelos seguintes órgãos: Ministérios das Cidades, do Meio Ambiente, da Ciência, Tecnologia e Inovação, das Minas e Energia, da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, assim como a GIZ.

### Ministério das Cidades



MINISTÉRIO DAS  
CIDADES



### *Coordenação do projeto PROBIOGÁS*

Ernani Ciríaco de Miranda (Ministério das Cidades) e Wolfgang Roller (GIZ)

---

### Publicado por

Projeto Brasil–Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS (Projeto de Cooperação Técnica Bilateral entre a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades – SNSA/MCidades e a Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável – GIZ)

---

### Contatos

#### *SNSA/MCidades*

Setor de Autarquias Sul, Quadra 01, Lote 01/06, Bloco H, Ed. Telemundi II  
CEP: 70070-010, Brasília – DF, Brasil. Telefone: +55 (61) 2108-1000  
[www.cidades.gov.br](http://www.cidades.gov.br)

#### *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*

SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501 – 15º andar Ed. Brasília Trade Center,  
CEP: 70711-902, Brasília-DF, Brasil. Telefone: +55 (61) 2101-2170  
[www.giz.de/brasil](http://www.giz.de/brasil)

---

### Expediente

#### *Autores*

Amanda Canhestro Saraiva (Methanum); Catarina Azevedo Borges (Methanum); Felipe Correia de Souza Pereira Gomes (Methanum); Ludmila leal dos Santos (Methanum); Luis Felipe Colturato (Methanum); Oliver Jende (Rotária do Brasil); Sebastian Rosenfeldt (Rotária do Brasil); Tathiana Almeida Seraval (Methanum); Thiago Dornfeld Braga Colturato (Methanum); Valdilene Silva Siqueira (Methanum); Witan Pereira Silva (Methanum).

#### *Revisores*

Antônio Augusto Melo Malard (FEAM), Aruntho Savastano Neto (CETESB), Bianca Damo Ranzi (FATMA), Cristiano Kenji Iwai (CETESB), Dirlene Cavalcanti e Silva (IAP), Ivonete Coelho da Silva Chaves (IAP), Luana de Oliveira Barros (SEMAD), Mariana Figueiredo Lopes (FEAM), Mariana Mota Godke (FATMA), Roberta Knopki (GIZ), Rossana Baldanzi (IAP), Wagner Santos (consultor).

#### *Capa, projeto gráfico e diagramação*

Estúdio Marujo

## PREFÁCIO

A Lei de diretrizes nacionais para o saneamento básico – Lei 11.445/2007 – estabelece que a prestação dos serviços terá a sustentabilidade econômico-financeira assegurada e, sob os aspectos técnicos, atenderá a requisitos que garantam a qualidade adequada. Por sua vez, a Lei que institui a política nacional de resíduos sólidos – Lei 12.305/2010 – estabelece a obrigatoriedade da coleta seletiva e determina que apenas os rejeitos devem ser encaminhados a aterros sanitários (regra que ficou conhecida no país como o “fim dos lixões”). Tais elementos reforçam o grande desafio, enfrentado pelo Brasil, de ampliar os níveis de tratamento dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos.

O Plano Nacional de Saneamento Básico – Plansab –, aprovado em dezembro de 2013, com um horizonte de 20 anos, destaca que um dos princípios fundamentais da política de saneamento diz respeito à matriz tecnológica que orienta o planejamento e a política setorial. Segundo o Plansab, planejar o saneamento básico no país, com um olhar de longo prazo, necessariamente envolve a prospecção dos rumos tecnológicos que o setor pode e deve trilhar. Cabe à política de saneamento básico identificar tendências, nacionais e internacionais, segundo as quais a matriz tecnológica do saneamento vem se moldando, o que supõe também procurar enxergar novos conceitos, ainda que sejam antigas formulações em novas roupagens, ou novos desafios que pressionam no sentido de mudanças paradigmáticas. Neste sentido, temas como a sustentabilidade, a gestão integrada das águas urbanas, o saneamento ecológico e o combate às mudanças climáticas globais podem ser evocados como exemplos.

Neste contexto, o PROBIOGÁS é um instrumento de grande importância para a implementação do Plansab. O aproveitamento energético do biogás nos processos de tratamento dos esgotos sanitários e dos resíduos sólidos urbanos, consagrado em diversos países, representa um pequeno esforço de modernização das instalações dos sistemas brasileiros com impactos altamente positivos na sustentabilidade econômico-financeira, na qualidade dos processos de tratamento e na melhoria do meio ambiente, contribuindo de forma efetiva para a redução dos gases de efeito estufa.

Espera-se que os resultados do PROBIOGÁS possibilitem a inserção do aproveitamento energético do biogás na pauta dos governos e prestadores de serviços de saneamento, de modo a fazer com que esta fonte renovável de energia seja utilizada em toda a sua potencialidade, dentro da realidade brasileira, contribuindo também para a geração distribuída de energia e a maior diversificação da matriz energética nacional.

## APRESENTAÇÃO DA COLETÂNEA

A Coletânea de Publicações do PROBIOGÁS é uma relevante contribuição governamental aos profissionais brasileiros que atuam em diferentes setores da infraestrutura, energia renovável, inovação tecnológica e, em especial, no setor de saneamento. Essa coletânea é composta por cadernos técnicos que tratam do biogás como tema central.

A coletânea é dividida em quatro séries, cada uma agrupando um conjunto de publicações que contribuem para uma determinada área do conhecimento e/ou de atuação no tema.

### BIOGAS

A primeira série é intitulada **Desenvolvimento do Mercado de Biogás**, abreviada como **BIOGÁS**, composta por publicações que tratam de aspectos tecnológicos da geração e utilização do biogás, do processo de licenciamento ambiental de plantas e instalações, da comercialização de co-produtos de plantas de biogás, entre outros tópicos pertinentes à estruturação da cadeia produtiva e à consolidação de um mercado nacional.

### RSU

A segunda série aborda a utilização energética do biogás gerado a partir da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, questão extremamente atual no contexto técnico e institucional do saneamento ambiental brasileiro. Denominada **Aproveitamento Energético do Biogás de Resíduos Sólidos Urbanos** e abreviada simplesmente como **RSU**, esta série abordará, entre outros tópicos, a metodologia e tecnologia da metanização seca e estudos de viabilidade técnica e econômica.

### ETE

A terceira série é chamada **Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto**, simbolizada pela sigla **ETE**, composta por publicações que tratam de aspectos técnicos, desde o projeto à operação, de estudos de viabilidade técnica e econômica, e de orientações para a licitação de sistemas de tratamento que contemplem o biogás.

### RA

Finalmente, a quarta série abordará a utilização do biogás oriundo dos resíduos das atividades agrícolas, pecuárias e da agroindústria, que possuem um elevado potencial de aproveitamento no país. Intitulada **Aproveitamento Energético do Biogás de Resíduos Agrosilvopastoris**, abreviada simplesmente como **RA**, as publicações versarão sobre os resíduos da suinocultura, comercialização de biofertilizante, entre outros tópicos.

Por oportuno, informamos que todas as Publicações da Coletânea estão disponíveis para download na página do Projeto PROBIOGÁS, hospedado no site da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades: [www.cidades.gov.br/probiogas](http://www.cidades.gov.br/probiogas)

## APRESENTAÇÃO

O Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil – PROBIOGÁS – é um projeto inovador no país, coordenado pelo Ministério das Cidades e pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, agência que integra a cooperação alemã para o desenvolvimento sustentável.

O objetivo principal do PROBIOGÁS é ampliar o aproveitamento energético de biogás no Brasil, por meio do apoio técnico nas esferas governamental, empresarial e acadêmica, além da realização de ações voltadas para a capacitação as quais se desenvolvem em todas as esferas mencionadas.

A promulgação de leis federais voltadas para questões ambientais e de saúde pública – tais como a Lei nº 11.445/07, que instituiu a Política Nacional de Saneamento Básico; a Lei nº 12.187/09, que institui a Política Nacional sobre Mudança no Clima; a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos –, juntamente com uma maior preocupação ambiental da sociedade civil mundial, principalmente pautada nas questões de demanda energética renovável, criaram um cenário favorável ao desenvolvimento de tecnologias de biogás no Brasil.

A inserção dessas novas tecnologias no país depende, dentre muitos outros fatores, do licenciamento ambiental, que pode ser complicado, por se tratar de uma tecnologia inovadora, com poucas referências já implementadas e pouca informação técnica sobre sua operação e possíveis impactos ambientais. Soma-se a isso a multidisciplinariedade dos projetos de aproveitamento energético de biogás, que se encaixam nos setores de saneamento, da indústria, da agricultura e de produção de energia termelétrica.

Este estudo, elaborado por especialistas nas áreas de biogás e saneamento, em conjunto com especialistas de diferentes órgãos ambientais do Brasil, visa compilar aspectos da digestão anaeróbia, além de conceitos e critérios técnicos dos diferentes projetos de usinas de biogás. As informações fornecidas baseiam-se no estado da arte das tecnologias no mundo, sempre atentando às diferentes condições do Brasil em relação aos países nos quais estas tecnologias já estão consolidadas, no que diz respeito, principalmente, às características ambientais e setoriais às quais estão relacionadas.

Com a publicação deste estudo, tem-se como objetivo informar tecnicamente profissionais atuantes nos processos de licenciamento sobre tecnologias que apresentam tendência de crescimento no país, em importância e número de usinas.



# SUMÁRIO

---

17	<b>1 INTRODUÇÃO</b>
----	---------------------

---

19	<b>2 ASPECTOS DO ENQUADRAMENTO DOS PROJETOS DE BIOGÁS</b>
19	2.1 Resíduos sólidos urbanos – RSU
25	2.2 Efluentes líquidos municipais
32	2.3 Agropecuária
37	2.4 Agroindústria

---

43	<b>3 COMPONENTES TECNOLÓGICOS DE USINAS DE BIOGÁS</b>
43	3.1 Sistemas de armazenamento de substrato
46	3.2 Sistemas de geração de biogás
54	3.3 Transporte/controlado/armazenamento de gás
58	3.4 Sistemas para conversão/uso do biogás
64	3.5 Sistemas de pós-tratamento

---

68	<b>4 PARÂMETROS TÉCNICOS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS</b>
68	4.1 Produtividade de biogás em função do substrato
72	4.2 Parâmetros de produção do processo de metanização
81	4.3 Metodologias de cálculo de emissões de metano enquanto gás de efeito estufa (GEE)
82	4.4 Rendimentos do biogás de acordo com o uso

---

90	<b>5 ASPECTOS/IMPACTOS AMBIENTAIS E QUESTÕES DE SEGURANÇA EM USINAS DE BIOGÁS</b>
91	5.1 Zoneamento como medida de prevenção ao risco de incêndio e explosão
94	5.2 Principais aspectos/impactos ambientais e medidas preventivas relacionadas
98	5.3 A importância do monitoramento na rotina operacional em usinas de biogás
101	5.4 Boas práticas para controle de vazamentos, emissões atmosféricas e odorantes

107	<b>6 REGULAMENTAÇÕES</b>
107	6.1 Regularização ambiental
110	6.2 Aproveitamento energético do biogás
112	6.3 Produção, comercialização e utilização do composto
114	6.4 Normas regulamentadoras em geral

---

115	<b>7 PERGUNTAS E RESPOSTAS</b>
-----	--------------------------------

---

126	<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>
-----	-------------------------------------

---

135	<b>9 ANEXOS</b>
-----	-----------------

## LISTA DE FIGURAS

23	<b>1:</b> Fluxograma típico de planta de biogás a partir de RSU
29	<b>2:</b> ETE convencional com sistema de lodos ativados
30	<b>3:</b> ETE com reator UASB e Filtro Biológico Percolador
35	<b>4:</b> Fluxograma do processo de tratamento de resíduos da suinocultura (dejetos animais)
36	<b>5:</b> Tamanho médio de usinas de metanização (CSTR) de resíduos agropecuários instaladas na Alemanha.
41	<b>6:</b> Fluxograma do processo de tratamento de resíduos e efluentes da indústria
44	<b>7:</b> Tanque de aço vitrificado para armazenamento temporário de substratos líquidos
45	<b>8:</b> Silo de superfície para armazenamento de substratos sólidos
46	<b>9:</b> CSTR com misturador central e pós-digestor com armazenamento de biogás
47	<b>10:</b> Lagoa anaeróbia coberta
48	<b>11:</b> Lagoa coberta com misturador (lagoa anaeróbia otimizada)
49	<b>12:</b> Reator horizontal de digestão seca contínua
50	<b>13:</b> Digestão seca descontínua (Güthersloh, Alemanha)
51	<b>14:</b> Esquema do processo de digestão seca descontínua
52	<b>15:</b> Desenho esquemático de um reator UASB
52	<b>16:</b> Modelo de UASB, SAMAE Jaraguá do Sul, SC
53	<b>17:</b> Digestor de lodo com formato oval, Alemanha
53	<b>18:</b> Corte de digestor de lodo de formato cilíndrico
55	<b>19:</b> Gasômetro de membrana com lastro (esq.) e gasômetro de tubos infláveis com lastro (dir.)
55	<b>20:</b> Reservatório de biogás com membrana dupla submetida a ar comprimido (esq.) e de balão de lona (dir.)
56	<b>21:</b> Modelos de queimadores para biogás
58	<b>22:</b> Tratamento conforme uso final
59	<b>23:</b> Esquema de funcionamento de um CHP.
60	<b>24:</b> Container com CHP
61	<b>25:</b> Caldeira dual fuel para geração de vapor de alta pressão.
62	<b>26:</b> Esquema de funcionamento de uma microturbina a gás.

63	<b>27:</b> Ônibus da Scania abastecido com biometano no Brasil.
65	<b>28:</b> Processos de pós-tratamento do material digerido conforme tecnologia de metanização e uso previsto
65	<b>29:</b> Material digerido proveniente do tratamento via úmida, via seca e via extrasseca, respectivamente (da esquerda para a direita).
66	<b>30:</b> Extrusora, filtro-prensa e malha.
66	<b>31:</b> Linha de centrífugas.
67	<b>32:</b> Material digerido proveniente de resíduos sólidos urbanos, antes [esq.] e após o peneiramento [dir.]
69	<b>33:</b> Composição típica de substratos orgânicos.
74	<b>34:</b> Variação do TDH em função da concentração de matéria orgânica no substrato e da COV aplicada no biodigestor.
79	<b>35:</b> Balanço de massa esquemático de uma planta de biogás.
80	<b>36:</b> Balanço de energia esquemático de uma planta de biogás.
84	<b>37:</b> Diagrama de Sankey de Grupo Gerador CHP de Gás Natural.
86	<b>38:</b> Diagrama de balanço de energia com as perdas do sistema.
93	<b>39:</b> Indicação de zonas de explosão de uma usina de biogás com relação a suas principais instalações.
94	<b>40:</b> Fluxograma do processo de metanização

## LISTA DE TABELAS

22	<b>1:</b> Composição média do RSU bruto e potencial de produção de biogás
22	<b>2:</b> Caracterização de resíduos orgânicos segregados na fonte.
27	<b>3:</b> Características físico-químicas de esgotos sanitários.
28	<b>4:</b> Características de lodos sanitários
34	<b>5:</b> Composição média dos substratos do setor agropecuário e potencial de produção de biogás
40	<b>6:</b> Composição média dos substratos do setor industrial e potencial de produção de biogás
42	<b>7:</b> Número de usinas de tratamento anaeróbio instaladas em algumas fábricas de cervejas e refrigerantes no país e suas respectivas produções de biogás.
57	<b>8:</b> Visão geral de vantagens e desvantagens de diferentes sensores de medição de vazão de gás.
69	<b>9:</b> Produção de biogás específica e teor de CH <sub>4</sub> dos respectivos grupos de substâncias
70	<b>10:</b> Produção estimada de biogás e biometano de distintos substratos
81	<b>11:</b> Setores que possuem metodologias para cálculo de emissões de CH <sub>4</sub>
83	<b>12:</b> Faixas típicas de PCI e IW para alguns gases.
85	<b>13:</b> Valores máximos e mínimos de eficiência encontrados para cada faixa de potência
88	<b>14:</b> Especificações do biometano
88	<b>15:</b> Síntese dos valores de consumo de GNV dos modelos pesquisados
89	<b>16:</b> Comparação do biometano com outros combustíveis, em relação ao seu conteúdo energético
94	<b>17:</b> Principais aspectos /impactos em usinas de metanização e ações preventivas recomendadas.
99	<b>18:</b> Checklist de inspeção de rotina em usinas de biogás
102	<b>19:</b> Boas práticas ambientais para usinas de biogás
108	<b>20:</b> Diferentes normativas estaduais que regulamentam a produção e utilização do biogás com finalidades energéticas no Brasil.
113	<b>21:</b> Limites máximos de contaminantes admitidos em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos
114	<b>22:</b> Cargas acumuladas teóricas permitidas de substâncias inorgânicas pela aplicação.

## Abreviações

---

ABIEC	Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne
Abiogás	Rendimento de Biogás
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
a/c	Relação Estequiométrica Ar/Combustível
Ace	Autoconsumo Energético, Térmico ou Elétrico, Específico
ACH <sub>4</sub>	Rendimento de Metano
ACt	Autoconsumo Energético, Térmico ou Elétrico, da Usina Total
Ad	Área Agrícola Demandada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
APP	Área de Preservação Permanente
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
Bonsucro	Better Sugarcane Initiative
CCH <sub>4</sub>	Concentração de Metano
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Etino
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	Eteno
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDR	Combustível Derivado de Resíduos
CH <sub>4</sub>	Metano
CHP	Combined Heat and Power
CHV	Carga Hidráulica Volumétrica
CO	Monóxido de Carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
COA	Carga Orgânica Aplicada
COA <sub>in</sub>	Carga Orgânica Aplicada Afluente
COA <sub>out</sub>	Carga Orgânica Aplicada Efluente
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
COPAM	Conselho de Política Ambiental
COT	Carbono Orgânico Total
COV	Carga Orgânica Volumétrica
c <sub>p</sub>	Calor Específico Médio
CSTR	Continuous Flow Stirred Tank Reactor
CTF	Cadastro Técnico Federal
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DG	Digestibilidades
DQO	Demanda Química de Oxigênio
E <sub>B</sub>	Energia Térmica ou Elétrica Bruta Gerada
EE	Extrato Etéreo
E <sub>L</sub>	Energia Térmica ou Elétrica Líquida Gerada
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENN	Extratos Não Nitrogenados
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FATMA	Fundação do Meio Ambiente

FB	Fibra Bruta
$F_c$	Fator de Capacidade
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
GEE	Gases de Efeito Estufa
GNC	Gás Natural Comprimido
GNGGI	Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
GNL	Gás Natural Liquefeito
GNV	Gás Natural Veicular
$H_2$	Hidrogênio
$H_2S$	Sulfeto de Hidrogênio
$h_{ae}$	Entalpia da Água de Entrada
$h_{vs}$	Entalpia do Vapor de Saída
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBP	Instituto Brasileiro de Petróleo
ICONE	Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISCC	International Sustainability & Carbon Certification
ISO	International Organization for Standardization
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MM	Matéria Mineral
MME	Ministério de Minas e Energia
MS	Matéria Seca
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
$N_2$	Nitrogênio
$N_2O$	Óxido Nitroso
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
$N_{disp}$	Quantidade de Nitrogênio Disponível no Biofertilizante
$\eta_{el}$	Eficiência Elétrica do Grupo Gerador
NGVA	Natural Gas Vehicles for America
$NH_4$	Hidróxido de Amônio
$N_{hab}$	Número de habitantes
NR	Norma Regulamentadora
Nrec	Quantidade de Nitrogênio Recomendado
$\eta_{sub}$	Taxa de Degradação do Substrato
$\eta_{th}$	Eficiência Térmica do Grupo Gerador
$\emptyset$	Eficiência de Recuperação de Energia Térmica ou Elétrica do Grupo Gerador
$O_2$	Oxigênio
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAC	Plano de Aceleração do Crescimento
PB	Proteína Bruta
$P_{bb}$	Produtividade de Biogás ou Metano, por Massa de Biomassa
$P_{biogás}$	Produtividade de Biogás

$P_c$	Produtividade de Biomassa
$PCH_4$	Produtividade de Metano
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
$P_d$	Potência Disponível
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
$P_i$	Potência Instalada
PIB	Produto Interno Bruto
PIE	Produtor Independente de Energia
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
$Pot_{el}$	Potência Elétrica do Grupo Gerador
$Pot_{th}$	Potência Térmica do Grupo Gerador
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
PTFE	Politetrafluoretileno
PVC	Policloreto de Vinila
Q	Vazão Volumétrica ou Mássica
$Q_{biogás}$	Vazão de Biogás
$q_c$	Consumo de Biogás do Grupo Gerador
$Q_{CH_4}$	Vazão de Metano
$Q_s$	Vazão de Líquido Afluente
$rh_c$	Vazão em Massa de Combustível
$rh_v$	Vazão em Massa de Vapor
RSB	Roundtable on Sustainable Biofuels
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
$S_o$	Concentração de Matéria Orgânica
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SDA	Secretaria de Defesa Agropecuária
SEAMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SF	Sólidos Fixos
SIN	Sistema Interligado Nacional
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
$SO_2$	Dióxido de Enxofre
$SO_x$	Óxidos de Enxofre
ST	Sólidos Totais
STV	Sólidos Totais Voláteis
SV	Sólidos Voláteis
t	Tempo de Operação do Grupo Gerador
$T_A$	Taxa de Aplicação
$T_{CH}$	Temperatura dos Gases na Chaminé
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
TMB	Tratamento Mecânico Biológico
TR	Termo de Referência
TRC	Tempo de Resistência Celular
$T_{Ref}$	Temperatura de Referência
TRS	Tempo de Retenção de Sólidos
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
$V_R$	Volume Útil do Reator
$\lambda$	Coefficiente de Excesso de Ar na Combustão





## 1

## INTRODUÇÃO

A metanização, ou digestão anaeróbia, é um processo de degradação da matéria orgânica, em condições de ausência de oxigênio livre, com produção de biogás. O biogás é composto majoritariamente por metano (55 a 70%) e dióxido de carbono (30 a 45%) e, devido à presença do hidrocarboneto metano, é um gás energético, portanto, um biocombustível (DEUBLEIN & STEINHAUSER, 2008).

A metanização tem sido empregada com sucesso como tratamento biológico de distintos substratos orgânicos em todo o mundo. No Brasil, merece destaque o setor de tratamento de esgoto doméstico e de efluentes da indústria alimentícia e de bebidas, principalmente devido às inúmeras vantagens que o processo anaeróbio apresenta em relação às alternativas de tratamento aeróbio, como menor demanda energética, reduzida taxa de geração de lodo, geração de biofertilizante, minimização na emissão de gases de efeito estufa (GEE) e produção de biogás, passível de utilização energética variada (LETTINGA *et al.*, 1980; BECCARI *et al.*, 1996; CHERNICHARO, 1997).

Entretanto, a efetiva aplicação da metanização para o tratamento e a valorização energética de resíduos e efluentes orgânicos deve levar em consideração características particulares de cada setor produtivo, que determinam quais tecnologias são mais apropriadas e quais os parâmetros de eficiência a serem esperados. Entre as particularidades a serem observadas, devem-se avaliar a composição dos substratos orgânicos, a presença de substâncias inibidoras ao processo de metanização (antibióticos, etc.), a disponibilidade do substrato (sazonalidade), a qualidade do material digerido resultante (passível de uso como biofertilizante), entre outros aspectos. Por este motivo, é imprescindível que cada projeto seja planejado para um determinado empreendimento, levando em consideração a grande quantidade de variáveis e particularidades de cada situação específica.

Além das condições técnicas propriamente ditas, a viabilidade de projetos de biogás depende diretamente das condições de **regulamentação da atividade**, a fim de possibilitar um desenvolvimento sólido do setor e a consolidação dos mercados para o escoamento efetivo dos subprodutos do processo, notadamente a **energia elétrica/térmica, o biometano e o biofertilizante**, fatores fundamentais para garantir a viabilidade econômica de um empreendimento dessa natureza.

Com relação à regulamentação, é imprescindível a identificação e a disseminação das normas e diretrizes que se aplicam desde a fase de **licenciamento e regularização ambiental da instalação**, pois, 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, entre outras. Além das medidas já existentes, cabe ao setor buscar adequação às normas internacionais vigentes, buscando garantir adequação e agilidade ao processo de regularização ambiental, e, por conseguinte, garantir a segurança operacional do empreendimento e a redução de passivos ambientais que possam estar associados à atividade.

É importante ressaltar que a relevância dos projetos de biogás no Brasil se justifica em diferentes esferas. Primeiramente, o contexto atual de

*incentivos para a diversificação da matriz energética nacional com base em fontes da biomassa* fomenta a geração distribuída e limpa, na qual o biogás pode assumir potencial de destaque devido à elevada disponibilidade de substratos orgânicos em diferentes setores produtivos. E de maneira complementar, a metanização se posiciona como alternativa tecnológica estratégica e solução de *saneamento ambiental*, que associa, ainda, a geração de subprodutos de valor agregado, como biogás e biofertilizante. No entanto, apesar de seu potencial, há pouca informação sobre metanização direcionada à realidade brasileira capaz de subsidiar a decisão de órgãos normativos e deliberativos, facilitando o enquadramento e a regularização destes empreendimentos.

Diante deste cenário, este relatório objetiva abordar e esclarecer a aplicação da metanização em setores produtivos estratégicos no País, sendo estes: Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), Efluentes Municipais (esgotos sanitários/domésticos) e setores Agropecuário e Agroindustrial. O foco destes capítulos introdutórios é esclarecer as características técnicas gerais de projetos de biogás nestes setores e apresentar as escalas típicas de usinas, considerando as taxas de geração de resíduos e efluentes e a produtividade média esperada de biogás para estes substratos.

Na sequência, são descritos os principais componentes comuns a usinas de metanização, a fim de elucidar os principais equipamentos e sistemas que integram estas instalações, seguido da apresentação dos principais parâmetros técnicos relacionados à produção de biogás.

O capítulo seguinte discute os principais aspectos e impactos ambientais relacionados a estes empreendimentos, bem como riscos à saúde humana e ao meio ambiente, e indica medidas preventivas para a construção e operação destas unidades.

E, por fim, apresentam-se as principais regulamentações relacionadas a projetos de biogás no Brasil, com relação à regularização ambiental dos empreendimentos, aproveitamento energético do biogás e comercialização do biofertilizante, além de normas regulamentadoras em geral que se aplicam à atividade.

## 2

## ASPECTOS DO ENQUADRAMENTO DOS PROJETOS DE BIOGÁS

Este capítulo tem como objetivo fornecer informações gerais sobre os principais setores que possuem geração de resíduos e efluentes orgânicos no país e com potencial de tratamento via anaeróbia, com consequente produção e aproveitamento do biogás como fonte adicional de energia. Os substratos explorados no documento foram agrupados nas seguintes categorias:

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

Cada um dos substratos será contextualizado, primeiramente, com relação ao seu setor de geração e possibilidades de utilização do biogás. Na sequência, apresenta-se uma tipificação destes substratos de acordo com sua origem, composição e potencial de geração de biogás. Por fim, destaca-se o fluxograma típico dos processos industriais que integram os projetos de biogás para cada um dos setores analisados, com destaque para as escalas e tamanhos típicos destes empreendimentos, conforme particularidades do setor.

### 2.1 Resíduos Sólidos Urbanos – RSU

**1:** 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.

#### 2.1.1 Caracterização do setor e potencial de utilização do biogás

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, vias públicas e outros serviços de limpeza urbana, conforme classifica a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010a)<sup>1</sup>.

Em 2014, o Brasil produziu 78.583.405 toneladas de RSU, o equivalente a 387,63 kg por habitante por dia, o que representa um aumento de 2,9% na geração de RSU com relação ao ano anterior. Deste total, 71.260.045 toneladas foram coletadas, resultando em um índice de cobertura de coleta de 90,6% (ABRELPE, 2014). Do total de RSU coletado, 51,4% correspondem à matéria orgânica (ABRELPE, 2013), ou seja, possuem possibilidade de tratamento anaeróbio e consequente geração de biogás e energia.

Atualmente, cerca de 40% dos municípios brasileiros destinam o RSU a aterros sanitários, que recebem, em termos de volume, 58,4% de todo o resíduo urbano coletado em território nacional (ABRELPE, 2014). Apesar de se constituir na principal solução sanitária aplicada no Brasil para o RSU, os aterros também geram impactos negativos a curto, médio e longo prazo, como emissões difusas de metano, produção de chorume (lixiviado), desvalorização de zonas urbanas, contínua demanda por novas áreas, entre outros fatores, que resultam em significativos impactos econômicos para

**2:** 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.

os municípios (ABRELPE, 2013). Além disto, a falta de áreas tem resultado na instalação de aterros cada vez mais distantes dos centros urbanos, o que impacta diretamente o custo da logística do aterramento dos resíduos, que tende a ser cada vez mais onerosa.

A utilização do tratamento anaeróbio para os resíduos orgânicos, por sua vez, tem a possibilidade de reduzir ou mitigar os impactos ambientais e socioeconômicos associados ao aterramento indiscriminado do RSU. Entre os principais benefícios, podem-se mencionar:

- >> A redução da poluição (atmosférica<sup>2</sup>, hídrica e do solo);
- >> O aumento da vida útil dos aterros sanitários e consequente redução de demanda por novas áreas; e
- >> A ampliação da reciclagem, uma vez que as usinas de tratamento biológico do RSU sempre demandam a segregação prévia de materiais recicláveis e impróprios ao processo de digestão anaeróbia (ver item 2.1.3).

Projetos de biogás no setor de RSU podem ser instalados de forma descentralizada e próximos aos centros urbanos, em áreas industriais específicas, de forma a simplificar e reduzir os custos com logística e manejo do RSU em geral.

*Cabe ressaltar que o emprego da digestão anaeróbia para o tratamento do RSU atende às diretrizes da PNRS, que determina que sejam descartadas em aterros sanitários apenas as frações do RSU que se enquadrem como rejeitos – materiais que já tiveram esgotadas as possibilidades técnicas e econômicas de reutilização, reciclagem ou tratamento (BRASIL, 2010a). Trata-se da busca pelo atendimento ao 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.*

Além de se constituir em uma alternativa de saneamento ambientalmente mais adequada, o tratamento anaeróbio resulta na produção de biogás, que pode ser utilizado para a geração de energia elétrica, térmica, ou, ainda, como combustível substituto do gás natural (GNV). Neste último caso, faz-se necessário o emprego de um sistema de purificação para aumentar o percentual de metano no biogás, possibilitando o seu uso na própria frota de caminhões de coleta de RSU, reduzindo o consumo de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, os custos e impactos ambientais decorrentes da sua utilização.

Outra potencial fonte de receita adicional para as usinas de biogás, seja no setor de RSU, seja em outros setores, é a possibilidade de recepção e tratamento de resíduos orgânicos originários de outras fontes, como os resíduos de indústrias alimentícias locais ou do lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETE), caracterizando uma central de tratamento de resíduos que oferece enquadramento legal à PNRS e responsabilidade social, ambiental e corporativa.

### 2.1.2 Tipificação dos substratos do setor: origem, caracterização e potencial de geração de biogás

Os resíduos urbanos de interesse para a digestão anaeróbia podem ser classificados, quanto a sua origem, em três grupos principais:

- » **Resíduos sólidos urbanos não segregados na fonte** (lixo urbano misturado, bruto);
- » **Fração orgânica dos resíduos domiciliares, quando segregados na fonte** e coletados separadamente; e
- » **Resíduos orgânicos de grandes geradores privados** (de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, de serviços públicos de saneamento básico e industriais) coletados separadamente.

No Brasil, ainda é incipiente a coleta seletiva de materiais recicláveis, e praticamente inexistente quando se trata exclusivamente da fração orgânica, sendo poucas as iniciativas de compostagem. De fato, a maior parcela do RSU coletado no Brasil trata-se de lixo urbano misturado, composto de frações orgânicas, inorgânicas e recicláveis (papel, papelão, plásticos, metais, vidro, etc.) e impurezas diversas (cacos de vidro, cerâmica, pedras, sedimentos, lâmpadas, etc.).

No caso de **resíduos orgânicos de grandes geradores** (restaurantes, mercados, centrais de abastecimento, etc.), a segregação na fonte geralmente ocorre como parte do processo de manejo dos alimentos (separação e descarte de alimentos não aptos para consumo, restos de preparação de cozinha, etc.). Nestes casos, devido aos grandes volumes produzidos e à natureza dos materiais (predominantemente orgânico), o gerador é responsável pela sua destinação. Atualmente, a maior parte desses resíduos é destinada a aterros sanitários e centrais de compostagem, que, muitas vezes, são limitadas em termos de volume de recepção. Nestes casos, dado a elevada homogeneidade do material e suas características físico-químicas, o tratamento anaeróbio pode ser uma opção perfeitamente adequada como forma de tratamento e reaproveitamento dos resíduos.

As características físico-químicas do resíduo orgânico a ser tratado via anaeróbia variam, principalmente, em função de sua origem, seja este misturado (RSU bruto), seja segregado na fonte. No caso do **RSU bruto**, outros fatores também interferem em sua composição, refletindo diretamente no percentual de matéria orgânica degradável presente nos resíduos, tais como localização geográfica, nível de renda da população, grau de industrialização da região, entre outros.

A Tabela 1 apresenta a composição estimada do RSU bruto, gerado em áreas urbanas, bem como seu potencial de produção de biogás.

TABELA 1 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DO RSU BRUTO E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Parâmetro	Resíduos municipais (RSU bruto)
Sólidos Totais (ST)	30 - 40%
Sólidos Voláteis (SV)	50 - 60%
Impurezas (sem sedimentos)*	10 - 20%
Potencial de produção de biogás/SV*	450 - 600 Nm <sup>3</sup> /t SV
Potencial de produção de biogás/t*	90 a 120 Nm <sup>3</sup> /t
Porcentagem de metano no biogás*	60 - 65% CH <sub>4</sub>

\*Os valores correspondem a estimativas adaptadas à realidade no Brasil por BN Umwelt GmbH, com base no RSU da região de Blumenau [SC].

Fonte: Arquivo Tekoha Engenharia e Consultoria LTDA; BN Umwelt GmbH (2013).

3: Para maiores informações sobre tecnologias mais apropriadas a diferentes substratos, consultar as publicações do PROBIOGAS disponíveis no site do Ministério das Cidades. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/index.php/saneamento-cidades/probiogas/publicacoes/publicacoes-do-probiogas>

Conforme observado, a produtividade média de biogás para o RSU é variável e esta flutuação está relacionada, em particular, à razão Sólidos Totais (ST)/ Sólidos Voláteis (SV), além da eficiência da tecnologia de metanização empregada (sistema contínuo, descontínuo, temperatura de operação, etc.)<sup>3</sup>.

*No caso do RSU bruto sem co-digestão de outros resíduos, as tecnologias de metanização baseadas em processo seco (contínuo ou descontínuo) é o sistema mais indicado, devido ao teor de ST relativamente alto e presença de impurezas diversas e materiais não digeríveis.*

Já os resíduos orgânicos segregados na fonte, sejam domésticos, sejam provenientes de grandes geradores, são substratos ricos em matéria orgânica e com reduzida concentração de impurezas. Sua composição físico-química e o potencial de produção de biogás são descritos na Tabela 2.

TABELA 2 - CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS SEGREGADOS NA FONTE

Parâmetro	Resíduos orgânicos segregados na fonte
Sólidos Totais (ST)	15 - 20%
Sólidos Voláteis (SV)	85 - 95%
Impurezas (sem sedimentos)	5 - 10%
Potencial de produção de biogás/SV	850 Nm <sup>3</sup> /t SV
Potencial de produção de biogás/t	110 - 160 Nm <sup>3</sup> /t
Teor de CH <sub>4</sub> no biogás	55 - 60% CH <sub>4</sub>

Fonte: Arquivo Tekoha Engenharia e Consultoria LTDA; BN Umwelt GmbH (2013).

Com relação à tecnologia, devido ao reduzido teor de ST e elevada umidade dos resíduos orgânicos segregados na fonte, associada à baixa presença de impurezas, a metanização baseada em processo úmido é a mais recomendada, apesar de demandar adição de água ou efluentes orgânicos e, conseqüentemente, exigir maiores volumes de reatores.

**4:** A regulamentação e fiscalização destes produtos no Brasil compete ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA/Secretaria De Defesa Agropecuária - SDA/Departamento de Fiscalização de Insumos Agrícolas - DFIA/Coordenação De Fertilizantes, Inoculantes e Corretivos - CFIC. Mais informações em: <http://www.agricultura.gov.br/>.

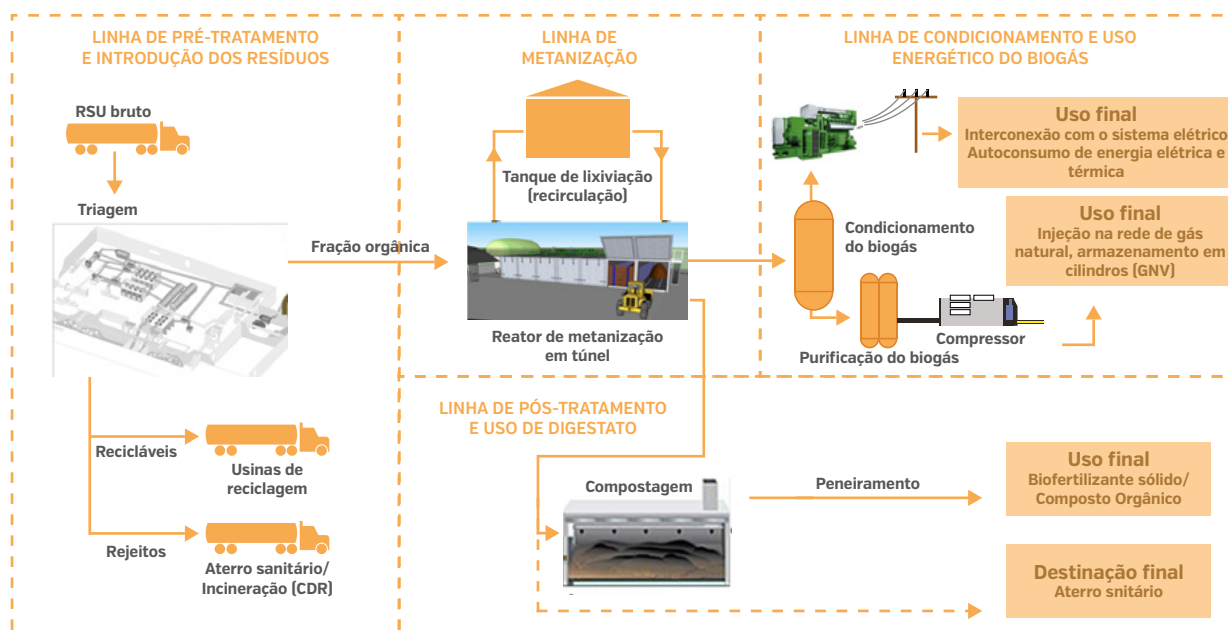
**Figura 1:** Fluxograma típico de planta de biogás a partir de RSU

É importante salientar que, no caso de resíduos orgânicos segregados na fonte, a utilização do material digerido como biofertilizante é facilitada devido a sua melhor qualidade. Entretanto, a **qualidade do material deve ser aferida para garantir sua adequabilidade para utilização como fertilizante orgânico ou condicionador de solo**, conforme a definição e os parâmetros de qualidade para estes materiais, 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<sup>4</sup>.

### 2.1.3 Fluxograma típico das usinas de biogás no setor de RSU

Os componentes tecnológicos de uma planta de biogás para tratamento de RSU podem variar em função da origem deste substrato e da existência de segregação na fonte ou não, o que determina seu grau de contaminação de inorgânicos e impurezas em geral.

O fluxograma de processo de uma planta de produção de biogás a partir da fração orgânica do RSU pode ser visualizado na Figura 1.



Fonte: Methanum.



O sistema de recepção e pré-tratamento do substrato é bastante complexo, **quando se trata de RSU bruto**, e se configura como uma etapa de triagem, com o objetivo de recuperar os materiais recicláveis e promover a separação da matéria orgânica a ser destinada ao tratamento anaeróbio. Por este motivo, as usinas de biogás para RSU são geralmente denominadas de Plantas de Tratamento Mecânico Biológico (TMB), dada a importância do sistema de triagem como componente mecânico do sistema.

Existem, no mercado, diferentes tecnologias de triagem consolidadas e com elevadas eficiências. Entre os principais equipamentos utilizados, estão os separadores magnéticos, separadores por correntes de Foucault, separadores balísticos, peneiras rotativas, separadores ópticos, aspiradores de plástico, etc. Além da segregação mecânica, as usinas também apresentam uma linha de segregação manual, na qual ocorre a coleta de materiais diretamente a partir de uma esteira transportadora. Nesta fase, os materiais recicláveis são separados e encaminhados a usinas recicladoras. A fração de rejeitos gerados no processo deve ser direcionada à disposição final em aterros sanitários ou utilizada como combustível derivado de resíduos (CDR) em sistemas de tratamentos térmicos.

Após a triagem, o resíduo orgânico é destinado à linha de metanização. Importante salientar que, por melhor que seja a etapa de triagem, o resíduo orgânico conterá impurezas (principalmente vidros e plásticos), sendo, portanto, fundamental que o fornecedor da tecnologia de metanização considere esta particularidade e tenha experiência com este tipo de fração orgânica. Por este motivo, o sistema de metanização seca descontínuo tem maior adequabilidade, uma vez que não propicia o acúmulo desses materiais no interior do reator, que é constantemente esvaziado<sup>5</sup>.

A composição do biogás gerado nestas instalações deve ser monitorada, a fim de avaliar a eficiência do sistema de limpeza e condicionamento do gás e possibilitar o aproveitamento integral do biogás sem comprometimento dos equipamentos de cogeração, o que pode ocorrer em função da presença de compostos indesejáveis, como gás sulfídrico, mercaptanas e siloxanos.

O material orgânico digerido proveniente do reator deve passar por uma etapa de secagem (separação das fases sólida e líquida). A fase sólida deve ser submetida à estabilização final via compostagem e, em caso de uso comercial, como biofertilizante, o material deve ser peneirado para remoção de impurezas diversas (pedaços de cerâmica, vidro, plásticos, etc.). Não havendo possibilidade de aproveitamento do material final, este deve ser direcionado a aterro sanitário e/ou direcionado para co-processamento (incineração) em fornos de cimento, por exemplo, para produção de energia térmica. 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.

Os componentes tecnológicos que integram uma instalação completa de biogás serão descritos em maiores detalhes no capítulo 3.

**5:** Para maiores informações sobre tecnologias de metanização seca aplicadas na valorização de Resíduo Sólido Urbano, consultar as publicações do PROBIOGAS, disponíveis no site do Ministério das Cidades. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/index.php/saneamento-cidades/probiogas/publicacoes/publicacoes-do-probiogas>

6: Maiores informações sobre o projeto de biogás no setor disponível em: <http://methanum.com/pt/solucoes/pad/methar.html>.

### 2.1.4 Escalas e tamanhos típicos de usinas de biogás no tratamento de RSU

No Brasil, a maior parte dos projetos de biogás para tratamento de RSU bruto ou segregado na fonte ainda estão em estágio de planejamento, salvo em uma iniciativa de uma empresa local focada no desenvolvimento tecnológico nacional específico para RSU<sup>6</sup>.

De toda forma, a disseminação de tecnologias de metanização de RSU tende a resultar em usinas com escala correspondente ao tamanho dos municípios, que, em sua maioria (91,4%), têm uma faixa populacional de até 50.000 habitantes. Do restante, 447 municípios possuem entre 50.000 e 500.000 habitantes e apenas 36 têm população acima de 500.000 pessoas (IBGE, 2010). Considerando a taxa média de geração de RSU no país, de 1,041 kg/hab.dia (ABRELPE, 2014), e 50.000 habitantes como faixa populacional predominante, existe um amplo potencial para implementação de um maior número de usinas de biogás com capacidade instalada de tratamento de 52.000 t/ano.

Entretanto, face aos desafios associados à gestão de RSU no país e à redução de custos de empreendimentos em função do ganho de escala, pode-se assumir que a formação de consórcios municipais é uma estratégia a ser adotada nos próximos anos, visando aumentar a capacidade instalada dos empreendimentos de biogás, otimizando sua viabilidade econômica.

Por outro lado, o uso energético do biogás gerado em aterros sanitários tem assumido crescente relevância por possibilitar a valorização de uma instalação que geralmente se constitui em um passivo ambiental para os municípios, caracterizando uma produção de energia descentralizada (geração distribuída).

No estado de Minas Gerais, por exemplo, há duas usinas de biogás operando em aterros, uma no aterro desativado de Belo Horizonte, com potência instalada de 5,7MW, e outra no Município de Uberlândia, com capacidade instalada de 2,8MW. Ambas utilizam equipamentos do tipo grupo gerador para geração de energia térmica e elétrica.

São Paulo conta com unidades ainda maiores. Desde 2004, funciona, no Aterro Bandeirantes, uma usina de geração de energia a partir do biogás gerado com capacidade instalada de 22,20MW. Posteriormente à inauguração da referida Usina, instalou-se, em 2008, outra Usina no Aterro de São João, a qual possui potência instalada equivalente a 24,64MW (ARCADIS LOGOS ENERGIA, 2015).

Seja por meio da recuperação do biogás em aterros sanitários, seja por meio da implantação de usinas de tratamento mecânico biológico para valorização integral do RSU, com adequação à Política Nacional de Resíduos Sólidos, o setor apresenta potencial estratégico por associar infraestrutura de saneamento a geração de energia incentivada.

---

## 2.2 Efluentes líquidos municipais

### 2.2.1 Caracterização do setor e potencial de utilização do biogás

Os efluentes líquidos municipais são gerados por três fontes principais (VON SPERLING, 1996):

- » **Esgotos domésticos**, incluindo residências;
- » **Instituições e comércio**, águas de infiltração; e
- » **Despejos industriais**, dependentes das tipologias industriais.

**7:** Este índice se refere à porcentagem da população que tem acesso à rede de esgoto e desconsidera as ligações clandestinas (conectadas à rede de drenagem) e as soluções individuais.

Em 2013, no Brasil, foram coletados, aproximadamente, 5,22 bilhões de m<sup>3</sup> de esgoto, dos quais cerca de 3,58 bilhões de m<sup>3</sup> foram tratados, valor que corresponde a aproximadamente 68% do total coletado e 39% do total de esgoto gerado no país (SNIS, 2014). Esses valores tendem a aumentar consideravelmente nos próximos anos com os incentivos do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC) e a regulamentação do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB). Contudo, vale ressaltar que o índice de atendimento pelo serviço de esgotamento sanitário<sup>7</sup> varia ao longo das regiões do país, sendo o Sudeste a região que apresenta o maior índice.

O Brasil é referência mundial no tratamento de esgotos via anaeróbia, sobretudo na utilização de sistemas UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Entretanto, 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. Também é incomum o monitoramento quantitativo (vazão) e qualitativo (composição) do biogás, reduzindo as possibilidades de incremento de eficiência da instalação em termos de produtividade de biogás, uma vez que este não foi o objetivo principal da adoção do sistema anaeróbio, mas sim o efetivo tratamento do efluente. Gradativamente, observa-se crescente interesse do setor no aproveitamento do biogás, que necessita de acesso à informação técnica e maior conhecimento da temática por parte dos gestores e tomadores de decisão das prestadoras de serviço de saneamento.

O biogás gerado em reatores do tratamento de esgotos domésticos é composto por metano (70 a 80%), nitrogênio (10 a 25%) e dióxido de carbono (5 a 10%) (Noyola *et al.*, 2006 *apud* Lobato, 2011). O biogás pode ser convertido em energia elétrica ou térmica e ser utilizado de acordo com demandas da própria ETE. Enquanto a energia elétrica se configura como uma demanda de todas as etapas do sistema, a energia térmica pode ser utilizada principalmente no tratamento do lodo, para seu desaguamento (secagem) e adequação à destinação final.

*A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) incentiva o tratamento do lodo de ETEs antes da disposição final em aterros sanitários, por se tratar de resíduo passível de reaproveitamento (DE GODOY, 2013). Desta forma, prevê-se incremento gradual do interesse das empresas de saneamento no investimento em sistemas de tratamento e de secagem do lodo a partir do biogás, para redução dos custos associados ao atendimento à legislação.*

### *2.2.2 Tipificação dos substratos do setor: origem, caracterização e potencial de geração de biogás*

A aplicação de processos de metanização para o setor de efluentes líquidos municipais ocorre majoritariamente de duas formas, a saber:

- >> Diretamente no efluente, por meio da utilização de **reatores UASB**; e
- >> Por meio da metanização do lodo proveniente do tratamento via **lodos ativados**.

### 2.2.2.1 Reatores UASB

O esgoto sanitário como substrato para geração de biogás em reatores anaeróbios, como em reatores tipo UASB, é caracterizado principalmente pelo teor de matéria orgânica expresso em demanda bioquímica de oxigênio (DBO) ou demanda química de oxigênio (DQO). As concentrações de DQO e DBO variam de uma ETE para outra, já que dependem de diferentes variáveis, como a variação da contribuição de matéria orgânica durante o dia e da vazão em períodos de chuva. Também é relevante a concentração de compostos sulfurados no esgoto, que comprometem a produção de metano.

Vale salientar que o esgoto sanitário ainda deve apresentar uma relação de DQO:Nitrogênio:Fósforo de 350-1000:5:1, para que os processos anaeróbios possam ocorrer adequadamente sem suplementações (CHERNICHARO, 1997).

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS		
Parâmetro	Unidade	Faixa Comum
Sólidos totais	mg/l	700 a 1.350
Sólidos totais em suspensão	mg/l	200 a 450
Sólidos dissolvidos	mg/l	500 a 900
DBO <sub>5</sub>	mg/l	250 a 400
DQO	mg/l	450 a 800
Nitrogênio total	mg/l	35 a 60
Fósforo	mg/l	4 a 15

Fonte: Adaptado de Von Sperling [1996]

A composição típica de esgoto sanitário é apresentada na Tabela 3. Os reatores UASB apresentam produção específica de metano de 0,35m<sup>3</sup> por kg de DQO removida (METCALF & EDDY, 2003) e uma produção volumétrica estimada de biogás de 14L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup> (média para a situação típica).

### 2.2.2.2 Lodos ativados

O arranjo de ETEs mais representativo que utiliza o lodo gerado na própria ETE como substrato para a geração de biogás é usualmente composto por decantação primária com subsequente tratamento aeróbio, geralmente pelo processo de lodo ativado. Os parâmetros principais considerados para a avaliação da aplicação da metanização deste substrato são os teores de sólidos totais e de sólidos voláteis.

A metanização de lodos provenientes do tratamento via lodos ativados apresenta as características apresentadas na Tabela 4.

TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS DE LODOS SANITÁRIOS

Característica	Teor de sólidos secos em %	Relação de sólidos voláteis/sólidos totais	Massa específica em kg/m <sup>3</sup>
<b>Lodos ativados convencional</b>			
<b>Lodo Primário</b>	2 a 6	0,75 a 0,80	1020 a 1030
<b>Lodo Secundário</b>	0,6 a 1	0,75 a 0,80	1005 a 1025
<b>Lodo misto digerido</b>	3 a 6	0,60 a 0,65	1030
<b>Lodo desidratado</b>	20 a 40	0,60 a 0,65	1050 a 1100

Fonte: Adaptado de Von Sperling [1996]

Digestores anaeróbios de lodo podem apresentar uma produção estimada de biogás de 25L.hab<sup>-1</sup>.d<sup>-1</sup>, (ANDREOLI *et al.*, 2001), valor superior aos encontrados quando considerado reatores UASB tratando esgoto doméstico, que apresentam baixas concentrações de matéria orgânica. Já a produção específica de metano situa-se na faixa entre 0,72 e 1,12m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> por kg de sólidos voláteis removidos (METCALF & EDDY, 2003). O reator utilizado nesta configuração geralmente é do tipo mistura completa.

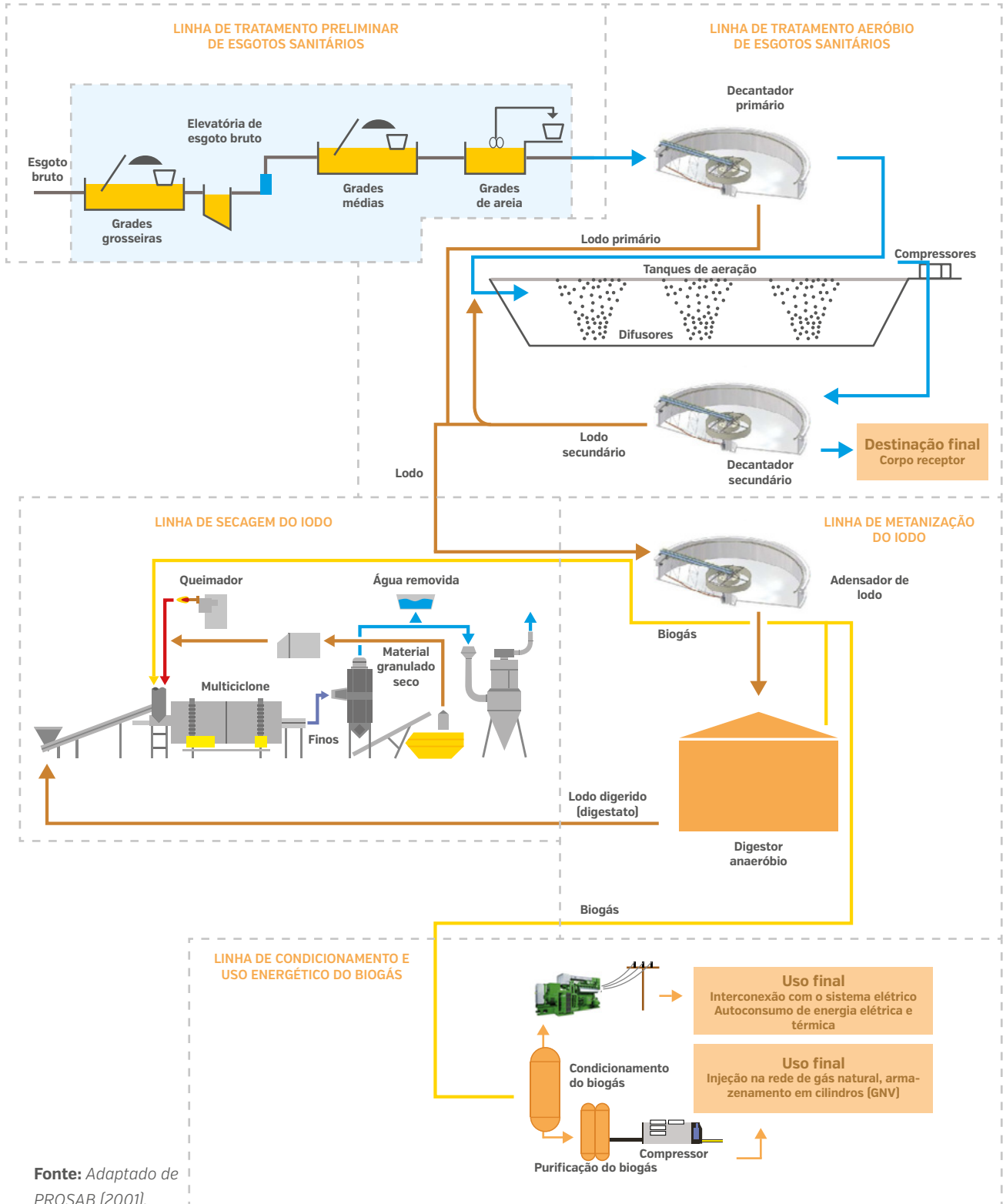
### 2.2.3 Fluxograma típico das usinas de biogás no setor de esgotamento sanitário

O esgoto doméstico destinado a uma ETE passa por três etapas principais:

- >> **Tratamento Preliminar:** emprega mecanismos físicos de remoção de sólidos grosseiros e areia, como gradeamento, peneiramento e sedimentação, e inclui unidade para medição de vazão, para análise quantitativa do esgoto afluente à estação;
- >> **Tratamento Primário:** visa-se à retirada de sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos flutuantes em decantadores, implicando na redução da carga de DBO do efluente que seguirá para a etapa seguinte; e
- >> **Tratamento Secundário:** nas configurações clássicas, é composto por sistemas de **lodos ativados** que apresentam alta eficiência de remoção de matéria orgânica e grande experiência consolidada, seguidos por digestores de lodo, para tratamento do lodo primário e da biomassa não estabilizada oriunda dos tanques de aeração.

O sistema mais usual de tratamento de esgotos na Europa é apresentado na Figura 2.

Figura 2: ETE convencional com sistema de lodos ativados

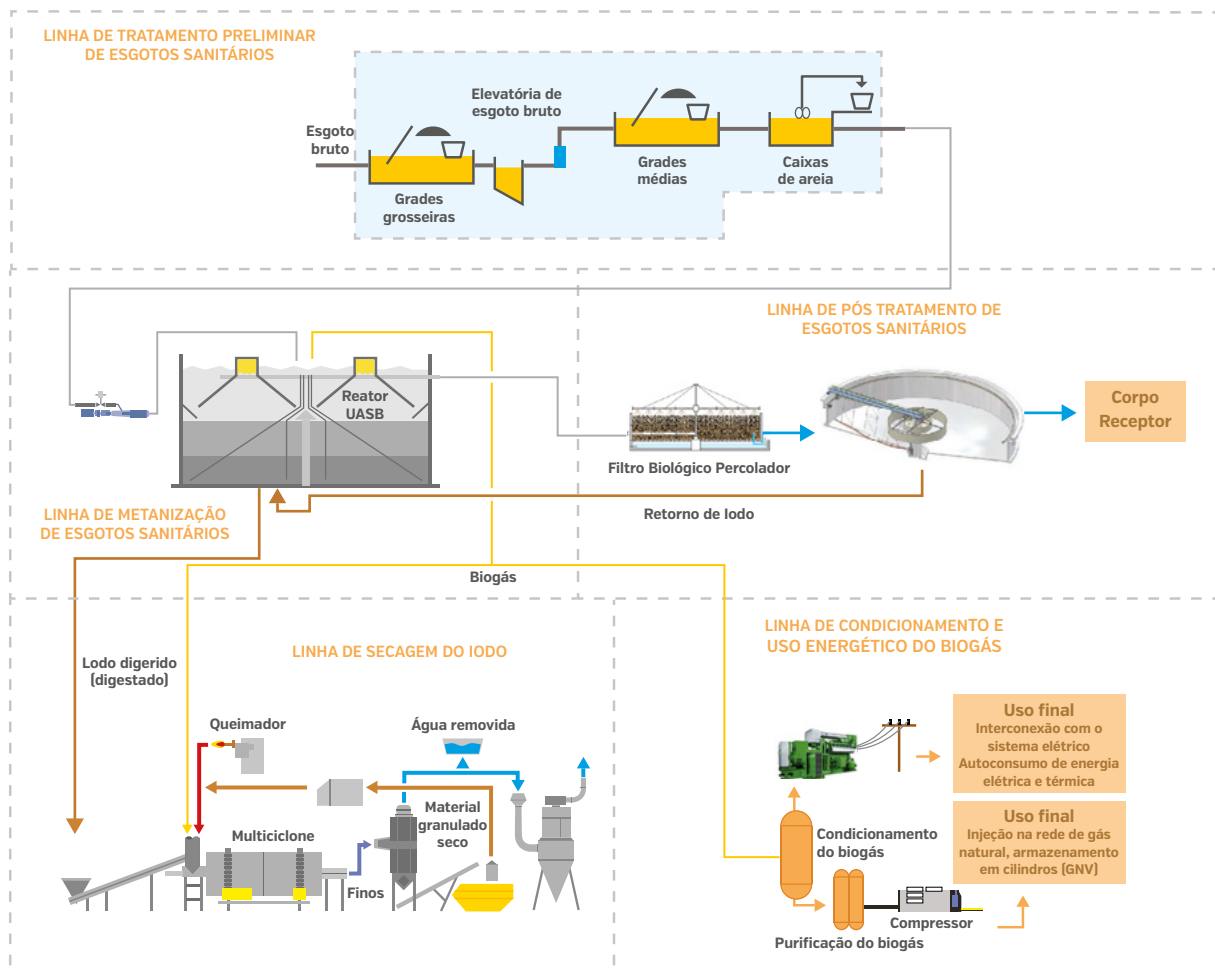


Fonte: Adaptado de PROSAB (2001).

No Brasil, os **Reatores UASB** são os reatores anaeróbios mais utilizados para o tratamento de esgotos domésticos. Seu princípio de funcionamento visa à estabilização do lodo, sendo a geração de biogás uma consequência do processo. As tecnologias de tratamento de efluentes domésticos e o aproveitamento energético do biogás são descritas no capítulo 3.

Mesmo com suas vantagens, os reatores anaeróbios dificilmente geram efluentes que atendem aos padrões de lançamento estabelecidos pelas normativas ambientais. Dessa forma, o pós-tratamento é uma etapa de grande importância nas ETEs que utilizam estas tecnologias (PROSAB, 2001). As etapas de pós-tratamento usuais são: filtro biológico de alta taxa ou filtro biológico percolador; filtro aerado submerso ou biodiscos; lodos ativados; e biofiltro aerado submerso. A Figura 3 apresenta o fluxograma típico de uma ETE com reator UASB, seguido de filtro biológico percolador.

**Figura 3:** ETE com reator UASB e Filtro Biológico Percolador



**Fonte:** Adaptado de PROSAB [2001].

O lodo estabilizado, subproduto do processo, pode ser encaminhado para aplicação agrícola como biofertilizante ou organomineral, porém, para atender à resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em ETEs, é necessário que seja submetido a etapas de pós-tratamento que envolvem os processos de higienização e desaguamento do material.

Um dos processos típicos de higienização é a pasteurização, na qual se pode aproveitar o biogás gerado no UASB para elevação da temperatura (BORGES, 2004), o que resulta numa efetiva redução dos custos energéticos para o processo. O desaguamento do lodo consiste na redução do volume do material por meio da retirada de água, via processos mecânicos (filtros prensas ou filtros a vácuo) ou naturais (por leitos de secagem), conforme PROSAB (2003). Normalmente, mesmo quando o biogás é utilizado no sistema de higienização, há um excedente deste combustível que pode ser convertido e aproveitado como energia elétrica na estação, reduzindo custos de operação.

#### 2.2.4 Escalas e tamanhos típicos de usinas de biogás no tratamento de esgoto

A Resolução nº 377/2006 do CONAMA estabelece as diferentes escalas de ETE para fins de simplificação dos processos de licenciamento ambiental, da seguinte forma:

- » **Unidades de tratamento de esgoto de pequeno porte:** vazão nominal de projeto menor ou igual a 50L/s ou com capacidade para atendimento de até 30.000 habitantes. Considerando o limite superior de população atendida para esta classe, estima-se que é possível gerar até 420m<sup>3</sup>/d de metano em uma mesma ETE, considerando a aplicação de sistema do tipo UASB para tratamento do esgoto bruto, ou 750m<sup>3</sup>/d deste combustível, caso opte-se por tratar o lodo gerado em sistemas de lodos ativados em reatores anaeróbios.
- » **Unidades de tratamento de esgoto de médio porte:** vazão nominal de projeto maior que 50L/s e menor ou igual a 400L/s ou com capacidade para atendimento superior a 30.000 e inferior a 250.000 habitantes. Com base nos limites inferior e superior de população atendida para esta classe, estima-se que é possível, em cada ETE, gerar entre 420 e 3.500m<sup>3</sup>/d de metano, considerando a aplicação de sistema do tipo UASB para tratamento do esgoto bruto, ou entre 750 e 6.250m<sup>3</sup>/d deste combustível, caso opte-se por tratar o lodo gerado em sistemas de lodos ativados em reatores anaeróbios.
- » **Unidades de tratamento de esgoto de grande porte:** vazão nominal de projeto maior que 400L/s ou com capacidade para atendimento superior a 250.000 habitantes. Em ETEs enquadradas nesta classe, estima-se que é possível gerar mais de 3.500m<sup>3</sup>/d de metano, considerando a aplicação de sistema do tipo UASB para tratamento do esgoto bruto, ou mais de 6.250m<sup>3</sup>/d deste combustível, caso opte-se por tratar o lodo gerado em sistemas de lodos ativados em reatores anaeróbios.

A definição do tamanho de uma ETE depende de distintos fatores, destacando-se a sua localização, ou seja, a sub-bacia de contribuição em que está inserida e a população atendida. Com estas definições, tem-se a vazão esperada para o tratamento. Dessa forma, mesmo municípios de grande porte têm a descentralização do tratamento em mais de um local, visando à redução de custos de instalações de redes de esgotamento sanitário.



## 2.3 Agropecuária

A agropecuária é um dos setores mais dinâmicos da economia brasileira, sendo responsável pelo atendimento à demanda doméstica por alimentos e matérias-primas industriais, além de estar relacionado à produção de energia, celulose, têxtil e borracha (BNDES, 2014). O setor tem grande sinergia para a geração e o aproveitamento do biogás, tendo em vista que os processos produtivos geram, majoritariamente, altas taxas de resíduos e efluentes orgânicos. No Brasil, podemos destacar como setores prioritários, na agropecuária, a bovinocultura intensiva, suinocultura, avicultura e lavouras temporárias (como a produção de soja, milho, cana-de-açúcar, etc.), entre outros.

### 2.3.1 Caracterização do setor e potencial de utilização do biogás

O Brasil reúne todas as condições favoráveis para o desenvolvimento das atividades de agricultura: vasta extensão territorial e oferta abundante de sol e água. Dessa forma, o país se destaca como o quinto maior produtor agrícola do mundo, segundo dados do Instituto de Estudos do Comércio e Negociações Internacionais (ICONE) (TENÓRIO, 2011). Entre as culturas produzidas no país, aquelas que se destacam, em relação à área plantada, são a soja (24 milhões de hectares), o milho (13 milhões de hectares) e a cana-de-açúcar (9 milhões de hectares) (IBGE, 2010).

Na pecuária, o país se sobressai com o maior rebanho bovino comercial do mundo (ABIEC, 2015). Conforme dados do IBGE, em 2012, havia mais de 212 milhões de cabeças de gado e bubalinos, 26 milhões de ovinos e caprinos, 7 milhões de equinos, asininos e muares, 1,2 bilhão de aves e quase 39 milhões de suínos (BNDES, 2014).

No geral, a atividade agropecuária, no Brasil, abrange desde pequenos agricultores familiares até grandes cooperativas ou empresas agrícolas altamente tecnificadas.

Os resíduos da agropecuária apresentam um grande potencial de geração de biogás. Apesar disso, atualmente, o principal objetivo do tratamento dos efluentes gerados nesse setor está relacionado ao saneamento e à 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. Entretanto, este cenário tem se alterado gradativamente, na medida em que o setor tem reconhecido o potencial do tratamento anaeróbico com produção de biogás, que resulta em um combustível passível de uso diverso, conforme a atividade, justificando maiores investimentos neste sistema e alterando o perfil do empreendedor, que prioriza eficiência energética e responsabilidade corporativa e ambiental.

*Por se tratar do início da cadeia produtiva, os resíduos orgânicos produzidos consomem menos energia na sua geração em relação aos resíduos de processos industriais ou mesmo aos alimentos contidos no RSU que se encontram no final da cadeia produtiva. Isto confere à atividade maior potencial de geração líquida de energia a ser disponibilizada para o mercado, melhorando o balanço energético global.*

Além disso, na opção por geração de energia elétrica, caso essas unidades produtivas apresentem consumo reduzido, é possível comercializar o excedente por meio da compensação de energia elétrica (*net metering*) e/ou da venda no mercado livre a indústrias ou comércio em que, além da maior demanda, as tarifas negociadas são mais altas que as tarifas rurais (reduzidas) pagas pelos produtores (ANEEL, 2012). As opções para comercialização da energia elétrica gerada nestas instalações são apresentadas em maiores detalhes no capítulo 6.

Uma segunda opção para estas instalações é a produção de biometano para a o uso na instalação ou comercialização como substituto ao gás natural (para uso comercial, industrial ou veicular), lembrando que o gasto com combustível (especialmente diesel) é um dos grandes fatores de custo do agronegócio. Além disto, existe a possibilidade de uso direto do biogás para finalidades térmicas em processos de secagem de grãos, aquecimento/resfriamento de unidades de confinamento de animais, entre outros, o que apresenta grande potencial para o setor e agrega inúmeras vantagens ao empreendedor.

Outro aspecto importante, em comparação aos outros setores, é a possibilidade de uso do material digerido como biofertilizante, devido à disponibilidade de áreas agrícolas ou proximidade a esta, facilitando sua comercialização ou reutilização na própria atividade, o que agrega valor ao processo produtivo. Além dos benefícios econômicos, promovem-se, ainda, a ciclagem de nutrientes e a redução do consumo de fertilizantes de origem fóssil, resultando em menores índices de emissões associadas a esta cadeia de insumos e promovendo o aumento dos estoques de carbono no solo.

No caso do arranjo de cooperativas agropecuárias, existe uma maior diversidade de substratos, além de inúmeras possibilidades de consumo energético do biogás graças à pluralidade das atividades desenvolvidas pelos associados, criando sinergias e melhorando a viabilidade dos projetos, por meio da promoção da eficiência energética e gestão de seus resíduos e efluentes.

De forma geral, o uso energético do biogás no setor agrícola é capaz de reduzir a dependência deste em relação a variações de mercado de *comodities*, aumentando a resiliência econômica da atividade.

### 2.3.2 Tipificação dos substratos do setor: origem, caracterização e potencial de geração de biogás

Os resíduos e efluentes orgânicos gerados no setor agropecuário podem variar significativamente em função da atividade desenvolvida. Em geral, os substratos são caracterizados em função do teor de sólidos totais (ST), da relação sólidos totais voláteis e sólidos totais (SV/ST), do percentual de degradabilidade dos sólidos voláteis (SV), da densidade do substrato, da produtividade de biogás e do teor de metano ( $\text{CH}_4$ ).

A Tabela 5 apresenta as principais características dos substratos inerentes ao setor agropecuário encontradas na literatura, possibilitando uma estimativa do potencial da produção de biogás para as diferentes atividades.

TABELA 5 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS SUBSTRATOS DO SETOR AGROPECUÁRIO E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Parâmetro	Teor de ST	Relação SV/ST	Produtividade de biogás	Teor de CH <sub>4</sub>	Densidade do substrato	Percentual de degradabilidade dos SV	
Unidade	%	%	l/kg SV	%	t/m <sup>3</sup>	%	
Agricultura	Resíduos vegetais	15,0	78,0	560,0	60,0	0,8	60,0
	Silagem de pastagens	35,0	87,0	580,0	55,0	0,7	65,0
	Silagem de milho	32,0	94,0	660,0	53,0	0,8	75,0
	Feno	85,0	92,0	550,0	53,0	0,7	60,0
	Silagem de sorgo	28,0	90,0	610,0	52,0	0,7	65,0
Pecuária	Dejetos de bovino	10,0	85,0	380,0	60,0	1,0	40,0
	Dejetos de suíno	5,0	85,0	450,0	60,0	1,0	50,0
	Dejetos de aves	30,0	75,0	550,0	60,0	0,6	50,0
	Dejetos de ovinos com palha	30,0	80,0	450,0	55,0	0,6	45,0
	Dejetos de equinos com palha	28,0	75,0	300,0	55,0	0,8	30,0

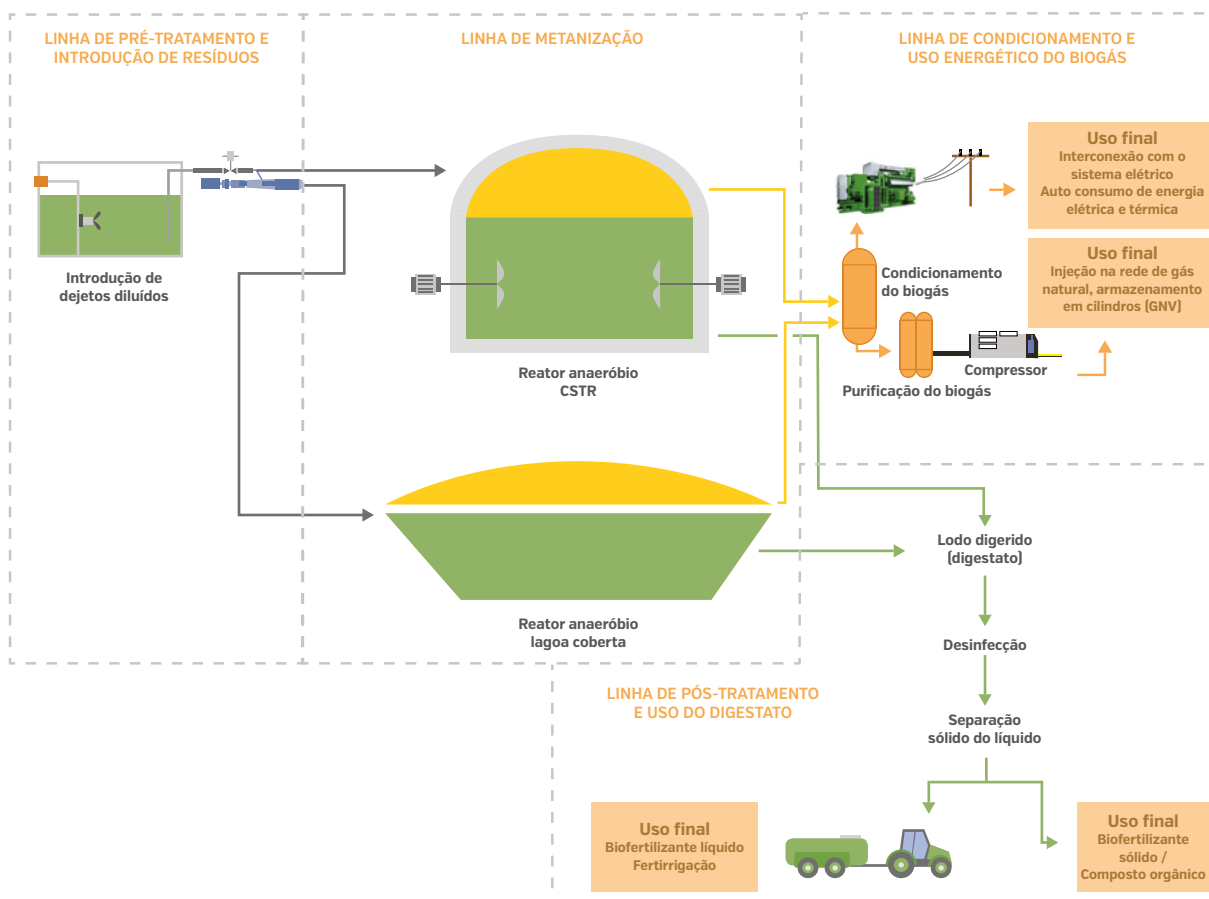
Fonte: Deublein & Steinhäuser (2008); GIZ (2010).

Além dos resíduos da produção vegetal – como restos da colheita, perdas de estoques, produtos danificados inaptos ao mercado de consumo –, os dejetos animais da produção pecuária representam uma grande parcela do potencial de geração de biogás neste setor. Além disso, há a possibilidade do emprego de culturas dedicadas, como é o caso do milho ou cana-de-açúcar para produção de etanol, da soja para produção de biodiesel ou de eucalipto para a produção de biomassa e energia térmica. Assim como o etanol, biodiesel e biomassa, no Brasil, na Europa e principalmente na Alemanha, o uso de culturas dedicadas, produzidas com o fim de gerar energia e combustível por meio da metanização, tem sido muito comum.

### 2.3.3 Fluxograma típico das usinas de biogás no setor da agropecuária

No Brasil, as configurações mais típicas para usinas de biogás que utilizam resíduos agropecuários como substrato são as do tipo reatores de mistura contínua. No entanto, o tratamento via lagoas anaeróbias também é empregado, em especial na suinocultura, na qual o teor de ST é um fator limitante. Neste caso, versões de lagoas otimizadas, como as lagoas anaeróbias cobertas com misturadores, são utilizadas a fim de se obter maior produtividade de biogás. O fluxograma do processo de uma planta de produção de biogás a ser empregada em suinoculturas visando ao tratamento dos dejetos suínos é apresentado na Figura 4.

**Figura 4:** Fluxograma do processo de tratamento de resíduos da suinocultura (dejetos animais)



**Fonte:** Methanum  
(adaptado de AD Solutions).

Conforme pode ser observado no fluxograma, trata-se de um sistema bastante simplificado, composto por um pré-tanque, que recebe o efluente e o destina ao digestor anaeróbio, neste caso, uma lagoa otimizada (lagoa coberta tradicional com sistemas de mistura e aquecimento para “otimizar” a produção de biogás). Dependendo das propriedades dos substratos, também é comum o emprego de reatores de mistura completa (denominados *Continuous Flow Stirred Tank Reactor* – CSTR). As diferentes tecnologias para o setor agropecuário são apresentadas no capítulo 3.

*É importante observar que desinfetantes, detergentes e antibióticos podem ter uma ação inibidora sobre a produção de biogás e mesmo sobre a eficiência de remoção de matéria orgânica, uma vez que a digestão anaeróbia é um processo biológico. Da mesma forma, o uso excessivo de água, por exemplo, nos processos de manejo de resíduos da suinocultura, dilui o potencial de geração de biogás por volume de substrato. Outros componentes utilizados como aditivos em determinadas rações, como cobre e zinco, também podem ser fatores limitantes para o processo. Diferente do RSU ou dos efluentes municipais, no setor agrícola, há a possibilidade de monitoramento de toda cadeia produtiva dos substratos antes da sua introdução ao processo de metanização. Desta forma, é possível operar uma usina de biogás agrícola próximo ao limite da sua capacidade e, assim, garantir padrões de qualidade para a geração de gás em constância e qualidade previsíveis.*

O biogás gerado no processo é coletado e direcionado a um sistema de condicionamento para retirada de vapor d'água, de partículas sólidas e de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), de forma que seja atingida uma concentração final de H<sub>2</sub>S adequada para o uso derradeiro a ser dado ao biogás.

Dependendo da escala dos empreendimentos, o biogás é destinado à produção de energia elétrica ou é purificado para geração de biometano. Além disso, também é comum o uso do biogás bruto para geração de calor em caldeiras, na secagem de grãos ou para a manutenção da temperatura controlada nas maternidades de leitões. No caso do material digerido, é recorrente seu uso como biofertilizante ou condicionador de solo, reciclando os nutrientes e melhorando a sustentabilidade da cadeia produtiva, desde que atenda aos requisitos de qualidade e princípios das boas práticas agrônômicas.

### 2.3.4 Escalas e tamanhos típicos de usinas de biogás no tratamento de resíduos agropecuários

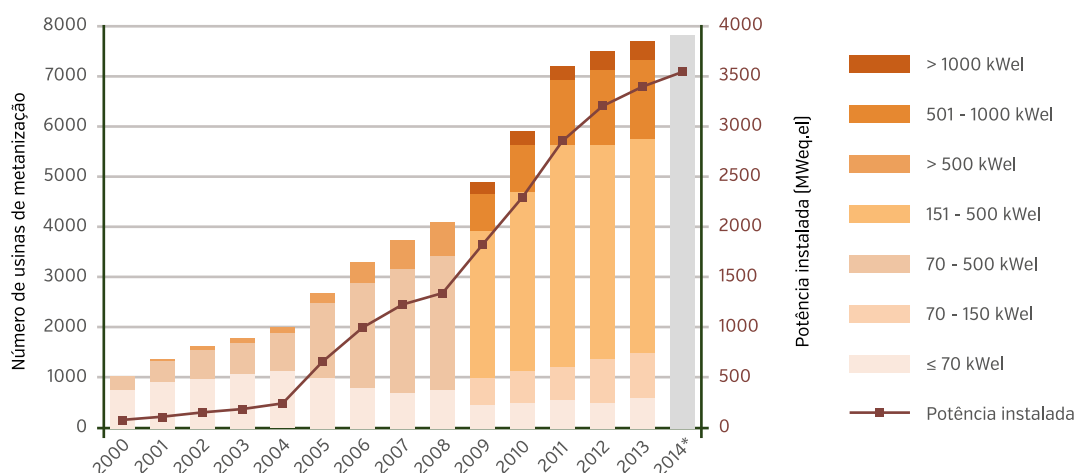
8: Dado fornecido por construtores de lagoas cobertas.

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 indicam a existência de mais de 2.000 sistemas no Brasil, descritos como lagoas cobertas simples, de baixo custo e baixo grau de sofisticação<sup>8</sup>. Estes sistemas são de pequeno porte, entre 20kW<sub>el</sub> (equivalente elétrico) e aproximadamente 150kW<sub>el</sub> de potência instalada. Há alguns casos de lagoas simples com capacidade de geração maior.

Na Europa, há usinas de metanização exclusiva de dejetos com escalas bastante superiores. Na Dinamarca, por exemplo, está sendo instalada uma usina de 10MW<sub>el</sub> (sistema CSTR) a partir de dejetos de suínos fornecidos por mais de 100 produtores locais da cidade de Sonderjysk.

Com relação ao setor agropecuário em geral, as usinas com alto grau tecnológico e em escala industrial empregam, principalmente, reatores de mistura completa (CSTR), mas as iniciativas ainda são escassas no país. Já na Europa, escalas a partir de 70kW<sub>el</sub> e até 20MW<sub>el</sub> são cada vez mais comuns, principalmente no uso de substratos como culturas dedicadas (especialmente milho) e na co-digestão com dejetos. Na Alemanha, o tamanho médio de usinas agrícolas é de aproximadamente 500kW<sub>el</sub> instalados, como mostra a Figura 5.

Figura 5: Tamanho médio de usinas de metanização (CSTR) de resíduos agropecuários instaladas na Alemanha.



Fonte: Postel et. al. [2012].

## 2.4 Agroindústria

A agroindústria engloba os setores que realizam as etapas de beneficiamento, processamento e transformações de matérias-primas provenientes da agricultura, pecuária, aquicultura ou silvicultura – ou seja, o processamento dos produtos provenientes do setor denominado de “agropecuária”. Por representar uma diversidade de atividades, caracteriza-se pela grande variabilidade de substratos, em termos qualitativos e quantitativos, com diferentes graus de degradabilidade e potencial de produção de biogás.

Neste item, serão apresentadas informações dos setores agroindustriais de maior relevância nacional para a aplicação do biogás, tais como, indústria sucroenergética (açúcar e etanol), de laticínios, de abate e preparação de carnes (suínos, bovinos e aves) e de bebidas em geral.

É importante enfatizar que os demais setores da agroindústria brasileira possuem, *a priori*, viabilidade técnica e ampla adequabilidade de tratamento de seus resíduos e efluentes orgânicos por processos anaeróbios. São exceções casos em que se verifica a presença de compostos inibidores ao processo biológico, sejam elementos externos (antibióticos e químicos em geral), sejam resultantes do processamento dos subprodutos (presença de compostos de enxofre e ácidos orgânicos/inorgânicos, por exemplo). Por este motivo, é importante que cada caso seja avaliado individualmente, de modo a determinar o potencial de biodegradabilidade dos resíduos e efluentes e consequente produção de biogás.

### 2.4.1 Caracterização do setor e potencial de utilização do biogás

**9:** Estes valores referem-se ao valor da produção da agroindústria, no qual os principais segmentos 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. Esses são os itens que mais se desenvolveram no Brasil nos últimos 20 anos e ocuparam posição de destaque. Disponível em: <http://www.brazil.guide.com.br/>.

A agroindústria é um dos principais segmentos da economia brasileira. Com importância tanto no abastecimento interno quanto no desempenho exportador do Brasil, estima-se que sua participação no Produto Interno Bruto (PIB) seja de 12%, o que representa uma posição de destaque entre os setores da economia<sup>9</sup>.

As elevadas quantidades de produtos agroindustriais processados no país são responsáveis pela geração de grandes volumes de resíduos e efluentes, que geralmente possuem elevada carga orgânica e boas características para a produção de biogás. A digestão anaeróbia já vem sendo empregada como tratamento biológico de efluentes orgânicos em diferentes setores, mas focando, primeiramente, o atendimento às legislações vigentes relacionadas à regulamentação das atividades exercidas, as quais possuem padrões de lançamento de seus efluentes e resíduos de processo.

Apesar do foco como medida de saneamento, muitas das indústrias geradoras dos resíduos também são grandes consumidoras de energia e pagam as maiores tarifas do setor elétrico, sendo este um dos principais custos de produção na maior parte dos casos. Além disso, muitas vezes a demanda de energia em horários de pico de consumo é compensada com o uso de geradores a diesel. Por este motivo, o uso energético do biogás resultaria em benefícios adicionais ao setor, com redução de custos de produção e aumento da competitividade.

Além da produção de biogás, o tratamento anaeróbio oferece importantes vantagens em relação aos sistemas tradicionais aeróbios, como menor custo operacional, menor demanda energética e menor requisito de área além da redução de emissões de gases efeito estufa no setor.

No caso de unidades industriais de maior escala, como na indústria de bebidas e matadouros, as principais tecnologias utilizadas são os **reatores UASB** (efluentes líquidos com baixos ST de até 5%) e reatores de mistura completa (CSTR) (resíduos pastosos a sólidos com teores de ST de até 30%) detalhados nos itens 3.2.1 e 3.2.5.

Nos casos em que a geração dos substratos é sazonal (como o setor sucroenergético), pode-se utilizar a co-digestão com um substrato de ocorrência local e perene, de modo a propiciar uma geração de biogás estável durante todo o ano. Resíduos agrícolas e culturas dedicadas podem ser utilizados com este fim.

Alguns setores em particular, como o sucroenergético, têm enfrentado dificuldades para a seleção tecnológica mais adequada, em função das características de seus substratos residuais (vinhaça e torta de filtro) e de seu processo de produção (utilização de ácido sulfúrico e antibióticos para controle bacteriológico nas dornas de fermentação, uso de compostos de enxofre para branqueamento do açúcar, sazonalidade da safra, etc.), o que tem motivado o desenvolvimento de sistemas exclusivos para o setor. Entretanto, o setor já emprega **reatores UASB** e **lagoas cobertas otimizadas**, obtendo diferentes desempenhos quanto à produção de biogás e à redução de carga orgânica.

**10:** Regulamentado pela Lei nº 10.848/2004.

*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. Esta situação pode estar associada à falta de conhecimento sobre a viabilidade técnica de uso do biogás, bem como sobre os trâmites necessários para enquadramento do empreendimento na geração distribuída, seja como autoprodutor de energia (destinada exclusivamente ao autoconsumo), seja produtor independente de energia (destinada total ou parcialmente ao comércio)<sup>10</sup>.*

Cabe destacar o papel diferenciado do setor sucroenergético, que já produz e comercializa energia elétrica gerada a partir da queima do bagaço da cana e possui infraestrutura de interconexão com o sistema elétrico nacional, o que tende a reduzir os custos e os riscos dos projetos de biogás no setor. Por este motivo, a indústria já projeta novos empreendimentos, tendo como foco a obtenção de receitas a partir da energia elétrica e/ou biometano excedentes.

*Outra característica do setor agroindustrial é o crescente custo da disposição dos resíduos orgânicos associado aos elevados volumes de efluentes e resíduos gerados, que, somados às restrições ambientais, representam uma oportunidade de geração de receitas e custo evitado com disposição final decorrentes de projetos de biogás.*

Além da cogeração de energia a partir da biomassa, os setores agroindustriais têm potencial de mitigar a emissão de gases de efeito estufa ao substituir o uso de combustíveis fósseis por biometano, seja para injeção na rede, seja em uso industrial, seja como combustível veicular (GNV) para frota ca-

tiva, melhorando seu desempenho socioambiental e reduzindo custos dos insumos de produção. A redução das emissões pode, também, representar um potencial para marketing ambiental no setor e contribuir para a obtenção de certificados de produção mais sustentável, como Selo Energia Verde, *Roundtable on Sustainable Biofuels* (RSB), *International Sustainability & Carbon Certification* (ISCC), *Better Sugarcane Initiative* (Bonsucro), dentre outros, que aumentam o valor agregado de produtos e serviços, facilitam a abertura de mercados externos, valorizam as ações das empresas na bolsa, e facilitam acesso a linhas de crédito, como as do BNDES, por exemplo.

#### 2.4.2 Tipificação dos substratos do setor: origem, caracterização e potencial de geração de biogás

Os resíduos e efluentes orgânicos gerados no setor agroindustrial podem variar significativamente em função das matérias-primas processadas. Em geral, são caracterizados em função de seu teor de umidade, ST, DBO e relação DBO/DQO, que determinam o potencial de degradabilidade dos substratos.

De acordo com estimativa do IPEA (2012), o potencial energético da vinhaça possível de ser recuperado, a partir de sua metanização, corresponde a 333.610MW no Brasil. Para os abatedouros de bovinos, suínos e aves, é possível produzir, considerando a metanização dos efluentes e dejetos gerados nestas tipologias industriais, cerca de 27.294.683, 15.789.222 e 72.731.962 m<sup>3</sup> de metano por ano, respectivamente.

A Tabela 6 apresenta as principais características dos substratos disponíveis no setor agroindustrial, possibilitando uma estimativa do potencial de produção de biogás.

TABELA 6 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS SUBSTRATOS DO SETOR INDUSTRIAL E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS							
Parâmetro	Indústria de Laticínios	Indústria de bebidas		Setor sucroenergético	Abatedouros		
		Cerveja	Refrigerantes	Vinhaça	Suínos	Bovinos	Aves
<b>Vazão</b>	0,10 – 7,10 l/l de leite recebido	5,5 – 8,3 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> cerveja	4,0 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> refrigerantes	10 – 13l/l etanol	100 – 1.425 l/cabeça	311 – 3.671 l/cabeça	15,2 – 36,1 l/ave
<b>Carga Poluidora</b>	-	-	-	-	0,50 – 2,00 kg de DBO <sub>5</sub> /cabeça	1,00 – 5,00 kg de DBO <sub>5</sub> /cabeça	8,0 – 16,8 kg de DBO <sub>5</sub> /1000 aves
<b>DBO<sub>5</sub></b>	4.000 mg/l	1.500 – 3.000 mg/l	950 – 1.400 mg/l	19.800 mg/l	570 – 1.800 mg/l	1.100 – 5.520 mg/l	100 – 2.400 mg/l
<b>DQO</b>	4.000 a 6.000 mg/l	3.000 – 4.000 mg/l	1.500 – 3.500 mg/l	45.000 mg/l	2.500 mg/l	4.000 mg/l	200 – 3.200 mg/l
<b>DBO/DQO</b>	0,67	0,75	0,40	0,44	0,72	0,83	0,75
<b>Sólidos voláteis (SV)</b>	-	-	-	40.000 mg/l	-	-	9,3 – 24,0 kg/1.000 aves
<b>Sólidos totais (ST)</b>	2.500 mg/l	-	1.704 – 2.210 mg/l	52.700 mg/l	-	-	250 – 3.200 mg/l
<b>Sólidos suspensos</b>	100 – 1000 mg/l	20 – 30 mg/l	350 – 750 mg/l	-	700 mg/l	1.600 mg/l	204 – 1.500 mg/l



TABELA 6 - COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS SUBSTRATOS DO SETOR INDUSTRIAL E POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS							
Parâmetro	Indústria de Laticínios	Indústria de bebidas		Setor sucroenergético	Abatedouros		
		Cerveja	Refrigerantes	Vinhaça	Suínos	Bovinos	Aves
<b>Óleos e graxas</b>	95 - 550 mg/l	1 - 10 mg/l	70 - 115 mg/l	-	150 mg/l	270 mg/l	149 - 948 mg/l
<b>Nitrogênio</b>	116 mg/l	-	-	480 - 710 mg/l	-	-	-
<b>Nitrogênio total</b>	90 - 159 mg/l	30 - 100 mg/l	22 - 49 mg/l	-	0,075 - 0,25 kg de DBO <sub>5</sub> /cabeça	0,25 - 1,0 kg de DBO <sub>5</sub> /cabeça	15 - 300 mg/l
<b>Fósforo</b>	0,1 - 46 mg/l	10 - 30 mg/l	-	9 - 200 mg/l P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-
<b>Fósforo total</b>	-	-	-	-	0,015 - 0,03 kg de DBO <sub>5</sub> /cabeça	0,03 - 0,1 kg de DBO <sub>5</sub> /cabeça	-
<b>pH</b>	1 - 12	10 - 12	8,0 - 12,3	4,4 - 4,6	6,5 - 8,5	7 - 8,5	6,3 - 8,1
<b>Temperatura</b>	20 - 30°C	40 - 42°C	28 - 35°C	80 - 100°C	-	-	-
<b>Produção de biogás / t</b>	1,1 m <sup>3</sup> /t	1,6 m <sup>3</sup> /t	-	6 m <sup>3</sup> /t	18 m <sup>3</sup> /t	15 m <sup>3</sup> /t	-

**Nota 1:** Pesos médios: suínos - 90 kg; bovinos - 250 kg; aves - 2,200 kg.

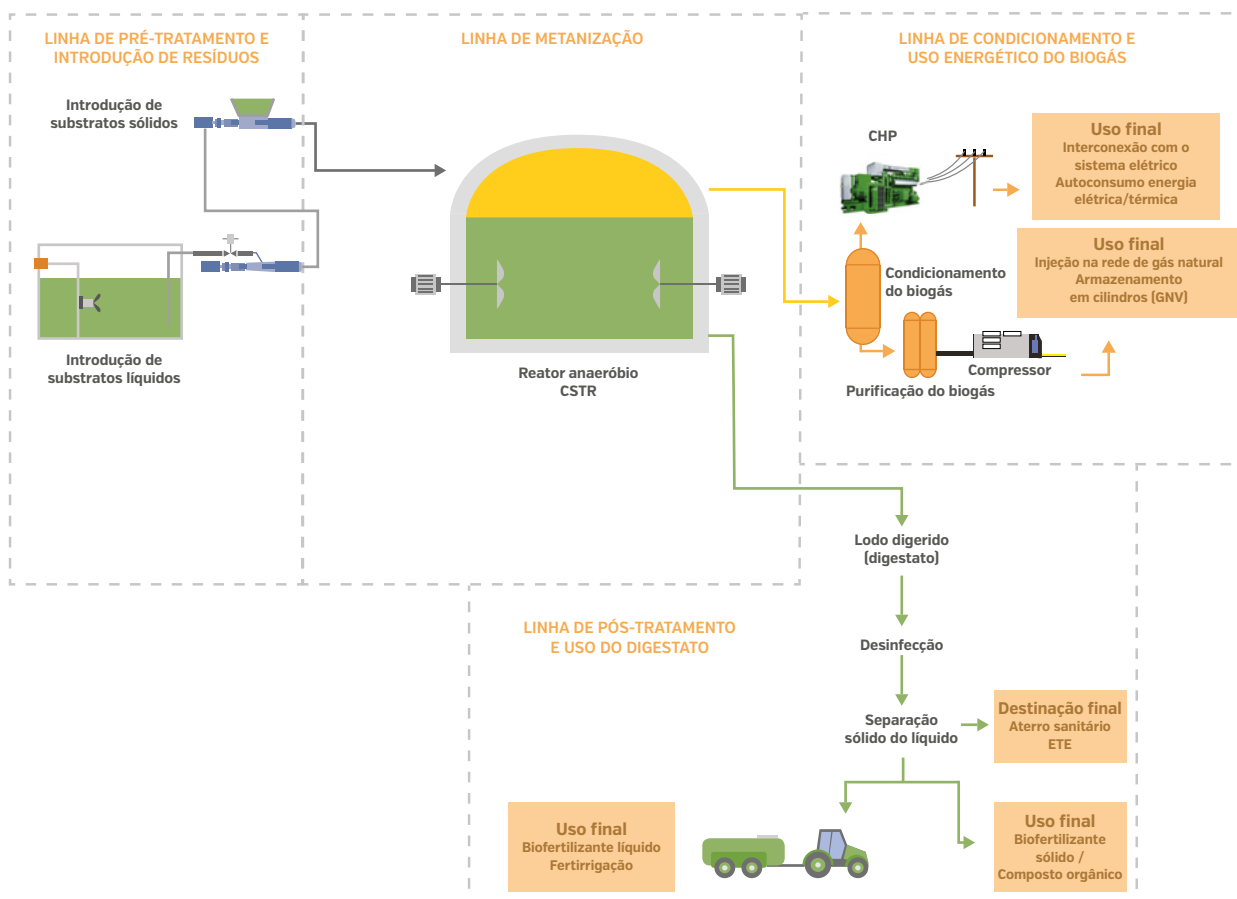
**Fonte:** Elaborado a partir de CETESB (2006); IBGE (2012); Scarassati et al (2003); Maldaner (2008), FEAM (2010); Maganha (2006); Cortez et al. (1996) apud Salomon (2007); Gomes (2006).

### 2.4.3 Fluxograma típico das usinas de biogás no setor

Considerando-se que o setor agroindustrial é composto por diversas indústrias e, conseqüentemente, por resíduos e efluentes diversificados, a estrutura das usinas de biogás para o tratamento dos resíduos orgânicos deste setor pode variar em função do substrato tratado.

Em geral, o processo industrial resulta em substratos com elevada carga orgânica e usualmente compostos por frações sólidas e líquidas, a exemplo do abate de bovinos, tendo o rúmen e o conteúdo estomacal, em geral, como fração sólida e sangue e outros fluidos como fração líquida. O fluxograma do processo de uma planta de produção de biogás a ser empregada nesta tipologia de indústria é apresentado na Figura 6.

**Figura 6:** Fluxograma do processo de tratamento de resíduos e efluentes da indústria



**Fonte:** Adaptado de arquivo

AD Solutions.

Conforme pode ser observado no fluxograma, esta planta se caracteriza pela existência de duas linhas de introdução do substrato, uma voltada para o bombeamento da fração sólida e outra para a fração líquida. Os substratos são direcionados ao reator de metanização, neste caso, utilizando tecnologia de mistura completa (CSTR). O biogás gerado no processo é coletado e direcionado a um sistema de condicionamento para retirada de vapor d'água, partículas sólidas e gás sulfídrico ( $H_2S$ ), de forma que seja atingida uma concentração final de  $H_2S$  adequada para o uso a ser dado ao biogás. Caso este seja destinado à produção de energia elétrica por meio de grupo gerador (CHP), existe, ainda, a geração de energia térmica, que geralmente é aproveitada para a manutenção da temperatura do reator de metanização ou para demais processos internos, e caso haja produção excedente, esta também pode ser exportada. Devido ao autoconsumo energético das instalações industriais, a energia elétrica pode ser integralmente aproveitada na indústria ou destinada, integral ou parcialmente, ao sistema elétrico por meio da interconexão com a rede.

O material digerido resultante do processo pode passar por um processo de separação de fases e processos de pós-tratamento (como desinfecção), conforme características do material e seu uso previsto (biofertilizante, condicionador de solo, etc.). A localização das agroindústrias nem sempre possibilita o escoamento direto do biofertilizante, devido a dificuldades lo-

gísticas para sua distribuição ou de capacidade/autorização ambiental para aplicação. Neste caso, o material pode ser condicionado (separação de fases sólido/líquido) para melhorar sua transportabilidade a um local adequado. Caso não haja alternativa viável de aproveitamento do fertilizante, o material digerido sólido deve ser disposto em aterros sanitários, e a fração líquida pode ser direcionada a usinas de esgotamento sanitário, dependendo de suas características e exigências locais.

#### 2.4.4 Escalas e tamanhos típicos de usinas de biogás no tratamento de resíduos agroindustriais

Apesar do imenso potencial, ainda há poucas usinas de metanização em escala industrial e com emprego de tecnologia “estado da arte” no Brasil.

Em um dos maiores setores, o sucroenergético, por exemplo, há uma planta que realiza a metanização de torta-de-filtro, localizada em Tamboara, Paraná, a qual possui, atualmente, capacidade instalada de 4MW. A tendência é que, neste setor, os sistemas CSTR atinjam escalas acima de 20MW (equivalente elétrico), como no caso da vinhaça, que é gerada em quantidades muito maiores pelas usinas, podendo chegar a 50MW.

Já em outros setores, como no setor de produção de bebidas, as escalas são menores devido à menor geração de resíduos orgânicos em seus processos. Por exemplo, um dos principais fornecedores de sistemas UASB para tratamento de efluentes do setor tem mais de 100 usinas instaladas no Brasil, as quais possuem uma produção estimada de biogás entre 200 e 20.000Nm<sup>3</sup>/d (equivale a aproximadamente 20kW a 2MW equivalente elétrico instalado por empreendimento). A Tabela 7 apresenta um resumo das usinas instaladas para o processamento dos efluentes das indústrias de fabricação de cerveja e refrigerante no Brasil.

Instalações como frigoríficos, matadouros, cozinhas industriais e fábricas de processamento de alimentos também geram resíduos em quantidades e qualidades adequadas para sistemas CSTR. Neste caso, as escalas também podem variar bastante, comumente entre 50kW e 2MW (equivalente elétrico), mas podendo, em casos isolados, alcançar maiores escalas por meio da co-digestão de substratos com grande potencial (por exemplo, glicerina, gorduras, etc.).

**TABELA 7 - NÚMERO DE USINAS DE TRATAMENTO ANAERÓBIO INSTALADAS EM ALGUMAS FÁBRICAS DE CERVEJAS E REFRIGERANTES NO PAÍS E SUAS RESPECTIVAS PRODUÇÕES DE BIOGÁS**

Tipo	Número total de usinas	Produção de biogás (Nm <sup>3</sup> /dia)		
		Até 1.000	Entre 1.000 e 4.000	Acima de 4.000
<b>Cervejas</b>	42	7	22	13
<b>Refrigerantes</b>	16	8	7	1
<b>Cervejas/Refrigerantes</b>	53	2	25	26

Fonte: Arquivo de Paques.

## 3

## COMPONENTES TECNOLÓGICOS DE USINAS DE BIOGÁS

Este capítulo apresenta os principais componentes tecnológicos comuns a usinas de biogás, a fim de elucidar os principais equipamentos que deverão compor uma instalação, subsidiando, assim, a análise e o entendimento de projetos sob o ponto de vista técnico.

### 3.1 Sistemas de armazenamento de substrato

As instalações para tratamento anaeróbio dos resíduos e efluentes, mesmo estando localizadas em áreas adjacentes aos seus locais de geração, requerem uma infraestrutura específica para recebimento e armazenamento dos materiais a serem direcionados à usina.

Em alguns casos específicos, dependendo do projeto, os resíduos/efluentes podem ser direcionados à usina de tratamento por meio de tubulações e, então, introduzidos diretamente na linha de alimentação do reator. Isto ocorre, por exemplo, nas estações de tratamento de esgoto, que não necessitam de armazenamento do efluente, uma vez que o material chega de forma contínua à instalação, que foi projetada para esta vazão pré-determinada.

Entretanto, nas situações a seguir, faz-se necessário o armazenamento dos substratos como etapa anterior à efetiva introdução no reator.

- » Quando o ritmo descontínuo de entrega do substrato não corresponde ao ritmo contínuo de alimentação, necessário para operar a planta.
- » Quando há sazonalidade na entrega de certos substratos que são ofertados em grandes quantidades e em curtos períodos de tempo.
- » 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.

Em geral, os substratos líquidos podem ser armazenados por curtos períodos de tempo, na ordem de dias, antes do processo de metanização, enquanto alguns substratos sólidos, dependendo de suas características, podem ser armazenados por meses ou mesmo anos, sem perdas significativas de seu potencial energético. É importante considerar o material construtivo dos locais de armazenamento, que deve ser resistente à corrosão e garantir que não haja contaminações ambientais devido a vazamentos.

Os sistemas típicos de armazenamento de substratos são descritos na sequência.

#### 3.1.1 Armazenamento de substratos líquidos

**Tanques de concreto, aço inoxidável ou aço vitrificado:** O dimensionamento dos reservatórios para substratos líquidos normalmente considera uma capacidade de até quatro dias em projetos com relativa constância no fornecimento do material a ser utilizado. Dependendo do tipo de substrato, é

necessário que o tanque de armazenamento possua um sistema de agitação que evite a estratificação e sedimentação do material. Em geral, é possível incluir bombas submersas ligadas ao sistema de automação que abastecem o reator de forma contínua, diretamente a partir do tanque de armazenamento. A Figura 7 apresenta um reservatório de aço vitrificado.

**Figura 7:** Tanque de aço vitrificado para armazenamento temporário de substratos líquidos



**Fonte:** Arquivo de Permastore.

**Lagoas de geomembrana (tipo esterqueiras):** Estas lagoas são comumente instaladas em trincheiras escavadas diretamente no solo e posteriormente forradas com geomembranas especiais, sendo a solução mais econômica para efluentes com baixos teores de sólidos totais ( $ST < 4\%$ ). As lagoas também podem ser equipadas com sistemas de agitação, o que reduz a sua vantagem econômica em relação aos tanques descritos acima. Além disso, o formato retangular geralmente não permite uma homogeneização tão eficiente como a dos tanques circulares. Assim como nos tanques, é comum a instalação de bombas submersas que abastecem o reator de forma contínua diretamente da lagoa.

### 3.1.2 Armazenamento de substratos sólidos

**Silos cobertos com membrana:** Comumente utilizados para realizar a alimentação animal, os silos são estruturas nas quais diferentes substratos podem ser armazenados por um longo período de tempo. Substratos orgânicos sólidos com teores de sólidos totais entre 28 e 40%, aproximadamente, podem ser estocados, compactados (para eliminação do oxigênio) e cobertos por membranas para que os carboidratos solúveis sejam convertidos, por fermentação anaeróbia, em ácidos orgânicos, como os ácidos láctico, acético e butírico. O pH deve ser reduzido rapidamente para níveis em torno de 4,0 para inibir a multiplicação de organismos indesejáveis responsáveis pela deterioração do material, como o Clostridium, e, desta

forma, pode ser conservado por longos períodos de tempo, sem perder seu potencial energético.

O ensilamento de biomassa exige conhecimentos técnicos específicos e treinamento de seus operadores. A grande vantagem de sua utilização é a possibilidade de preservar o conteúdo energético de um substrato sazonal por longos períodos (até mesmo por um ano), para que possa ser ministrado no sistema de alimentação da planta de biogás de forma contínua.

Os silos podem ser de trincheira (de concreto ou escavados em barrancos), ou de superfície (diretamente sobre o solo ou sobre pisos de concreto). A Figura 8 exemplifica um silo de superfície.

**Figura 8:** Silo de superfície para armazenamento de substratos sólidos



**Fonte:** Arquivo de Jende, Oliver

**Armazenamento a céu aberto:** Substratos sólidos também podem ser armazenados a céu aberto sobre superfícies planas de concreto por curtos períodos de tempo (comumente são armazenados por até quatro dias). As condições aeróbias deste tipo de armazenamento favorecem a degradação e consequente perda de potencial energético do material.

Em ambos os casos (silo ou céu aberto), pode ocorrer a formação de chorume – líquido percolado que pode apresentar altos teores de DQO, odores fortes e riscos de contaminação do lençol freático. Geralmente, o chorume é formado quando os teores de umidade do substrato são mais elevados (acima de 75%). Quando isso ocorre, deve-se prever a instalação de um sistema de drenagem e escoamento do chorume para dentro de um reservatório de resíduos líquidos ou diretamente para o reator de metanização.

## 3.2 Sistemas de geração de biogás

### 3.2.1 Reatores de mistura contínua (CSTR)

Os reatores de mistura contínua (*Continuous Flow Stirred Tank Reactor – CSTR*) representam uma tecnologia padrão para a digestão anaeróbia de substratos mais densos (concentrações de sólidos totais de 15%), com características favoráveis para a homogeneização e para o bombeamento. Geralmente, são utilizados na agropecuária e em indústrias diversas, para tratamento de lodos sanitários e, com menor frequência, para os resíduos domiciliares (segregados ou não), já que devem ser livres de impurezas e com umidade suficiente para o processo. Há duas versões de CSTR:

- > **Versão básica:** aplicável especialmente para o tratamento de dejetos animais. A forma de construção, os equipamentos periféricos e as medidas para operação e manutenção são relativamente simples.
- > **Versão avançada:** aplicável a substratos complexos com altas cargas orgânicas. O processo construtivo é mais elaborado, os reatores possuem misturador central e maior altura, sendo necessários maiores investimentos em equipamentos, resultando, por sua vez, em um custo operacional maior.

Há também os CSTR bifásicos, que se baseiam em um processo de digestão anaeróbia realizado em duas etapas consecutivas, e apresentam duas opções de configuração. Em uma delas, é utilizado um pré-digestor para a realização da hidrólise, enquanto a fase de metanogênese é realizada no reator principal. A outra opção é utilizar a pós-digestão, que fornece ganhos mais elevados de energia com tempos de retenção menores no digestor principal (Figura 9).

**Figura 9:** CSTR com misturador central e pós-digestor com armazenamento de biogás



**Fonte:** Arquivo de Farmatic GmbH.

Em reatores CSTR, é possível operar com cargas volumétricas máximas de 7 kg de STV/m<sup>3</sup> de volume do reator. O tempo de retenção hidráulica (TRH) é geralmente maior que 20 dias, dependendo da degradabilidade do substrato

e da temperatura no interior do reator. Desta forma, a produtividade do reator varia de 0,7 a 6 m<sup>3</sup> de biogás/(m<sup>3</sup> volume de reator x d).

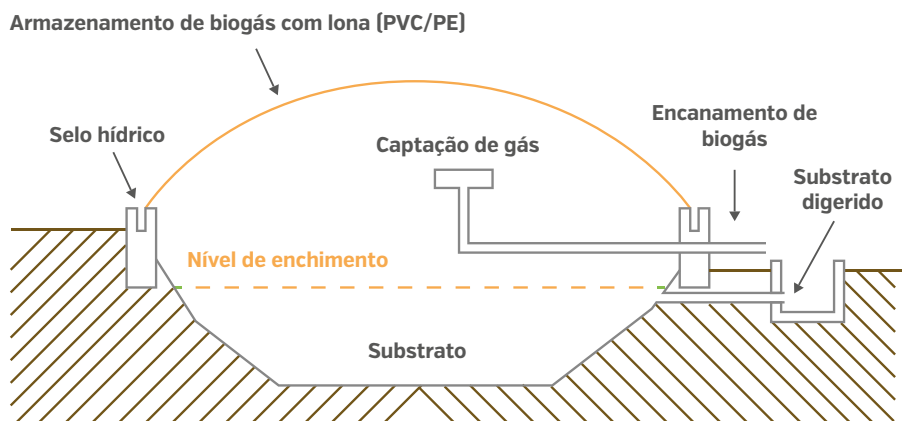
Os CSTR são aplicáveis para usinas a partir de 100kW, quando o substrato é simples e homogêneo, sem demanda de pré-tratamento e sem processo de higienização, como por exemplo no processamento de frutas, vinhos e cervejas. Para os substratos mais complexos, como os resíduos de açougue, há maiores custos de operação devido ao pré-tratamento e à necessidade de higienização, fazendo com que sejam economicamente viáveis a partir de maiores escalas. Os reatores CSTR são 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.

### 3.2.2 Lagoas anaeróbias cobertas

As lagoas anaeróbias cobertas podem receber apenas efluentes que estejam praticamente livres de sólidos (concentrações de sólidos totais inferiores a 5%). No caso de tratamento de dejetos, é comum que o substrato seja separado em fases por meio de peneiras, com direcionamento da fração líquida diretamente às lagoas e a fração sólida, sendo encaminhada para a compostagem. No caso de instalações nas quais os dejetos sejam muito diluídos em função do processo de limpeza e manejo adotado, pode ser dispensada a separação de fases.

O material digerido efluente do sistema de tratamento pode ser utilizado na agricultura como biofertilizante, conforme exigências aplicáveis do órgão fiscalizador. A Figura 10 apresenta a imagem de uma lagoa anaeróbia coberta.

**Figura 10:** Lagoa anaeróbia coberta



Fonte: Oliveira et al.

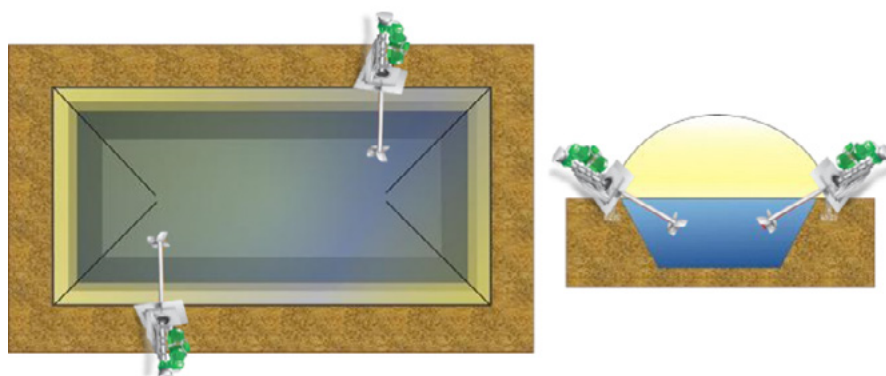
A maior dificuldade, ao se utilizar as lagoas anaeróbias cobertas, é a manutenção, um exemplo disso é a dificuldade na remoção da cobertura que armazena o gás para executar qualquer manutenção interna, como a retirada de lodo acumulado. As lonas de membranas simples rasgam facilmente e devem ser mantidas infladas todo o tempo. O controle da pressão da membrana é realizado por uma válvula, que libera continuamente pequenas quantidades de biogás para o ambiente.

As lagoas com misturadores, também denominadas *lagoas otimizadas*, 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 tratamen-



to e da produção de biogás, em função da homogeneização do material. Ao contrário do reator CSTR, não é possível isolar termicamente a lagoa, o que limita sua utilização em zonas climáticas quentes e também em locais suficientemente distantes de águas subterrâneas, possibilitando seu enterramento parcial, a fim de reduzir a perda de calor. Para manter a temperatura de reação estável recomenda-se a utilização de trocadores de calor. A Figura 11 apresenta a vista superior e lateral de uma lagoa coberta com misturador.

**Figura 11:** Lagoa coberta com misturador (lagoa anaeróbia otimizada)



**Fonte:** Arquivo de Aqualimpia.

Para a preparação do substrato, aplicam-se as mesmas condições dos digestores de mistura contínua de modelo básico. É possível utilizar esterco e outros resíduos bombeáveis, que podem ser preparados por trituração e misturados com resíduos agropecuários, a fim de diluir a matéria sólida e chegar a uma concentração de sólidos totais entre 10 e 15%.

Além dos trocadores de calor, para manter a temperatura de reação estável na lagoa, tubulações de aquecimento interno podem ser utilizadas, no entanto possuem instalação mais complexa. Todos os outros equipamentos, como as estações de bombeamento, trituradores, separadores de substrato e tanques de armazenamento, são equivalentes aos utilizados no sistema CSTR.

### 3.2.3 Reatores de metanização seca – processo contínuo

Os reatores de metanização seca (ou de digestão seca) são de grande importância para o tratamento de grandes volumes de substratos com pouca umidade, especialmente os resíduos sólidos urbanos e os resíduos industriais, desde que cumpram com alguns requisitos.

De modo geral, as tecnologias secas podem operar em processos contínuos ou descontínuos. Os reatores baseados em processo seco contínuo operam com valores de sólidos totais de entrada entre 20 e 35%. Sua construção pode ser horizontal ou vertical, com homogeneização do substrato por meio de misturadores mecânicos, ou, ainda, da recirculação de material ou injeção de biogás comprimido.

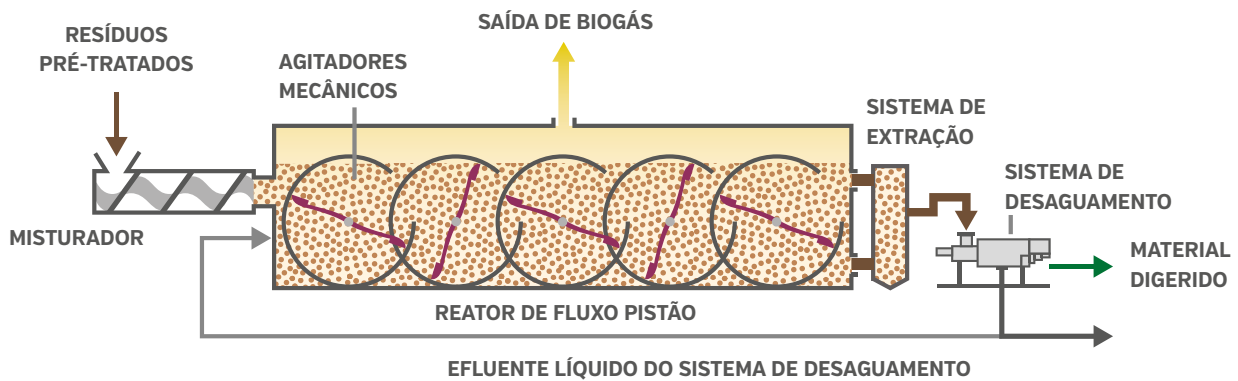
Nos sistemas contínuos, o processo de metanização não é interrompido – os substratos são inseridos no reator de forma intermitente, ao mesmo tempo em que se retira o material digerido. O resultado é um sistema contínuo com vazão e produção de gás constante. Os reatores mais comuns são os que funcionam pelo princípio de fluxo horizontal ou pistão.

Após o sistema de pré-tratamento para remoção de impróprios, ocorre uma etapa de trituração seguida por peneiramento que transforma o ma-

terial em uma fração fina, que é destinada ao reator, e outra fração grossa, que é destinada ao aterro sanitário ou para geração de CDR (combustível derivado de resíduos). Um sistema de umidificação, que utiliza geralmente digestado (material do interior do reator), garante um conteúdo de matéria seca maior que 25% no substrato.

A principal desvantagem deste processo é que o material digerido resultante possui uma concentração de sólidos geralmente inferior a 20%, sendo necessária uma etapa posterior de desaguamento, gerando uma fração sólida e outra líquida. Apesar de, em alguns casos, este efluente líquido ser passível de utilização como biofertilizante, a distância das usinas de áreas agrícolas pode inviabilizar esta utilização, sendo que o efluente deverá ser tratado ou encaminhado à rede de esgotos, incrementando substancialmente o custo operacional destas unidades. A Figura 12 mostra um reator horizontal de digestão seca contínua, em corte.

**Figura 12:** Reator horizontal de digestão seca contínua



Fonte: Gomes, 2010.

Uma planta economicamente viável deve ser projetada com potência entre  $400\text{kW}_{\text{el}}$  ( $100\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{h}$ ) e  $5\text{MW}_{\text{el}}$  ( $1.250\text{ m}^3\text{CH}_4/\text{h}$ ). Sua vida útil varia entre 13 e 20 anos, e o tempo de construção de 12 a 18 meses. A produção de biogás por meio do processo biológico começa a estabilizar por volta de três a seis meses, e a produção de biogás por tonelada de matéria orgânica tratada é, em média, de 100 a  $120\text{ Nm}^3$  biogás/t.

### 3.2.4 reatores de metanização seca – processo descontínuo

O processo de metanização seca descontínua, ou em bateladas, é também denominado de extrasseco e é realizado em reatores do tipo “garagem” ou “túneis”. A principal diferença em relação ao sistema contínuo deve-se ao fato da digestão ser realizada em processo com início e fim sendo interrompida para remoção do material digerido, fazendo com que a vazão e a produção de biogás nos túneis também tenha interrupções. Porém, como são operados geralmente mais de 5 túneis, a produção final é estabilizada, e, devido ao armazenamento do biogás em acumuladores (gasômetros), o uso energético do biogás não é afetado, podendo ser realizado de forma intermitente.

Neste processo, os resíduos sólidos urbanos podem ser inseridos no reator após uma etapa bastante simplificada de triagem, podendo ter uma alta concentração de impróprios, sendo este um dos principais benefícios desta tecnologia. A alimentação dos reatores é feita por meio de carregadeiras, da

mesma forma que seu esvaziamento, após o processo de digestão anaeróbia, o que possibilita a presença de material com menor índice de segregação.

A Figura 13 apresenta uma usina de biogás a partir de RSU localizada em Güthersloh, Alemanha, que emprega os reatores do tipo garagem para a metanização seca descontínua deste substrato.

**Figura 13:** Digestão seca descontínua (Güthersloh, Alemanha)



**Fonte:** Arquivo de BN Umwelt GmbH.

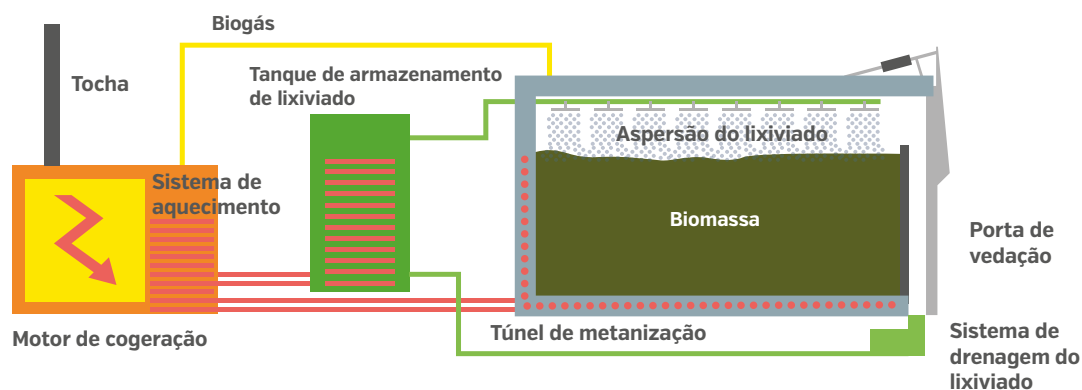
Para iniciar o processo de metanização, após a introdução do substrato, o oxigênio é retirado a fim de possibilitar uma condição anaeróbia para degradação do material. Conforme ocorre a produção de líquido lixiviado, ou chorume, este é coletado e direcionado a um tanque de armazenamento, sendo posteriormente aspergido sobre o substrato, em processo cíclico de coleta e aspersão.

Este processo não exige homogeneização ou mistura do substrato, evitando desgaste de peças móveis e equipamentos mecânicos, em geral, devido à fricção com materiais impróprios, comuns no RSU (vidros, cacos de cerâmica, areia, etc.).

Após um ciclo de digestão de três a seis semanas, o reator é aerado para evitar a formação de atmosfera explosiva durante sua abertura, sendo recomendável um filtro biológico para tratar o ar extraído do reator. Parte do material digerido é destinada à inoculação do processo (mistura com o RSU bruto que será tratado) e a outra parte é retirada com a pá carregadeira e direcionada para uma etapa de estabilização final por meio de compostagem aeróbia. A Figura 14 apresenta o fluxograma esquemático do processo de metanização seca descontínua.

Este processo apresenta vantagens em relação ao processo contínuo no que se refere à preparação do substrato e também em relação aos requisitos de monitoramento e controle do processo. Entretanto, pelo fato do processo ser descontínuo e a preparação e mistura do substrato ser menor, a taxa de geração de biogás também é menor, cerca de  $90\text{Nm}^3$  biogás/t.RSU. Por outro lado, como a demanda energética desta tecnologia também é menor, a energia líquida exportada pela planta tende a equalizar a energia gerada no processo em contínuo.

Figura 14: Esquema do processo de digestão seca descontínua



Fonte: Arquivo de BEKON.

Uma grande vantagem deste processo, frente aos demais, é a pequena ou nula taxa de geração de efluente líquido, além da produção de um material digerido final em estado sólido, empilhável, que pode ser diretamente direcionado à compostagem. Isto faz com que a logística de gestão do digestato seja menor, resultando em um menor custo operacional deste sistema. Esta tecnologia é geralmente denominada 3ª geração de usinas de tratamento de resíduos, e, atualmente, é bastante utilizada e recomendada para resíduos sólidos urbanos não segregados na fonte, sendo particularmente apta para áreas urbanas onde a logística para o escoamento e a utilização da fração líquida do lodo digerido como biofertilizante não é assegurada.

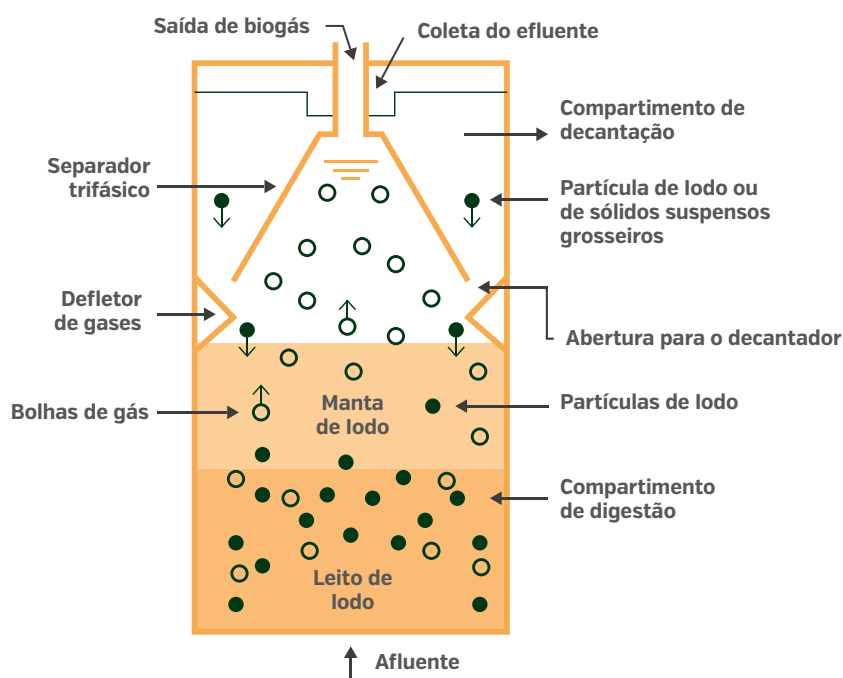
O tamanho das estações é bastante variável, de  $100\text{kW}_{\text{el}}$  ( $25\text{ m}^3\text{ CH}_4/\text{h}$ ) a  $10\text{MW}_{\text{el}}$  ( $2.500\text{ m}^3\text{ CH}_4/\text{h}$ ). Sua vida útil varia de 13 a 20 anos e o tempo de construção, de nove meses a um ano. A fase de comissionamento é menor e dura de um a três meses, sendo a produção de biogás por tonelada de matéria orgânica tratada, em média, de 90 a  $100\text{ Nm}^3$  biogás/t.

### 3.2.5 Reator anaeróbio de manta de lodo [UASB]

Os 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, em regiões de clima quente, também para o esgoto sanitário. Estes reatores absorvem altas cargas orgânicas com baixo tempo de retenção hidráulica (de 4 a 12 horas). O efluente é introduzido na parte inferior do reator, onde forma um filtro biologicamente ativo de *pellets* (lodo), e o efluente tratado ascende à parte superior, onde é separado da biomassa formada e do biogás por meio do separador trifásico. A Figura 15 mostra um esquema do funcionamento do UASB.

O princípio de tratamento de esgotos sanitários no UASB é igual ao tratamento de efluentes industriais, porém sua construção pode ser mais simples, sem a necessidade de todos os equipamentos utilizados nas usinas industriais. Não são utilizados, por exemplo, aquecimento ou isolamento no reator, e não há recirculação do efluente tratado. O pH e a alcalinidade também não necessitam ser controlados, uma vez que a degradação do esgoto sanitário, comparada à dos substratos industriais, é um processo significativamente mais lento.

**Figura 15:** Desenho esquemático de um reator UASB



Fonte: Campos [1999].

Os reatores UASB já são utilizados no Brasil em várias ETEs para o tratamento de esgotos sanitários. Comparados a outras tecnologias de tratamento, o UASB apresenta uma ótima relação custo/benefício, pois remove de 60 a 80 % da demanda biológica de oxigênio ( $DBO_5$ ) sem o uso de energia, possibilitando o aproveitamento do biogás gerado no processo.

A Figura 16, a seguir, apresenta o modelo de um reator UASB para tratamento do esgoto, do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE), na cidade de Jaraguá do Sul/ SC.

**Figura 16:** Modelo de UASB, SAMAE Jaraguá do Sul, SC



Fonte: Arquivo de Rotária do Brasil.

### 3.2.6 Digestores de lodo

Assim como o esgoto, o lodo proveniente das ETEs deve ser digerido e estabilizado. O lodo proveniente do tratamento do esgoto tem baixas concentrações de sólidos totais, o que torna recomendável sua desidratação para não ocupar o volume dos digestores e para aumentar o tempo de retenção hidráulica.

A Figura 17, abaixo, apresenta um digestor de lodo, de formato oval, instalado na Alemanha.

**Figura 17:** Digestor de lodo com formato oval, Alemanha



**Fonte:** Arquivo de AZV BUEHL.

O digestor de formato oval é o tipo de construção mais utilizado e apresenta vantagens quanto à estática, além de favorecer a mistura do substrato e a retenção de calor. Os digestores em formato cilíndrico ou de cubo com fundo plano são de construção mais simples, no entanto, necessitam que a mistura seja realizada de forma mais intensa.

A Figura 18 apresenta um digestor de formato cilíndrico, em corte.

**Figura 18:** Corte de digestor de lodo de formato cilíndrico



**Fonte:** Arquivo de MANNVIT.

Nas ETEs com digestor de lodo, após o sistema de tratamento aeróbio, há um potencial para o abastecimento de 50 a 60% do próprio do processo com a energia gerada a partir do biogás. Comparado às ETEs que utilizam o processo de estabilização aeróbia do lodo em excesso o potencial da eficiência energética usando o biogás é ainda maior.

Na Europa, a digestão anaeróbia de lodos existe há mais de 80 anos. 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.

### 3.3 Transporte/ controle/ armazenamento de gás

#### 3.3.1 Tubulações

As tubulações em usinas de biogás devem apresentar resistências mecânica, térmica e química adequadas, referentes às tensões por deformação, variação térmica e vibrações.

O projeto das tubulações deve prever alguma compensação por meio da instalação de liras de dilatação e juntas de expansão, quando necessário. Nos trechos das tubulações, devem-se considerar possíveis fontes de ignição e a inserção de dispositivos corta-chamas de classificação mínima de pressão, PN6.

Devido à presença de ácidos, como o gás sulfídrico ( $H_2S$ ), no biogás e devido aos condensados formados, as tubulações devem apresentar resistência química. Recomenda-se a utilização de tubulações de aço inoxidável ou plástico apropriado. O aço AISI 316Ti (EN 1.4571) é mais recomendável em relação ao aço AISI 304 (EN 1.4301), em função da sua maior resistência à corrosão, porém seu custo significativamente superior também deve ser considerado. A espessura mínima das paredes dos tubos de aço inoxidável deve seguir as prescrições da norma ISO 4200 Série A.

Ao contrário do PVC (Policloreto de vinila), o PEAD (Polietileno de alta densidade) é considerado apropriado para a fabricação deste tipo de tubulação, no entanto deve-se evitar o uso de tubulações de plástico em edificações, devido ao risco de incêndio. Tubos de plástico em áreas com risco de explosão devem apresentar condutividade elétrica menor que 109 Ohm. Quando a tubulação for de PEAD, deve-se considerar o coeficiente de expansão térmica de 0,20 mm/(m.K), principalmente quando não for assentada em valas. É importante lembrar que as tubulações de biogás devem estar sempre devidamente identificadas com coloração adequada e indicativo do gás constituinte, inclusive com indicação do sentido do fluxo do gás.

Em relação ao dimensionamento das tubulações para o transporte do biogás, deve ser observado que a velocidade recomendável situa-se entre 3 e 5 m/s para a vazão média, quando o sistema não possui soprador. Cherni-charo (2007) recomenda a velocidade máxima de 4 m/s, referente à vazão média de produção de biogás.

As tubulações de biogás devem ser dotadas de registros, que devem ser instalados pelo menos no reator/biodigestor, no gasômetro e nas tubulações que seguem para os demais ambientes. É necessário que estes registros possam ser operados com segurança, permitindo isolar os diferentes trechos da linha de transporte de gás. Para as válvulas, é indicada a utilização de ferro fundido nodular ou aços de qualidade superior. Não é permitido o uso de válvulas de ferro fundido cinzento. Para a sede das válvulas, recomenda-se o uso de PTFE (Politetrafluoretileno ou Teflon) ou viton.

Devido à possível formação de condensado no interior da tubulação, essa deve ser instalada inclinada em direção a pontos de purga, pelos quais o condensado possa ser eliminado com segurança, ou seja, sem escape de

biogás. O sistema de tubulação de gás deve ser dotado de dispositivos para a retirada de amostras de gás e permitir a lavagem da tubulação.

### 3.3.2 GASÔMETROS

Os sistemas de armazenamento de biogás, em geral, adotam as seguintes faixas de pressão:

- >> Não pressurizado (normalmente exige soprador para o consumo): 0 kPa a 0,1 kPa (1 mbar);
- >> Baixa pressão: 1 kPa a 5 kPa (10 a 50 mbar);
- >> Alta pressão: 0,1 MPa a 1 MPa (1 a 10 bar).

Em função da reduzida compressão do gás em baixa pressão, e do armazenamento não pressurizado, nessa faixa de pressão devem ser utilizados gasômetros infláveis. Tanques de alta pressão, ao contrário, têm volume invariável e armazenam o biogás comprimido com pressões variáveis.

Para pequenas e médias usinas de biogás, recomenda-se a utilização do armazenamento sem pressão ou de gasômetros de baixa pressão.

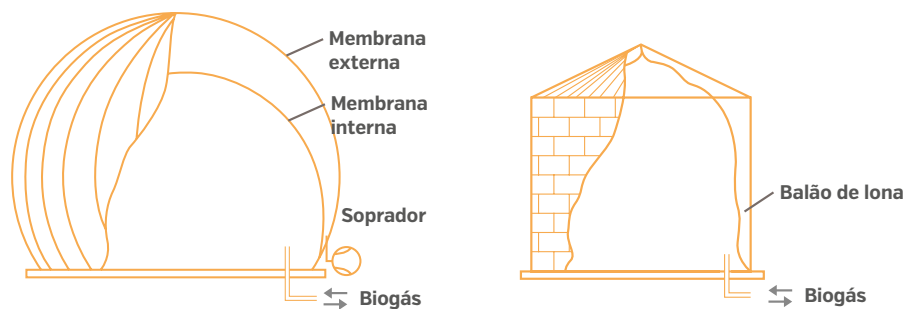
O armazenamento sob alta pressão é rentável somente em usinas de grande porte. Pressões acima de 1MPa são utilizadas apenas para combustíveis veiculares, uma vez que, nesse caso, é necessário armazenar grandes quantidades de gás no menor volume possível.

Os gasômetros podem ser classificados conforme sua função e construção. Podem ser de membranas com lastro ou de colchões infláveis com lastro, como mostra a Figura 19, ou, ainda, de membrana dupla com contra-pressão por meio de ar comprimido, ou do tipo balão de lona, como mostra a Figura 20.

**Figura 19:** Gasômetro de membrana com lastro [esq.] e gasômetro de tubos infláveis com lastro [dir.]



**Figura 20:** Reservatório de biogás com membrana dupla submetida a ar comprimido [esq.] e de balão de lona [dir.]



Fonte: DWA, 2011



Os gasômetros podem ser combinados de diferentes formas com os tipos funcionais apresentados anteriormente. Os diferentes tipos construtivos de estruturas externas são apresentados abaixo:

- » Impermeável a gás com chapas de aço soldadas ou parafusadas;
- » Chapas de aço ligadas por dobras;
- » Armação de aço revestido;
- » Estrutura de concreto armado;
- » Conjunto de membrana dupla;
- » Estrutura integrada à edificação principal.

### 3.3.3 Queimadores

Queimadores, também conhecidos como *flares*, são componentes indispensáveis em todas as instalações de geração de biogás, visando ao aumento da segurança da planta e à redução do impacto ambiental e odores. Eles devem atuar na queima do biogás em caso de impossibilidade de coleta, transporte, armazenamento ou utilização deste.

Quando há unidades consumidoras de biogás, conjuntos motor-gerador ou caldeiras, por exemplo, a instalação do queimador torna-se necessária caso haja produção de biogás em excesso ou que não possa ser imediatamente utilizada, o que pode ocorrer, em virtude de falhas operacionais, trabalhos de manutenção ou redução do consumo.

Os queimadores devem ser dimensionados para comportar uma capacidade correspondente ao volume máximo de biogás gerado.

Há dois tipos principais de queimadores, os abertos e os enclausurados (Figura 21). A vantagem dos queimadores do tipo aberto é que seu correto funcionamento pode ser verificado visualmente por meio da chama aparente. Sua desvantagem é a grande área de alcance da energia térmica. Em queimadores enclausurados, o núcleo de combustão é protegido por um envoltório metálico, que deve ser confeccionado em material de elevada resistência ao calor devido à intensa radiação térmica da chama. Se empregado aço inoxidável, esse deverá ter qualidade mínima AISI 316Ti (EN 1.4571), ou uma qualidade adequada resistente ao calor.

**Figura 21:** Modelos de queimadores para biogás



**Fonte:** Arquivo de Combustec.

### 3.3.4 Sensores/monitoramento

Visando à segurança da planta de biogás, a pressão, a vazão, a qualidade do biogás e a atmosfera dos ambientes fechados devem preferencialmente ser monitoradas de forma online.

A medição de pressão pode ser realizada com transmissões de pressão. Para a medição de vazão do biogás, recomenda-se a utilização de medidores *vortex* ou ultrassônicos, uma vez que ambas as tecnologias apresentam resultados satisfatórios, mesmo quando o biogás possui impurezas e umidade. Quando utilizado o medidor térmico, o biogás deve ser isento de impurezas e umidade, a fim de se obter bons resultados de medição. Essas e outras tecnologias para a medição de biogás são apresentadas na Tabela 8, com suas vantagens e desvantagens.

TABELA 8 - VISÃO GERAL DE VANTAGENS E DESVANTAGENS DE DIFERENTES SENSORES DE MEDIÇÃO DE VAZÃO DE GÁS		
Tipo	Vantagens	Desvantagens
<b>Medidor Ultrassônico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Bons resultados a baixa pressão</li> <li>» Sem partes móveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Longa distância linear de medição necessária (15 vezes o diâmetro)</li> <li>» Alto custo</li> </ul>
<b>Medidor Vortex</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Sem partes móveis</li> <li>» Alta precisão</li> <li>» Resistente à corrosão</li> <li>» Baixa perda de pressão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Longa distância linear de medição necessária (20 vezes o diâmetro)</li> </ul>
<b>Medição por meio de pressão dinâmica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Alta durabilidade</li> <li>» Pouca influência de gases sujos</li> <li>» Variações de pressão não têm influência negativa na precisão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Trabalha melhor em alta pressão</li> <li>» Grande esforço de calibração</li> <li>» Erro de 1,5 a 5%</li> <li>» Para o cálculo de Nm<sup>3</sup>, a densidade do gás é necessária</li> <li>» Longa distância de medição</li> </ul>
<b>Fluidistor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Sem partes móveis</li> <li>» Alta precisão</li> <li>» Baixo custo</li> <li>» Fácil de limpar, manusear e trocar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Cálculo complexo de Nm<sup>3</sup></li> <li>» Erro de 1,5%</li> <li>» Sensível a vibrações no biogás causadas, por exemplo, por compressores do tipo pistão</li> </ul>
<b>Medidor Turbina</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Tecnologia robusta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Depósitos causam problemas</li> <li>» Partes móveis</li> <li>» Manutenção intensiva e onerosa</li> </ul>
<b>Medidor de Vazão térmico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Fácil de manusear</li> <li>» Bom para aplicações móveis</li> <li>» Medição direta de Nm<sup>3</sup>/massa</li> <li>» Medição exata até em flutuações de pressão</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Não funciona com biogás bruto e extremamente sensível a umidade, portanto, não recomendável para aplicações em ETEs</li> <li>» Longa distância linear de medição necessária</li> <li>» Calibração uma vez por ano</li> </ul>

Fonte: Adaptado de IEA Bioenergy (2013).

Com relação à qualidade do biogás, recomenda-se a medição online dos principais constituintes, tais como metano e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), realizada habitualmente por sensores infravermelhos, enquanto as medições de gás sulfídrico e oxigênio podem ser realizadas por sensores eletroquímicos. Um grande número de fabricantes, atualmente, disponibiliza tais tecnologias.

A composição do biogás é um parâmetro de grande relevância para o monitoramento do processo. Uma queda nos resultados de metano pode indicar um choque de carga inesperado, caso o substrato não tenha sido alterado.

Importante notar que, para alguns usos específicos do biogás, como biometano, por exemplo, faz-se necessário atender às exigências de monitoramento do gás, conforme exigências da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), estabelecidas na Resolução ANP nº 8 de 30.1.2015 e regulamentos associados.

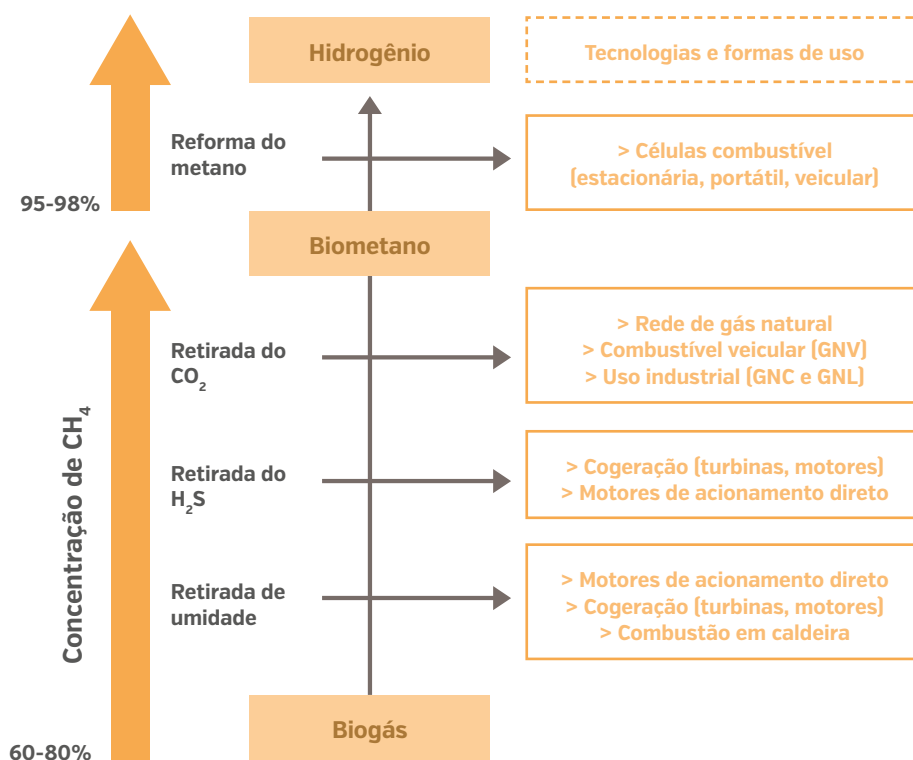
### 3.4 Sistemas para conversão/uso do biogás

O biogás pode ser utilizado como combustível para caldeiras, em fornos ou estufas, na geração de eletricidade, cogeração (eletricidade e calor), podendo ser injetado na linha de gás natural ou, ainda, utilizado como combustível veicular (LOBATO, 2011).

A seleção da tecnologia de condicionamento do biogás deve levar em consideração os parâmetros exigidos pelos sistemas de conversão, conforme o uso final desejado. A composição do biogás, sua umidade, sua pressão, seus contaminantes, seus gases inertes e ácidos, além do poder calorífico, devem ser observados.

No caso de usos menos nobres, como a combustão direta para geração de energia, o processo de condicionamento do biogás é limitado à remoção do vapor de água e do gás sulfídrico. Quando a utilização final for mais nobre, como o uso veicular ou a injeção na linha de gás natural, o processo de purificação (neste caso chamado de *upgrading*) é mais complexo. A Figura 22 apresenta um esquema dos tratamentos necessários ao biogás conforme seu uso final.

**Figura 22:** Tratamento conforme uso final

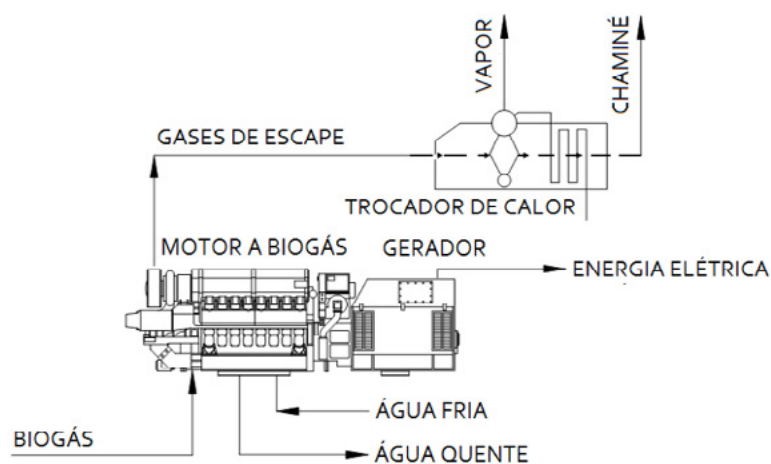


Fonte: Adaptado de arquivos Bte, IFEU, ISA.

### 3.4.1 Grupos geradores de eletricidade e calor (CHP)

A maneira mais comum para a conversão do biogás em energia é por meio da utilização de grupos geradores, que são compostos por um motor a combustão acoplado a um gerador elétrico, também conhecido como CHP (*Combined Heat and Power*). Devido à produção de calor na queima do biogás, estes equipamentos podem ser utilizados em sistemas de cogeração. A Figura 23 apresenta um breve esquema do funcionamento de um CHP.

**Figura 23:** Esquema de funcionamento de um CHP



**Fonte:** Arquivo de COGERAR.

Os geradores elétricos empregados nos CHPs são de corrente alternada, podendo ser síncronos ou assíncronos. O gerador assíncrono é mais simples e, portanto, mais econômico.

A eficiência energética média de um CHP é de 90% da energia contida no gás. A energia térmica pode ser obtida pelo coletor de escape e pelo sistema de refrigeração do bloco do motor, do óleo e do *intercooler* (refrigeração intermediária).

Os motores a biogás foram desenvolvidos baseados no princípio Otto e utilizam o excesso de ar para diminuir as emissões de dióxido de carbono e óxidos de enxofre ( $SO_x$ ). A potência elétrica desses motores varia de  $100kW_{el}$  a  $2MW_{el}$ . O teor de metano no biogás deve ser, no mínimo, de 45%, sendo que os motores bicomcombustíveis (diesel e biogás) trabalham com teores inferiores. O ácido sulfídrico formado espontaneamente no processo de biodigestão pode produzir um efeito corrosivo nas tubulações e prejudicar o aproveitamento posterior do biogás. Para evitar isso, normalmente utiliza-se um sistema de condensação e drenagem do vapor de água e outro de remoção do ácido sulfídrico (dessulfurização).

A eficiência elétrica dos motores que funcionam exclusivamente com gás varia de 34 a 45%, enquanto os motores bicomcombustíveis variam de 30 a 45%. A eficiência térmica varia de 40 a 55% em ambos os motores. A Figura 24 apresenta um CHP instalado em contêiner.

**Figura 24:** Contêiner com  
CHP



**Fonte:** Arquivo de Rotária  
do Brasil.

Os dois tipos de motores para biogás são amplamente utilizados. As principais vantagens dos motores que funcionam somente com biogás são: menores emissões de gases e menores custos de manutenção. Uma desvantagem, no entanto, são investimentos mais caros. Já os motores bicompostíveis são mais baratos, apresentam alta eficiência mesmo na faixa inferior, são de fácil operação e não necessitam de tratamento complexo para a utilização do gás. Em contrapartida, têm maiores custos de manutenção, necessitam de óleo adicional para a ignição e são mais poluentes.

### 3.4.2 Caldeiras a vapor

Outra possibilidade de utilização do biogás é o seu uso exclusivo para a geração de calor. Neste caso, sua queima é feita em sistemas de aquecimento ou em caldeiras.

As caldeiras podem ser de água quente ou de vapor. Também são classificadas como flamatubulares, quando os gases gerados pela combustão são conduzidos através dos tubos, aquecendo e vaporizando a água que está em torno deles – ou aquatubulares, quando a água passa pelo interior dos tubos, que, por sua vez, são aquecidos pelas chamas que estão ao seu redor. Há ainda caldeiras de um ou múltiplos passes e caldeiras de alta e de baixa pressão.

Os queimadores atmosféricos são utilizados quando a potência elétrica equivalente é baixa (até  $35\text{kW}_{el}$ ). O ar para a combustão é levado pela força de sucção gerada pelo fluxo do gás até a câmara de combustão e lá misturado com o gás. Queimadores modernos possuem ignição elétrica automatizada com dispositivo de segurança.

No âmbito do aquecimento de água, também se usam caldeiras de condensação, as quais utilizam o calor latente do vapor para a geração de calor, por meio da refrigeração dos gases de escape abaixo do ponto de condensação.

Já existem caldeiras e queimadores atmosféricos projetados especificamente para serem utilizados com biogás. A Figura 25 mostra uma caldeira *dual fuel* para a geração de vapor.

**Figura 25:** Caldeira *dual fuel* para geração de vapor de alta pressão



**Fonte:** Arquivo de Viessmann KG.

Para a queima de biogás em caldeiras, têm-se os seguintes pré-requisitos para uma queima segura:

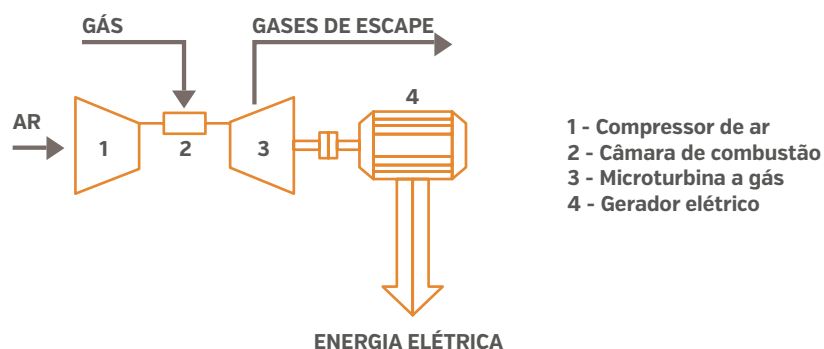
- » O gás deve estar limpo e apresentar umidade relativa menor que 60%;
- » A proporção de metano deve ser superior a 50%, com qualidade constante (admitem-se variações de, no máximo, 5% no índice de Wobbe);
- » A pressão do gás não deve variar pronunciadamente;
- » As armaduras dos queimadores devem ser livres de metais não ferrosos (o que gera custos adicionais);
- » O teor total de compostos sulfurados não deve ultrapassar o valor de 0,1%;
- » Eventualmente, deve-se implementar uma retenção de chama.

As caldeiras com secagem podem alcançar níveis de eficiência de até 85%, enquanto, nos queimadores de condensação, chega-se a valores de até 95%. A vantagem de se utilizar as caldeiras de aquecimento e calor é o seu baixo custo comparado aos CHPs. A desvantagem refere-se à limitação de produção de energia térmica.

### 3.4.3 Turbinas

Em usinas de biogás, também são utilizadas microturbinas a gás, que são turbinas de pequeno porte, cuja potência atinge até  $200\text{kW}_{el}$ . Para seu funcionamento, o ar aspirado para o interior da turbina, é comprimido por meio de um compressor e direcionado a uma câmara de combustão, onde a mistura é queimada. Com a queima, ocorre o aumento de sua temperatura e volume, o que faz com que o gás seja expandido dentro da turbina, movimentando as pás e, conseqüentemente, rotacionando o seu eixo que, acoplado a um gerador elétrico, produz energia elétrica. A Figura 26 demonstra brevemente o funcionamento de uma microturbina.

**Figura 26:** Esquema de funcionamento de uma microturbina a gás



**Fonte:** Arquivo de COGERAR.

A energia produzida pelo gerador é maior que a energia necessária para o acionamento do compressor. O uso de biogás como combustível exige que algumas alterações sejam feitas nas câmaras de combustão e nos injetores de combustível.

As microturbinas a gás foram, até o momento, usadas somente em poucas instalações. Seus níveis de emissões são bem menores que os níveis de emissões dos motores a gás ou motores bicombustíveis. Além disso, nestas microturbinas, o gás utilizado pode ser de qualidade inferior e o equipamento apresenta uma vida útil maior, com baixos custos de operação e manutenção e baixas emissões de ruídos.

#### 3.4.4 Biometano como substituto ao gás natural

Para que o biogás possa ser utilizado como biometano, é necessária a realização de um processo de purificação (*upgrading*), visando ampliar a concentração de metano no biogás, equiparando-o ao gás natural, o que possibilita seu uso em instalações comerciais, industriais e em veículos. Segundo a ANP nº 08/2015, a concentração mínima de metano no biogás deve ser de 96,5% mol. A adequação do biogás para uso como biometano deve prever a remoção, além do dióxido de carbono, do vapor de água e do sulfeto de hidrogênio, além de outros constituintes que possam estar presentes, como forma de atender à composição mínima requerida pela normativa (ver capítulo 4.4.3).

O processo de remoção do sulfeto de hidrogênio, isoladamente, é denominado dessulfurização, sendo realizado previamente ao processo de purificação em si. De modo geral, a dessulfurização pode ser subdividida nas etapas grossa e fina. A dessulfurização grossa ocorre com o tratamento biológico, limpeza bioquímica do biogás e precipitação do sulfeto, enquanto, na dessulfurização fina, o sulfeto de hidrogênio é removido até o teor máximo de  $5\text{mg}/\text{m}^3$ , por meio de processos de adsorção com carvão ativado, óxidos de zinco e óxidos de ferro.

Para evitar a corrosão gerada por condensação de água e componentes agressivos do biogás, é necessário promover a secagem do biogás. Os principais processos de secagem de biogás ocorrem por meio de condensação, adsorção com sílica gel e carvão ativado, e pelo processo de absorção com lavagem com glicóis.

Após a remoção do gás sulfídrico, o próximo passo para enriquecer o biogás é a remoção do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Considerando-se que o  $\text{CO}_2$  é um dos principais componentes do biogás, este deve ser removido de forma que o metano seja concentrado no biogás. O  $\text{CO}_2$  pode ser removido por

processos de adsorção, absorção física e química, separação por membranas ou por processos criogênicos.

Na Alemanha, assim como no Brasil, a injeção do biometano em redes de gás natural exige, além da purificação, a odorização de acordo com as especificações técnicas do formulário DVGW G 260, para evitar riscos aos usuários e operadores. No caso da injeção em tubulações destinadas ao abastecimento do transporte veicular, não há necessidade de odorização, uma vez que esse gás não é distribuído ao consumidor final. Na Figura 27, observa-se um ônibus a biometano de um projeto no Brasil.

**Figura 27:** Ônibus da Scania abastecido com biometano no Brasil



**Fonte:** Arquivo do projeto de cooperação entre Scania, Itaipu binacional, CIBiogas, FPTI e Granja Haake no Paraná.

### 3.4.1 Outros usos – motores stirling e células combustíveis em usinas de cogeração

Adicionalmente às aplicações para o biogás já mencionadas, existem outras modalidades ainda em fase de pesquisa, sem uso comercial. Uma dessas aplicações é o uso de motores *Stirling*. Estes motores operam por meio de expansão térmica, mas, ao contrário do CHP, o pistão não é movimentado pela expansão de gases de combustão interna, e sim por meio da aplicação de energia térmica proveniente de uma fonte externa de calor. Quando a mudança de temperatura ocorre, o volume do gás também se altera e, desta forma, a operação contínua do motor acontece quando o gás passa de altas a baixas temperaturas.

O calor necessário pode ser fornecido a partir de diferentes fontes de energia, e é nesse contexto que o biogás é utilizado. Em geral, os motores *Stirling* possuem potência abaixo de  $100\text{kW}_{el}$ .

A utilização desses motores apresenta vantagens, tais como, emissões menores de poluentes e ruídos, e menor demanda por manutenção. As exigências com relação à qualidade do biogás também são menores, o que elimina custos para sua limpeza prévia. A desvantagem da utilização deste método é o seu rendimento elétrico, que fica limitado entre 24 e 28%, inferiores à eficiência obtida pelos motores de ciclo Otto a gás.



Outra tecnologia com potencial de aplicação para o biogás, mas também sem exemplos de uso comercial, é a tecnologia de células combustíveis. Esta tecnologia transforma energia química diretamente em eletricidade e, portanto, distingue-se bastante dos tipos de geração de energia aqui mencionados anteriormente. O princípio funcional dessa tecnologia é a reversão da eletrólise da água, ou seja, em lugar de fornecer energia ao sistema para a divisão de uma substância em dois elementos, há a reação de dois elementos formando uma ou mais substâncias e gerando energia. No caso citado da água, temos:



Para a aplicação do biogás, há células combustíveis que trabalham com a reação química do gás metano. Neste caso, a reação que ocorre na célula combustível é apresentada abaixo:



No entanto, como pode ser observado, para que o biogás possa ser utilizado em células combustíveis, este precisa passar por um processo de purificação para eliminar o  $\text{CO}_2$  e as impurezas de enxofre para que a reação seja realizada com o  $\text{CH}_4$ .

As vantagens são os altos rendimentos elétricos, chegando a 50% e a operação com baixas emissões.

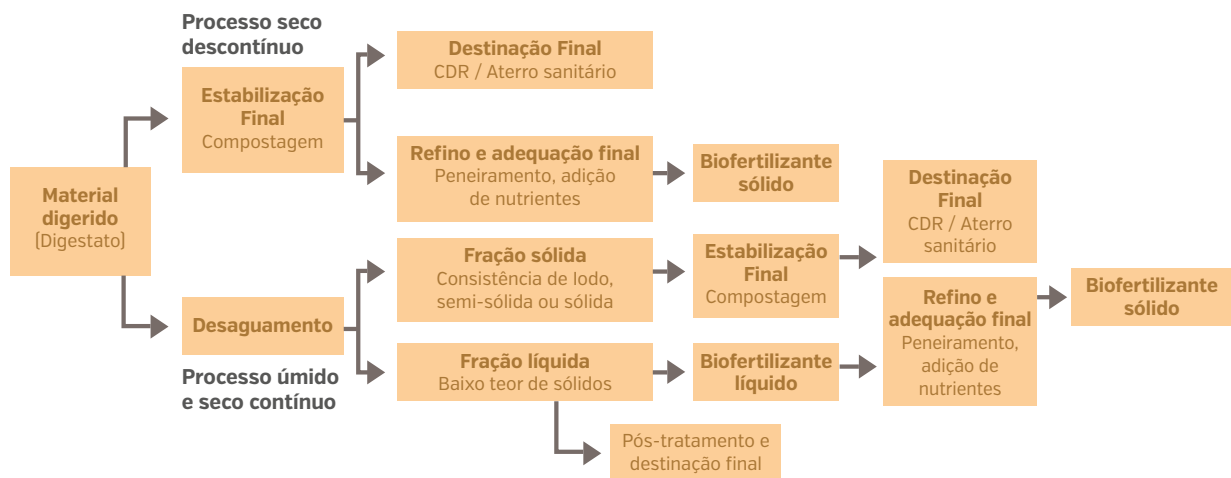
### 3.5 Sistemas de pós-tratamento

Após a etapa de metanização dos substratos, o material digerido ou digestato deve ser direcionado a uma etapa de pós-tratamento, a fim de possibilitar seu uso agrônomico, seja como biofertilizante, seja como condicionador de solo, seja como outra denominação adequada às suas características físico-químicas, sempre tendo como base a legislação pertinente.

Os tratamentos aplicáveis ao material digerido variam em função de suas características, principalmente do teor de umidade, que varia consideravelmente conforme a tecnologia e metanização utilizada. No caso da tecnologia seca descontínua, ou túneis de metanização, o material digerido apresenta consistência sólida e empilhável, podendo ser direcionado à estabilização final via aeróbia (compostagem), estando, então, adequado para destinação final, seja para uso como CDR (Combustível Derivado de Resíduos), seja para co-processamento na indústria, seja para envio ao aterro sanitário, atendendo, desta forma, à PNRS que exige estabilização da fração orgânica antes de sua disposição. Em caso de uso agrônomico, o material proveniente da compostagem deve passar por um processo de refino e adequação, visando à remoção final de materiais inertes e possível adição de nutrientes, etc., conforme objetivos da destinação e regulamentação pertinente ao produto. As normativas aplicáveis ao uso agrônomico do material digerido são discutidas em maiores detalhes no capítulo 6.3.

No caso do material digerido proveniente dos demais processos de metanização (via úmida e seca contínua), é necessária uma etapa prévia de desaguamento antes da estabilização final da fase sólida. E, como consequên-

**Figura 28:** Processos de pós-tratamento do material digerido conforme tecnologia de metanização e uso previsto



Fonte: Methanum.

O desaguamento é um dos processos mais importantes no pós-tratamento do material digerido, e, dependendo do grau de separação sólido-líquido necessário, podem ser utilizados equipamentos diversos, tais como, centrífugas, prensas desaguadoras, prensas de tambor com peneira, extrusoras, separadores de rosca ou parafuso, decantadores, dentre outros. Considerando-se que o substrato tratado por via úmida apresenta menos que 15% de teor de sólidos, a separação geralmente é realizada por extrusoras, enquanto do substrato tratado por via seca, provém um lodo com teor de sólidos de aproximadamente 15 a 35% que precisa ser desaguado com o uso de prensas ou centrífugas para posterior destinação.

**Figura 29:** Material digerido proveniente do tratamento via úmida, via seca e via extrasseca, respectivamente [da esquerda para a direita]

Já o substrato tratado por via seca descontínua resulta em um digestato com teor de umidade inferior (25 a 50% de teor de sólidos), fazendo com que a separação sólido-líquido não seja necessária, reduzindo os custos operacionais e a geração de efluente líquido. A Figura 29 ilustra os aspectos dos materiais digeridos provenientes dos tratamentos via úmida, seca contínua e seca descontínua, respectivamente.



Fonte: Arquivo de Methanum.

Os filtros-prensa realizam o desaguamento ao comprimir o material digerido. Ao utilizá-lo, o material digerido passa a um teor de sólidos aproximado de 30 a 40%. As centrífugas removem a água por meio de uma decantação forçada dos sólidos ao submeter o material digerido a elevadas velocidades de rotação (Figura 30). Valores de 4 a 8% de matéria seca podem ser obtidos com seu uso. O consumo energético estimado desse equipamento é na ordem de 25 a 80kWh/t de matéria seca (FERREIRA, 2009).

**Figura 30:** Extrusora, filtro-prensa e malha



**Fonte:** Arquivo de Methanum.

A Figura 31 ilustra as instalações de desaguamento de um digestato proveniente de processo de metanização úmida.

**Figura 31:** Linha de centrífugas



**Fonte:** Arquivo de Methanum.

Separadores de rosca podem ser utilizados para digestatos com até 30% de matéria seca. Os decantadores, apesar de não permitirem teores tão elevados de sólidos, podem atingir valores da ordem de 3% na fase líquida, no entanto sua utilização é restrita a materiais de composição uniforme, além de consumirem maior energia que outros separadores e sofrerem maior desgaste.

Os materiais digeridos provenientes de substratos como esgoto, lodo sanitário e de origem animal podem demandar processos de desinfecção prévios à etapa de separação, para possibilitar seu uso como biofertilizante.

No caso dos resíduos sólidos urbanos, devido a sua heterogeneidade, exigem o peneiramento após a estabilização final, visando à remoção de impróprios. A Figura 32 apresenta o material digerido proveniente de resíduos sólidos urbanos, antes e após o peneiramento.

**Figura 32:** Material digerido proveniente de resíduos sólidos urbanos, antes [esq.] e após o peneiramento [dir.]



**Fonte:** Arquivo de Methanum.

# 4

## PARÂMETROS TÉCNICOS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

### 4.1 Produtividade de biogás em função do substrato

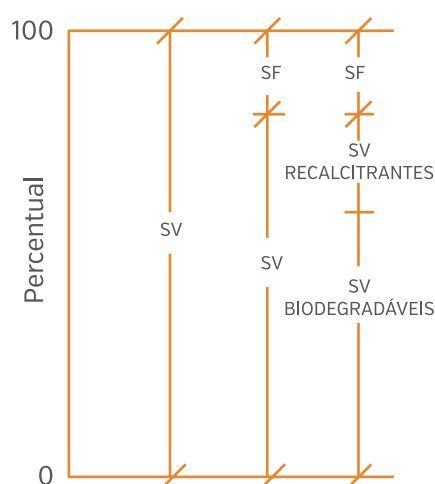
Para estimar a produtividade de biogás de um determinado substrato, bem como avaliar a tecnologia mais adequada a ser empregada, devem-se avaliar as características e a composição do substrato, em especial seu teor de biomassa biodegradável. A caracterização de um substrato deve levar em conta os seguintes aspectos:

- >> Definição do potencial máximo de produção do biogás, que pode ser medido ou calculado por meio de testes de digestão, testes de nutrição animal e análises elementares;
- >> Determinação da taxa de degradação da matéria orgânica disponível;
- >> Determinação da concentração de micro e macro nutrientes;
- >> Determinação da concentração de substâncias potencialmente inibitórias (nitrogênio, enxofre, antibióticos e outros); e
- >> Forma de manipulação: possibilidade de bombeamento, conteúdo de materiais impróprios (areia, plásticos, vidros, pedras, etc.).

Toda a matéria passível de metanização é composta por água e sólidos, sendo que as concentrações variam substancialmente entre os substratos. A fração sólida pode ser dividida entre a parcela orgânica e a inorgânica. A determinação da concentração de matéria orgânica em substratos sólidos ou semissólidos é realizada por meio da determinação do teor de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF). Já para substratos líquidos, são mais comumente utilizados parâmetros como a demanda química de oxigênio (QDO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e/ou o teor de carbono orgânico total (COT).

Uma das formas utilizadas para determinar a fração biodegradável de um substrato sólido é por meio do percentual de matéria orgânica passível de degradação. Para isso, deve-se, primeiramente, determinar o teor de umidade presente neste e, conseqüentemente, o teor de ST e SV. 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. Entretanto, cabe destacar que parte da fração orgânica é composta por lignina, celulose, hemi-celulose e outros compostos de baixa biodegradabilidade (recalcitrantes), os quais dificilmente são processados por microrganismos e, conseqüentemente, convertidos em biogás. A Figura 28 apresenta a composição típica de substratos orgânicos.

**Figura 33:** Composição típica de substratos orgânicos



**Fonte:** Adaptado de House [1948].

A forma mais precisa para determinar a taxa de produção de biogás de um substrato é por meio de um teste de degradação. Alternativamente, para substratos conhecidos e que possuam estimativas de produção de biogás publicadas, pode-se estabelecer o potencial com base na literatura disponível. Caso não seja possível obter essas informações, pode-se, ainda, estabelecer um paralelo com a digestão de animais ruminantes. Para isso, utilizam-se os coeficientes de biomassas dedicadas obtidos na tabela alemã de rações da Sociedade Alemã de Agricultura. Nela, encontram-se os teores de matéria mineral (MM), fibra bruta (FB), extrato etéreo (EE), proteína bruta (PB) e extratos não nitrogenados (ENN) com base no teor de matéria seca (MS) do Sistema de Análises de Weende e respectivas digestibilidades (DG). Cada um dos grupos que compõem a fração de SV se caracteriza por uma produção de gás específica e teor de metano próprio, que resultam das diferentes frações de carbono. A Tabela 9, apresenta a produção de biogás e  $\text{CH}_4$  para os diferentes grupos.

TABELA 9 - PRODUÇÃO DE BIOGÁS ESPECÍFICA E TEOR DE $\text{CH}_4$ DOS RESPECTIVOS GRUPOS DE SUBSTÂNCIAS		
	Produção de biogás ( $\text{m}^3/\text{kg STV}$ )	Teor de $\text{CH}_4$ (% em volume)
Proteína digestível (PB)	0,7	71
Gordura digestível (EE)	1,25	68
Carboidratos digestíveis (FB + ENN)	0,79	50

**Fonte:** Baserga [1998].

Para calcular a massa de cada um dos grupos na fração orgânica, devem-se realizar os seguintes cálculos:

- >> Teor de SV em % =  $(1.000 - \text{MM em g/kg}) / 10$
- >> Massa de proteína digerível em  $\text{kg/kg MS} = (\text{PB} \times \text{DGPB}) / 1.000$
- >> Massa de gordura digerível em  $\text{kg/kg MS} = (\text{EE} \times \text{DGEE}) / 1.000$
- >> Massa de carboidratos digerível em  $\text{kg/kg MS} = (\text{FB} \times \text{DGFB}) + (\text{ENN} \times \text{DGENN}) / 1.000$

Com a massa de cada um dos grupos e com os dados apresentados na Tabela 9, calcula-se a produtividade de biogás e de CH<sub>4</sub> para diferentes substratos. Entretanto, pode-se afirmar que, na prática, os rendimentos de CH<sub>4</sub> são, geralmente, superiores aos calculados e que, segundo o atual nível de conhecimento da degradabilidade dos materiais, a melhor alternativa para uma estimativa com um nível maior de acurácia da produtividade real de metano para determinado substrato é a realização de ensaios de degradabilidade do material em reatores em escala de laboratório.

Já para os substratos líquidos, Chernicharo (1997) afirma que a DQO é dividida entre biodegradável e recalcitrante, em que a DQO recalcitrante é composta pela parcela do substrato orgânico que não pode ser degradada pelos microrganismos fermentadores. De modo a auxiliar na quantificação da DQO biodegradável, pode-se estabelecer uma relação com a DBO, na qual, quanto mais próximo a um for a relação DBO/DQO, mais biodegradável será o substrato. Substratos que apresentem uma relação superior a 0,5 podem ser considerados facilmente biodegradáveis (METCALF & EDDY, 2003).

Adicionalmente, pode-se calcular a produtividade de biogás e biometano com base na eficiência de conversão de matéria orgânica em biogás. Segundo Metcalf & Eddy (2003), são produzidos 0,35m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> para cada kg de DQO removida e entre 0,72 e 1,12m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> para cada kg de SV removido.

De forma a auxiliar na estimativa de produtividade de biogás de uma usina, a Tabela 10 apresenta uma estimativa de produção de biogás de diferentes substratos, lembrando que pode haver variações em função da tecnologia empregada.

TABELA 10 - PRODUÇÃO ESTIMADA DE BIOGÁS E BIOMETANO DE DISTINTOS SUBSTRATOS

	ST (%)	Relação SV/ST (%)	Produtividade de biogás (l/kg SV)	CH <sub>4</sub> (%)	Degradabilidade dos SV (%)
<i>Dejetos de bovinos</i>	10	85	380	60	40
<b>Dejetos sólidos de bovinos</b>	25	85	380	53	40
<b>Dejetos de suínos</b>	5	85	450	60	50
<b>Dejetos sólidos de suínos</b>	23	90	450	60	50
<b>Dejetos de aves</b>	30	75	550	60	50
<b>Dejetos sólidos de aves</b>	70	75	550	60	50
<b>Dejetos de peru com palha</b>	55	85	45	60	50
<b>Dejetos de ovinos com palha</b>	30	80	450	55	45
<b>Dejetos de equinos com palha</b>	28	75	300	55	30
<b>Restos de comida (gorduras)</b>	18	92	540	65	70
<b>Bagaço de frutas</b>	30	90	550	60	60

TABELA 10 - PRODUÇÃO ESTIMADA DE BIOGÁS E BIOMETANO DE DISTINTOS SUBSTRATOS

	ST (%)	Relação SV/ST (%)	Produtividade de biogás (l/kg SV)	CH <sub>4</sub> (%)	Degradabilidade dos SV (%)
Bagaço de maçã	16	98	400	55	50
Bagaço de uva	30	85	250	55	30
Glicerina	98	95	850	50	85
Proteína fresca	5,7	93	750	53	80
Leite integral fresco	13	95	900	63	85
Resíduos alimentares	18	95	800	65	80
Sangue	18	92	685	70	90
Rúmen	15	84	480	55	50
Conteúdo estomacal de porcos	14	80	450	60	50
Silagem de grama	35	87	580	55	65
Silagem de milho	32	94	660	53	75
Feno	85	92	550	53	60
Silagem de sorgo	28	90	610	52	65
Fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos	25	70	615	60	55
Lodo de estação de tratamento de esgoto sanitário	1	72	450	65	45
Esgoto sanitário	035	82	450	65	50
Gordura de lodo de flotação	2,5	84,4	800	65	80

Fonte: Adaptado de Deublein e Steinhauser (2008).

A norma alemã VDI 4630 é amplamente utilizada para a padronização de amostragem, preparo de amostras e caracterização de substratos, coleta de dados específicos e valores de orientação e testes de fermentação.

No Brasil há, inclusive, alguns laboratórios que seguem esta norma ou a utilizam como referência em seus procedimentos. Entre eles, está o Laboratório de Estudos em Biogás da EMBRAPA de Concórdia e o Labiogás da CIBiogás-ER. Neste contexto, existe também uma rede de pesquisas, a Rede BiogásFert, liderada pela EMBRAPA que busca, entre outros objetivos, harmonizar os procedimentos laboratoriais no Brasil. Para atingir este objetivo, a BiogásFert efetua o Estudo Interlaboratorial em Digestão Anaeróbia que mensura o desempenho e integra diferentes laboratórios especializados em biogás, padronizando assim o setor de serviços laboratoriais.



## 4.2 Parâmetros de produção do processo de metanização

Para avaliar o desempenho de sistemas de metanização, é fundamental o conhecimento de parâmetros operacionais e de projeto dos reatores, tais como, a quantidade e caracterização do substrato a ser processado; temperatura; carga orgânica aplicada; carga orgânica volumétrica; tempo de detenção hidráulica; carga hidráulica volumétrica; tempo de retenção de sólidos; velocidade ascensional; taxa de aplicação superficial; produtividade e rendimento de biogás ou metano; conversão do biogás em energia; requisitos de área e utilidades e balanço de massa e energia.

### 4.2.1 Quantidade e caracterização do substrato a ser processado

A quantidade de substrato a ser processado, bem como o conhecimento de suas características físico-químicas, é o ponto de partida para o dimensionamento de sistemas de metanização. Usualmente, a quantidade de substrato é dada em termos de vazão volumétrica (unidade de volume por unidade de tempo), ou vazão mássica (unidade de massa por unidade de tempo) e concentração de matéria orgânica (SV, DQO, DBO, COT). A caracterização quantitativa e qualitativa do substrato subsidia as demais etapas do dimensionamento, possibilitando inferir sobre os requisitos de processo.

### 4.2.2 Carga Orgânica Aplicada [COA]

A COA corresponde à massa de matéria orgânica (SV ou DQO) disponível para o sistema de metanização, por unidade de tempo. A COA é obtida por meio do produto entre a vazão mássica ou volumétrica de substrato e a concentração de matéria orgânica no substrato afluente ao sistema de metanização, dada em DQO ou STV, conforme pode ser verificado na equação a seguir:

$$COA = Q \times S_o \quad \text{Equação 3}$$

Em que,

- >> COA = carga orgânica (kg/d);
- >> Q = vazão volumétrica ou mássica de substrato afluente ao reator de metanização (m<sup>3</sup>/d ou kg/d);
- >> S<sub>o</sub> = concentração de matéria orgânica (DQO, SV) no substrato afluente (kg/m<sup>3</sup> ou kg/kg).

### 4.2.3 Carga Orgânica Volumétrica [COV]

A COV indica a quantidade em massa de matéria orgânica (STV, DQO, DBO, etc.) que é aplicada ao reator por unidade de tempo e unidade de volume útil. A COV deve ser calculada considerando a quantidade de substrato afluente ao reator de metanização. Este parâmetro é dado pela razão entre a COA e o volume útil da unidade de reação, conforme apresentado a seguir:

$$COV = COA / V_R \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

- >> COV = Carga orgânica volumétrica (kg/m<sup>3</sup>.d);
- >> COA = carga orgânica (kg/d);
- >> V<sub>R</sub> = volume útil do reator (m<sup>3</sup>).

Cabe destacar que quanto mais elevada for a COV suportada por um biodigestor, menor será seu volume, sendo que este é o critério básico para a comparação entre tecnologias.

#### 4.2.4 Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), Carga Hidráulica Volumétrica (CHV), Tempo de Retenção de Sólidos (TRS) e Tempo de Resistência Celular (TRC)

O TDH representa o tempo médio que o material permanece no interior do biodigestor. Para substratos sólidos ou semissólidos o TDH tende a ser mais elevado, sendo expresso em dias, enquanto, para substratos líquidos, geralmente é expresso em horas. O TDH é obtido com base na seguinte equação:

$$TDH = V_R / Q_S \quad \text{Equação 5}$$

Em que:

- >> TDH = Tempo de detenção hidráulica (d);
- >> V<sub>R</sub> = Volume útil do reator (m<sup>3</sup>);
- >> Q<sub>S</sub> = Vazão de líquido afluyente (m<sup>3</sup>/d).

A CHV representa o volume líquido de substrato que é inserido no sistema de metanização, por unidade de tempo e volume do reator. Este parâmetro é o inverso do TDH, podendo ser expresso a partir da seguinte equação:

$$CHV = 1 / TDH \quad \text{Equação 6}$$

Em que:

- >> CHV = Carga hidráulica volumétrica (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d)
- >> TDH = Tempo de detenção hidráulica (d);

O TRC, por sua vez, representa o tempo médio que a biomassa permanece no interior do reator e pode ser calculada a partir da quantidade total de biomassa presente no reator e da quantidade de biomassa que é carregada no efluente. O TRC, também denominado como idade do lodo, pode ser expresso como:

$$TRC = \frac{\text{Massa de sólidos no sistema}}{\text{Massa de sólidos retirada do sistema, por unidade de tempo}} \quad \text{Equação 7}$$

Em que:

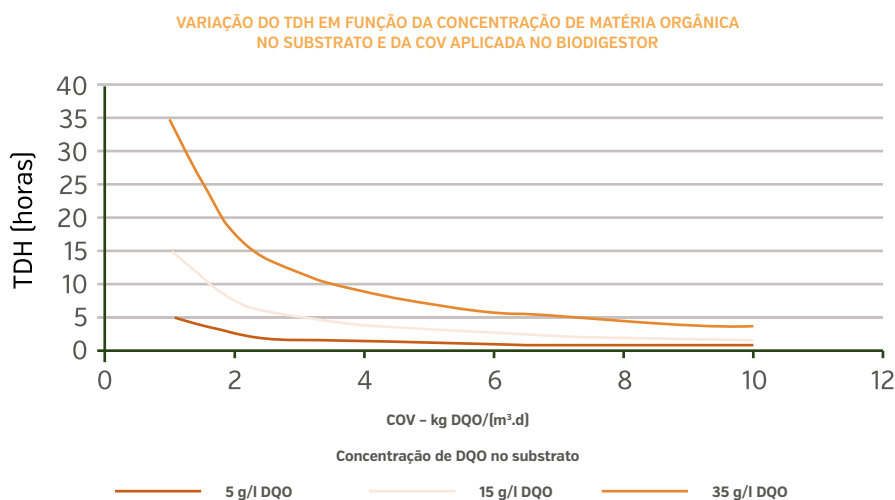
- >> TRC = Tempo de retenção celular (d);
- >> Massa de sólidos no sistema (kg);
- >> Massa de sólidos retirada do sistema, por unidade de tempo (kg/d)

Em reatores anaeróbios de alta taxa, é fundamental que o TRC seja igual ou superior ao TDH. Em sistemas sem mecanismos de retenção de sólidos (p. ex. Reatores de Mistura Completa), o TDH equivale ao TRC, enquanto reatores que dispõem de mecanismos de retenção de sólidos possuem TDH inferior ao TRC. Reatores de alta taxa retêm grande quantidade de biomassa (elevado TRC), o que propicia a estabilização do lodo no próprio sistema e consequente redução na produção de biomassa (menor quantidade de lodo gerado).

Reduzidos TDH ou elevados CHV podem comprometer o desempenho de reatores anaeróbios devido à perda excessiva de biomassa por arraste (*wash out*), devido à redução do TRC, comprometendo a estabilização de lodo; e/ou devido à permanência da biomassa no sistema ser inferior ao seu tempo de crescimento.

A COV e o TDH são parâmetros diretamente correlacionados. Considerando que a composição do substrato seja constante (mesma concentração de DQO ou STV), quanto maior for a COV aplicada para um mesmo biodigestor, maior será a vazão afluyente, e, conseqüentemente, menor será o TDH. A COV varia em função do tipo de tecnologia de digestão anaeróbia que está sendo utilizado, enquanto o TDH está diretamente ligado ao grau de biodegradabilidade do substrato. O TRC, conforme já mencionado, depende da existência de mecanismos para retenção de biomassa (retenção por adesão, por floculação, granulação ou intersticial). A Figura 29 ilustra a correlação entre a COV e o TDH.

**Figura 34:** Variação do TDH em função da concentração de matéria orgânica no substrato e da COV aplicada no biodigestor.



**Fonte:** Adaptado de Deublein e Steinhauser [2008].

#### 4.2.5 Produtividade e rendimento de biogás e/ou metano

O desempenho de uma planta de biogás pode ser avaliado com base na produtividade e rendimento de biogás ou metano, bem como a taxa de degradação do substrato. A produtividade é expressa pela produção de gás em relação ao volume do biodigestor, sendo calculada conforme a equação a seguir:

$$P_{CH_4} \text{ ou } P_{\text{biogás}} = Q_{CH_4} \text{ ou } Q_{\text{biogás}} / V_R \quad \text{Equação 8}$$

Em que:

- >>  $P_{CH_4}$  = Produtividade de  $CH_4$  ( $m^3$  de biogás/ $m^3$  de biodigestor.d);
- >>  $P_{biogás}$  = Produtividade de biogás ( $m^3$  de biogás/ $m^3$  de biodigestor.d);
- >>  $Q_{CH_4}$  = Vazão de metano em ( $m^3/d$ );
- >>  $Q_{biogás}$  = Vazão de biogás em ( $m^3/d$ );
- >>  $V_R$  = Volume útil do reator ( $m^3$ ).

Para os setores de efluentes líquidos municipais e resíduos sólidos urbanos, especificamente, é possível relacionar a produção de biogás, ou metano, e a quantidade de habitantes atendidos pelo sistema, conforme apresentado a seguir.

$$P_{CH_4} \text{ ou } P_{biogás} = Q_{CH_4} \text{ ou } Q_{biogás} / N_{hab} \quad \text{Equação 9}$$

Em que:

- >>  $P_{CH_4}$  = Produtividade de  $CH_4$  ( $m^3/hab.d$ );
- >>  $P_{biogás}$  = Produtividade de biogás ( $m^3/hab.d$ );
- >>  $Q_{CH_4}$  = Vazão de metano em ( $m^3/d$ );
- >>  $Q_{biogás}$  = Vazão de biogás em ( $m^3/d$ );
- >>  $N_{hab}$  = Número de habitantes (s.u.).

O rendimento, por sua vez, expressa a produção de gás em relação à quantidade de matéria orgânica processada na planta de biogás e é calculado com base na seguinte equação:

$$A_{CH_4} \text{ ou } A_{biogás} = Q_{CH_4} \text{ ou } Q_{biogás} / COA \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

- $A_{CH_4}$  = Rendimento de  $CH_4$  ( $m^3/kg$ );
- $A_{biogás}$  = Rendimento de biogás ( $m^3/kg$ );
- $Q_{CH_4}$  = Vazão de metano em ( $m^3/d$ );
- $Q_{biogás}$  = Vazão de biogás em ( $m^3/d$ );
- COA = carga orgânica ( $kg/d$ ).

A taxa de degradação do substrato ( $n_{Sub}$ ) traduz a eficiência do aproveitamento da matéria orgânica disponível, podendo ser determinada com base na concentração de STV ou DQO, a qual é calculada com base na seguinte equação:

$$n_{Sub} = (COA_{in} - COA_{out} / COA_{in}) \times 100 \quad \text{Equação 11}$$

Em que,

- $n_{Sub}$  = taxa de degradação do substrato (%);
- $COA_{in}$  = carga orgânica aplicada afluente ( $kg/d$ );
- $COA_{out}$  = carga orgânica aplicada efluente ( $kg/d$ ).

#### 4.2.6 Conversão do biogás em energia

Para estimar a geração de energia elétrica e térmica de uma planta de biogás, devem-se levar em conta a vazão de biogás, a concentração de  $\text{CH}_4$  e as eficiências elétricas e térmicas do sistema de aproveitamento energético de biogás. A eficiência total de uma usina de biogás deve ser calculada somando-se as eficiências térmica e elétrica e situa-se entre 70% e 85%. A potência disponível é calculada com base na seguinte equação:

$$P_d = Q_{\text{biogás}} \times C_{\text{CH}_4} \times \text{PCI}_{\text{CH}_4} \quad \text{Equação 12}$$

Em que,

- >>  $P_d$  = Potência disponível (W);
- >>  $Q_{\text{biogás}}$  = Vazão de biogás ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- >>  $C_{\text{CH}_4}$  = Concentração de  $\text{CH}_4$  no biogás (%);
- >>  $\text{PCI}_{\text{CH}_4}$  = Poder calorífico inferior do  $\text{CH}_4$  ( $\text{J}/\text{m}^3$ ).

Com base na  $P_d$ , calcula-se, então, a potência térmica e elétrica instalada da usina, a qual considera a eficiência de conversão de energia do grupo gerador. Destaca-se que as energias térmica e elétrica devem ser calculadas separadamente, tendo em vista que os sistemas de valorização de energética expressam eficiências diferentes para cada tipo de energia.

$$P_i = P_d \times \phi \quad \text{Equação 13}$$

Em que,

- >>  $P_i$  = Potência instalada (W);
- >>  $P_d$  = Potência disponível (W);
- >>  $\phi$  = Eficiência recuperação de energia térmica ou elétrica do grupo gerador (%).

Para quantificar a energia gerada por uma usina, deve-se considerar, ainda, o fator de capacidade desta, o qual considera a disponibilidade da usina e é dado pela razão entre a energia gerada pela usina em determinado intervalo de tempo e a energia máxima possível de ser gerada neste período, considerando-se a potência instalada da usina.

$$E_B = P_i \times t \times F_c \quad \text{Equação 14}$$

Em que,

- >>  $E_B$  = Energia térmica ou elétrica bruta gerada (J);
- >>  $P_i$  = Potência instalada (W);
- >>  $t$  = tempo de operação do grupo gerador (s);
- >>  $F_c$  = Fator de capacidade (%)

A energia gerada é, portanto, dependente da composição e quantidade do biogás gerado, da eficiência do grupo gerador e do tempo de operação da usina. Este último, por sua vez, é condicionado a diversos fatores, tais como, a disponibilidade de substrato, manutenção de equipamentos e horário de funcionamento da usina.

Por fim, para avaliar a produção líquida de uma usina de geração de energia a partir de biogás, deve-se descontar, da energia gerada, o autoconsumo energético da usina, o qual corresponde à energia demandada pela unidade para operação de seus processos. Dentre os equipamentos comuns em usinas de biogás que consomem energia elétrica, destacam-se as bombas, trocadores de calor, refrigeradores, agitadores, trituradores, separadores sólidos-líquidos, entre outros. É possível avaliar o autoconsumo energético de usinas relacionando-o com o reator de metanização, principal componente da planta, e/ou a produção de biogás, visto que a dimensão de reatores é condicionada à eficiência destes (reatores de alta taxa, por exemplo, são mais compactos que reatores convencionais). As referidas relações são equacionadas a seguir.

$$AC_e = AC_t / V_R \quad \text{Equação 15}$$

$$AC_e = AC_t / Q_{\text{biogás}} \quad \text{Equação 16}$$

Em que,

- >>  $AC_e$  = Autoconsumo energético, térmico ou elétrico, específico ( $J/m^3$  ou  $J.s/m^3$ );
- >>  $AC_t$  = Autoconsumo energético, térmico ou elétrico, da usina total (J);
- >>  $Q_{\text{biogás}}$  = Vazão de biogás ( $m^3/s$ );
- >>  $V_R$  = Volume útil do reator ( $m^3$ ).

A energia líquida produzida pela usina corresponde, então, à diferença entre a energia bruta produzida e o autoconsumo energético, conforme apresentado na sequência:

$$E_L = E_B - AC_t \quad \text{Equação 17}$$

Em que,

- >>  $E_L$  = Energia térmica ou elétrica líquida gerada (J);
- >>  $E_B$  = Energia térmica ou elétrica bruta gerada (J); e
- >>  $AC_t$  = Autoconsumo energético, térmico ou elétrico, da usina total (J).

#### 4.2.7 Área agrícola para geração de biomassa/ fertirrigação

A estimativa de área agrícola necessária para geração de biomassa para suprimento de uma planta de biogás depende do tipo de cultura que será utilizado, das condições ambientais do local onde será realizada a plantação e da demanda de biomassa da unidade.

As biomassas apresentam diferentes produtividades por área, o que influencia na disponibilidade de substrato para metanização. Associando a produtividade de determinada cultura, por área de plantio, e o rendimento de biogás (ou metano) do substrato resultante, o qual frequentemente é sujeito a técnicas de silagem para elevar a disponibilidade da usina, é possível estimar a demanda de área para uma usina de biogás com potência instalada pré-determinada, conforme apresentado a seguir.

$$A_d = P_i / (p_c \times P_{bb} \times PCI \times \phi) \quad \text{Equação 18}$$

Em que,

- >>  $A_d$  = Área agrícola demandada ( $m^2$ );
- >>  $P_i$  = Potência instalada (W);
- >>  $p_c$  = Produtividade de biomassa ( $kg/m^2 \cdot s$ );
- >>  $P_{bb}$  = Produtividade de biogás ou metano, por massa de biomassa ( $m^3/kg$ );
- >> PCI = Poder calorífico inferior do metano ou biogás ( $kg/m \cdot s^2$ );
- >>  $\phi$  = Eficiência recuperação de energia térmica ou elétrica do grupo gerador (%).

A aplicação máxima de biofertilizante por hectare deverá ser realizada de modo a atender a recomendações agronômicas para a área onde será realizada, bem como não deverá extrapolar os limites legais estabelecidos. Para a utilização de lodo de ETE com finalidades agronômicas, a Resolução CONAMA nº 375/06 estabelece que a quantidade aplicada não deverá exceder o quociente entre a quantidade de nitrogênio recomendada para a cultura (em  $kg/ha$ ), segundo a recomendação agronômica oficial do estado, e o teor de nitrogênio disponível ( $N_{disp}$  em  $kg/t$ ). Esta taxa de aplicação vai variar de acordo com o substrato metanizado, sendo que se faz necessário observar as regulamentações vigentes em cada estado. A taxa de aplicação segundo a CONAMA nº 375/06 é calculada com base na seguinte equação:

$$T_A = N_{rec} / N_{disp} \quad \text{Equação 19}$$

Em que:

- >>  $T_A$  = Taxa de aplicação (t/ha);
- >>  $N_{rec}$  = Quantidade de nitrogênio recomendado ( $kg/ha$ );
- >>  $N_{disp}$  = Quantidade de nitrogênio disponível no biofertilizante ( $kg/t$ ).

Entretanto, é importante salientar que os estados têm normas distintas para a aplicação do composto, que devem ser averiguadas caso a caso, bem como requisitos para o licenciamento de unidades de reciclagem de resíduos, conforme a classe dos materiais.

#### 4.2.8 Balanço de massa e energia

O balanço de massa e energia de uma planta biogás é dependente, principalmente, do substrato processado, da tecnologia empregada e do desempenho (eficiência) do reator de metanização. Para avaliação do balanço de massa e energia, é necessário considerar as entradas e saídas do processo, cujas proporções variam em função da tecnologia adotada.

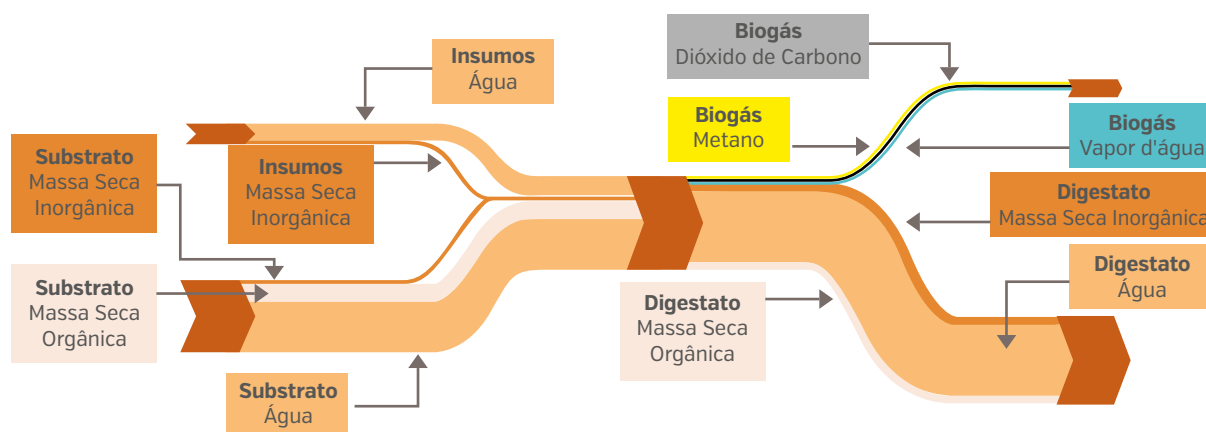
Especificando a análise para a etapa de metanização, tem-se que, para o balanço de massa, as principais entradas são:

- >> Substratos, os quais são compostos por água, matéria seca orgânica e matéria seca inorgânica;
- >> Água, para eventual adequação do teor de sólidos;
- >> Nutrientes, de modo a suplementar, por ventura, a quantidade de micro e macro nutrientes; e
- >> Soluções alcalinas ou ácidas, para correção do pH da solução, se necessárias.

Ainda em relação à etapa de metanização, as principais saídas do balanço de massa são:

- >> Digestato, composto por água, matéria seca orgânica e matéria seca inorgânica; e
- >> Biogás, composto, majoritariamente, por metano, dióxido de carbono e vapor de água.

**Figura 35:** Balanço de massa esquemático de uma planta de biogás



**Fonte:** Adaptado de Postel et al [2012].

Quanto ao balanço de energia, pode-se analisá-lo considerando as diferentes formas de energia, a saber, energia potencial, energia térmica e energia elétrica. As principais entradas de energia são apresentadas a seguir:

- >> Energia potencial retida nos substratos;
- >> Energia térmica contida nos substratos;
- >> Energia potencial retida nos insumos, tais como nutrientes, água e agentes alcalinizantes ou acidificantes;



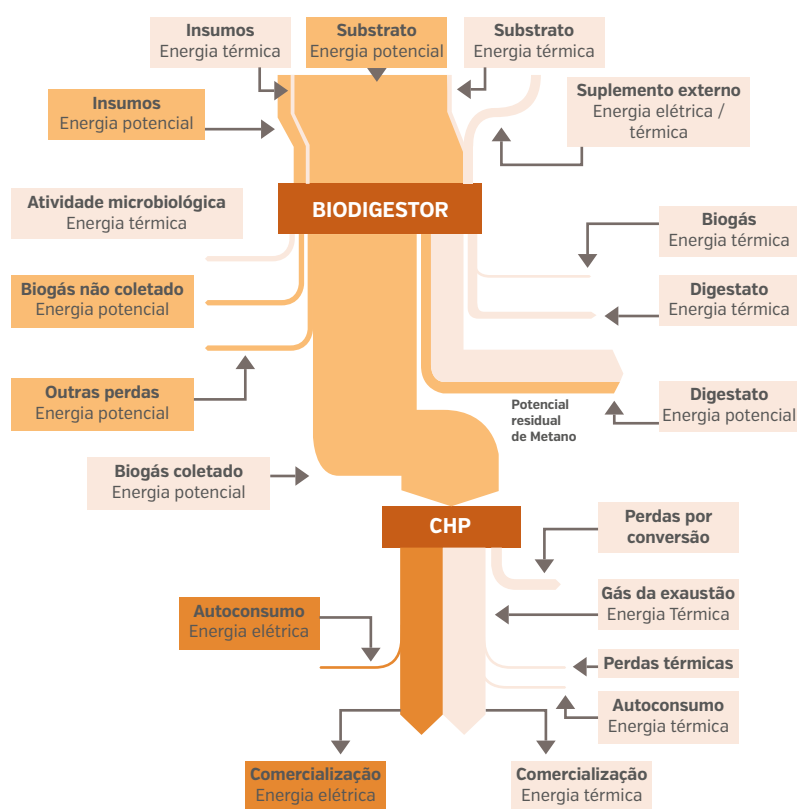
- » Energia térmica contida nos insumos; e
- » Eventual suplemento externo de energia térmica.

Considerando as saídas do processo de metanização, bem como do sistema de geração de energia, podem-se destacar os seguintes fluxos de energia:

- » Energia potencial retida no biogás coletado;
- » Energia térmica do biogás coletado;
- » Energia potencial no biogás perdido (vazamentos);
- » Energia potencial contida no digestato, o qual ainda contém uma parcela que é passível de ser metanizada, visto que o processo de metanização não apresenta 100% de eficiência na conversão de matéria orgânica biodegradável em biogás;
- » Energia térmica do digestato;
- » Energia térmica gerada pela atividade microbológica;
- » Perdas na conversão de energia no grupo gerador;
- » Energia térmica para comercialização;
- » Perdas térmicas no grupo gerador;
- » Energia térmica utilizada para suprimento energético da própria planta;
- » Energia elétrica para comercialização;
- » Energia elétrica utilizada para suprimento energético da própria planta; e
- » Outras perdas.

A Figura 31 apresenta, esquematicamente, o balanço de energia do processo de metanização.

**Figura 36:** Balanço de energia esquemático de uma planta de biogás



Fonte: Adaptado de Postel et al [2012].

### 4.3 Metodologias de cálculo de emissões de metano enquanto gás de efeito estufa (GEE)

Além dos cálculos de produtividade de biogás relacionados às características dos substratos e à eficiência do processo anaeróbico descritos, existem metodologias específicas para o cálculo das emissões de gases de efeito estufa (GEE) em diferentes setores, tendo como objetivo estimar a participação de diferentes atividades no processo de aquecimento global. Entre os GEE analisados, está o metano, principal constituinte do biogás, que tem um potencial de contribuição ao aquecimento global 28 vezes superior ao dióxido de carbono (IPCC, 2013). A partir destes dados, podemos estimar, para alguns setores, o montante de emissões que podem ser evitadas caso este metano seja direcionado para uma finalidade energética.

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) foi o responsável por definir as diretrizes para a realização dos inventários de GEE (*Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – GNGGI*), estabelecendo métodos de cálculo de produção de metano para diferentes atividades<sup>12</sup>. No estudo, são contemplados os setores produtivos que geram volumes significativos de GEE, apresentados na Tabela 11.

**12:** O IPCC normatiza as metodologias de créditos de carbono, redução de GEE.

**TABELA 11 - SETORES QUE POSSUEM METODOLOGIAS PARA CÁLCULO DE EMISSÕES DE CH<sub>4</sub>**

Setores	Exemplo de atividades	Características da metodologia
<b>Energia</b>	Combustão estacionária	Os cálculos variam para as indústrias de energia, setores de manufatura e construção, e outros setores.
	Combustão móvel	Os cálculos variam conforme o meio de transporte: rodoviário, fora de estrada, ferroviários, navegação e aviação civil.
	Emissões fugitivas de combustíveis	Cálculos relativos aos processos de mineração, processamento, armazenamento e transporte de carvão.
	Transporte de dióxido de carbono injeção e armazenamento geológico	-
<b>Processos Industriais</b>	Indústria mineral	Diferentes cálculos para os diferentes processos. A geração de CH <sub>4</sub> ocorre apenas em alguns setores específicos.
	Indústria química	
	Indústria metalúrgica	
	Indústria eletrônica	
	Outros	
<b>Agricultura Florestas e outros usos da terra</b>	Terras florestais	Diferentes cálculos para terras remanescentes e convertidas em termos de biomassa, matéria orgânica morta, carbono do solo e gases não provenientes da queima de biomassa.
	Terras agrícolas	
	Pastagens	
	Terras inundadas	Diferentes cálculos para terras inundadas controladamente (cultivos agrícolas, geração de energia, navegação, abastecimento de água) e pantanais.
	Outras terras	Diferentes cálculos para terras remanescentes e convertidas em termos de biomassa, matéria orgânica morta, carbono do solo.
<b>Resíduos Sólidos</b>	Disposição de resíduos em aterros	Métodos de cálculo simplificado e da decomposição de primeira ordem.
	Tratamento biológico	Métodos de cálculo para os processos anaeróbios e aeróbios.
	Incineração e queima a céu aberto	Baseia-se na quantidade de resíduo incinerados e emissões relacionadas a CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O.
	Tratamento de Efluentes	Os cálculos são subdivididos em efluentes domésticos e industriais. O modelo contempla ainda fatores de correções para diferentes tipos de tratamento de efluentes.

É importante destacar que, em alguns processos ou setores, como é o caso do cultivo de arroz, apesar de haver metodologia para o cálculo de emissão de metano, o uso energético do biogás não pode ser realizado, já que a emissão é difusa, fazendo com que estas emissões sejam inevitáveis.

A metodologia do IPCC foi validada no Brasil pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), que a adotou como referência técnica para a realização dos inventários de emissões nos diferentes setores produtivos no país. A metodologia pode ser consultada no documento *Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa* (2009).

#### 4.4 Rendimentos do biogás de acordo com o uso

Para avaliar o teor energético do biogás, utiliza-se os parâmetros PCS (Poder Calorífico Superior [kJ/kg ou kJ/Nm<sup>3</sup>]), PCI (Poder Calorífico Inferior [kJ/kg ou kJ/Nm<sup>3</sup>]) e IW (Índice de Wobbe [MJ/Nm<sup>3</sup>]). O PCS de um combustível é definido pela quantidade de calor liberada a partir da combustão de uma determinada massa do combustível (inicialmente a 25°C) e retorno dos produtos à temperatura de 25°C (implicando na condensação de todo o vapor de água gerado na combustão e consequente recuperação do calor latente de vaporização da água).

Já o PCI é definido pelo mesmo conceito, porém, mantendo os produtos a 150°C, de maneira que o H<sub>2</sub>O gerado da combustão permanece em estado gasoso e seu calor latente de vaporização não é recuperado (*U.S Department of Energy*, 2015).

Desta maneira, ao tratar-se de uma mesma substância, o PCI é sempre inferior ao PCS. Por fim, o IW é determinado pelo quociente entre o PCI e a raiz quadrada da densidade relativa (quociente entre a densidade do gás combustível e a densidade do ar seco nas mesmas condições de pressão e temperatura) (*IEA Bioenergy*, 2013).

É comum determinar os valores de PCI e de PCS de um combustível por meio de ensaios laboratoriais. No entanto, também é possível estimar valores de PCI e PCS por meio da aplicação das fórmulas de Dulong apresentadas abaixo, uma vez conhecida a composição molecular do combustível (JOSÉ, 2004).

$$\text{PCS} = 3.050 \times \text{CO} + 3.070 \times \text{H}_2 + 9.500 \times \text{CH}_4 + 13.950 \times \text{C}_2\text{H}_2 + 15.000 \times \text{C}_2\text{H}_4$$

**Equação 20**

$$\text{PCI} = 3.050 \times \text{CO} + 2.580 \times \text{H}_2 + 8.530 \times \text{CH}_4 + 13.500 \times \text{C}_2\text{H}_2 + 14.050 \times \text{C}_2\text{H}_4$$

**Equação 21**

Em que:

- PCS = Poder calorífico superior (kcal/ Nm<sup>3</sup>);
- PCI = Poder calorífico inferior (kcal/ Nm<sup>3</sup>);
- CO = Teor de monóxido de carbono (Nm<sup>3</sup> CO/Nm<sup>3</sup> combustível);
- H<sub>2</sub> = Teor de hidrogênio (Nm<sup>3</sup> hidrogênio/Nm<sup>3</sup> combustível);
- CH<sub>4</sub> = Teor de metano (Nm<sup>3</sup> metano/Nm<sup>3</sup> combustível);
- C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> = Teor de etino (Nm<sup>3</sup> etino/Nm<sup>3</sup> combustível);
- C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> = Teor de eteno (Nm<sup>3</sup> eteno/Nm<sup>3</sup> combustível).

As faixas típicas de alguns parâmetros energéticos são apresentadas na Tabela 12.

TABELA 12 - FAIXAS TÍPICAS DE PCI E IW PARA ALGUNS GASES		
Gás	PCI (MJ/Nm <sup>3</sup> )	IW (MJ/Nm <sup>3</sup> )
Gás Natural	31 - 40	44 - 55
Biogás de aterro	10,7 - 23,3	20 - 25
Biogás de estação de tratamento de esgoto	21,5 - 23,3	25 - 30
Biogás de planta rural de digestão anaeróbia	19,7 - 21,5	24 - 33

Fonte: IEA Bioenergy, 2013.

#### 4.4.1 Eficiência de grupos geradores (CHP)

A eficiência dos grupos geradores representa a relação entre a energia disponibilizada pelo equipamento (nas formas elétrica e térmica) e a energia fornecida ao equipamento (armazenada no combustível na forma química). A soma das componentes, eficiência elétrica e eficiência térmica, é denominada eficiência total. As eficiências elétrica e térmica dos grupos geradores podem ser calculadas, respectivamente, por meio da Equação 22 e Equação 23.

$$n_{el} = \text{Pot}_{el} / m_c \times \text{PCI} \quad \text{Equação 22}$$

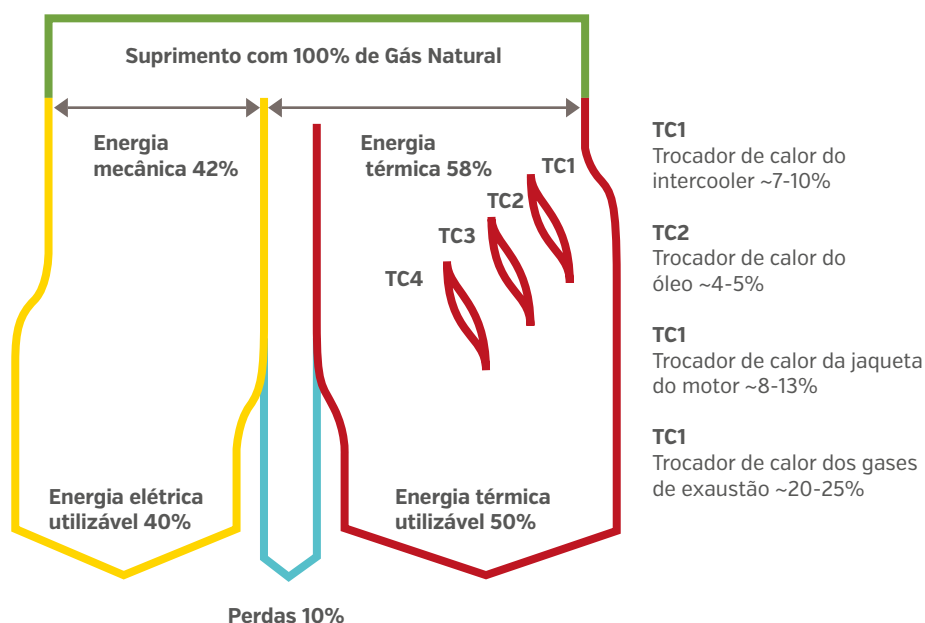
$$n_{th} = \text{Pot}_{th} / m_c \times \text{PCI} \quad \text{Equação 23}$$

Em que:

- >>  $n_{el}$  = eficiência elétrica do grupo gerador;
- >>  $n_{th}$  = eficiência térmica do grupo gerador;
- >>  $\text{Pot}_{el}$  = potência elétrica do grupo gerador (kW);
- >>  $\text{Pot}_{th}$  = potência térmica do grupo gerador (kW);
- >>  $m_c$  = vazão em massa de combustível (kg/h);
- >> PCI = poder calorífico inferior do combustível (kJ/kg).

As perdas energéticas que ocorrem durante o processo de geração de energia elétrica, em um grupo gerador, são de natureza elétrica e térmica. O diagrama de Sankey de um grupo gerador a Gás Natural é apresentado na Figura 32.

**Figura 37:** Diagrama de Sankey de Grupo Gerador CHP de Gás Natural



**Fonte:** Adaptado de GE Energy [2009].

Como se pode observar, os grupos geradores permitem que cerca de 40% do total de energia contido no combustível seja aproveitado em forma de eletricidade, havendo 2% de perdas no gerador e 58% de perdas por calor (50% recuperável e 8% irre recuperável).

O reaproveitamento do calor pode ser realizado a partir do *intercooler*, dos gases de exaustão, da jaqueta de água (*jacket water*), do sistema de resfriamento e do óleo do motor. O calor reaproveitado de cada uma das partes mencionadas apresenta características específicas (temperatura e fluxo), portanto cada um dos calores deve ser utilizado em aplicações cujos requisitos sejam compatíveis. As aplicações do calor reaproveitado variam desde geração de potência extra e de água aquecida, até o aquecimento de ambientes, resfriamento de água (com uso de resfriadores de absorção) e aplicações industriais que se adequem. Portanto, apesar da possibilidade da reutilização da energia térmica gerada durante a produção de eletricidade, nem sempre ela é integralmente exercida, já que nem sempre há aplicação para tal energia.

Os valores de eficiência dos grupos geradores geralmente são fornecidos na ficha técnica do próprio equipamento. Quando eles não são fornecidos diretamente, é comum encontrar-se, nas fichas técnicas, o consumo de biogás, acompanhado pelo poder calorífico volumétrico do combustível. Associando-se estas duas informações à potência nominal do grupo gerador, é possível calcular a eficiência do equipamento a partir da equação 24.

$$\eta = \text{Pot}_{\text{El}} / (q_c \times \text{PCI}_{\text{vol}}) \quad \text{Equação 24}$$

Em que:

$\text{Pot}_{\text{El}}$  = potência elétrica do grupo gerador (kW);  
 $q_c$  = consumo de biogás do grupo gerador ( $\text{m}^3/\text{h}$ );  
 $\text{PCI}_{\text{vol}}$  = poder calorífico volumétrico inferior do combustível ( $\text{kJ}/\text{m}^3$ ).

Atualmente, no mercado nacional e internacional, são encontrados cerca de 100 modelos de CHP movidos a biogás com eficiências totais de até 90%. Dentre estes, as eficiências elétricas variam tipicamente entre 25% e 45% e as eficiências térmicas, entre 30% e 55%. É importante destacar que os testes de eficiência realizados por fabricantes distintos podem diferir quanto a seus parâmetros, de modo que a comparação entre eficiências de fabricantes distintos deve considerar parâmetros, tais como, o poder calorífico do gás, o tipo de poder calorífico (inferior ou superior) e o fator de potência do gerador.

Os equipamentos nacionais apresentam uma faixa de potência entre 48 e 288kW<sub>el</sub>, ao passo que existem equipamentos internacionais que possuem potência até 2.000kW<sub>el</sub>. Entretanto, as eficiências dos nacionais são comparáveis às dos internacionais. Isso demonstra que os fabricantes nacionais tendem a dominar cada vez mais essa tecnologia e desenvolver equipamentos de maior porte e potência.

A Tabela 13 apresenta a eficiência de motores nacionais e internacionais de acordo com sua faixa de potência.

TABELA 13 - VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS DE EFICIÊNCIA ENCONTRADOS PARA CADA FAIXA DE POTÊNCIA							
Faixa de potência	Nº de modelos	Eficiência [%]					
		Elétrica		Térmica		Total	
		Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx
0kW a 100kW	14	24,33	38,30	33,00	56,50	62,10	89,60
100kW a 500kW	35	30,95	45,50	38,00	54,30	78,00	92,30
500kW a 1.000kW	24	29,60	45,20	38,60	54,90	77,70	91,60
Acima de 1.000kW	30	36,10	43,10	37,10	52,50	75,20	90,90

**Fonte:** Adaptado de GE power & water [2013]; GE energy gas engines [2012a]; GE energy [2010]; GE energy gas engines [2012b]; GE energy [s.d.]; CAT [2012a]; CAT [2012b]; CAT [2012c]; CAT [2013]; Guascor [2012]; MTU onsite energy [2013]; Pinto [2013]; Cummins power generation [2011]; Man engines [2012]; 2G Cogeneration [s.d.]; COGENCO [2013].

#### 4.4.2 Eficiência de caldeiras

A eficiência de uma caldeira, ou eficiência térmica, representa a razão entre a energia térmica contida no vapor produzido pela caldeira e a energia química contida no combustível utilizado para alimentar a caldeira. A fórmula básica para o cálculo da eficiência térmica de uma caldeira é apresentada na Equação 25.

$$\eta = m_v \times (h_{ae} - h_{vs}) / (m_c \times PCI) \quad \text{Equação 25}$$

Em que:

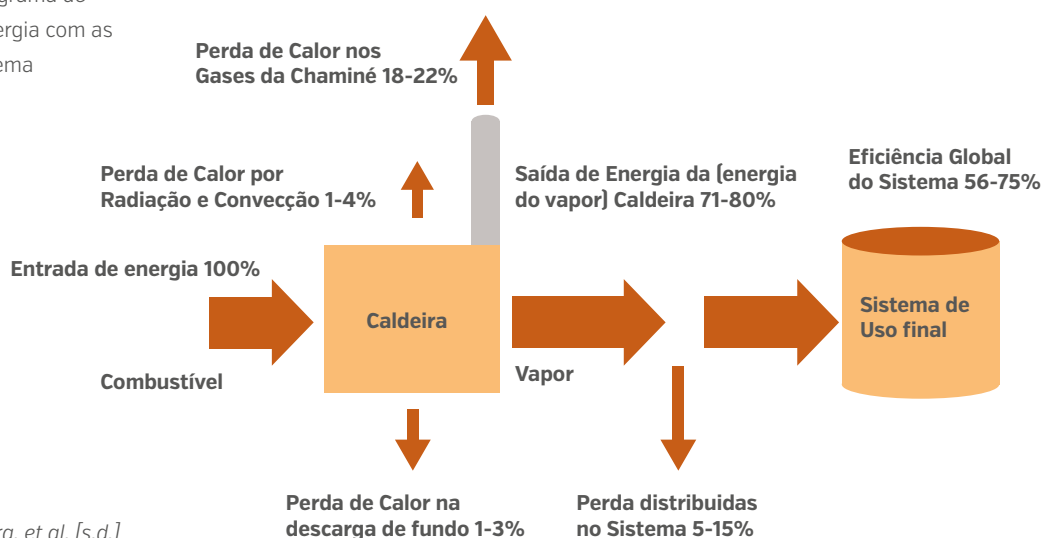
$m_v$  = vazão em massa de vapor (kg/h);

$m_c$  = vazão em massa de combustível (kg/h);

$h_{ae}$  = entalpia da água de entrada (kJ/kg);  
 $h_{vs}$  = entalpia do vapor de saída (kJ/kg);  
 PCI = poder calorífico inferior do combustível (kJ/kg).

As perdas energéticas que ocorrem durante a produção de vapor na caldeira são múltiplas, sendo a mais severa a referente aos Gases da Chaminé, ou gases de exaustão. A Figura 33 apresenta um diagrama esquemático das perdas energéticas ao longo da aplicação de uma caldeira típica sem mecanismos de melhoria de eficiência energética.

**Figura 38:** Diagrama de balanço de energia com as perdas do sistema



Fonte: Nogueira, et al. [s.d.]

As perdas térmicas nos gases de exaustão remetem-se ao calor gasto com o aquecimento do fluxo de gás liberado na atmosfera pela caldeira, geralmente equivalendo a mais de 15% da energia total do combustível. Tais perdas podem ser minimizadas por meio da otimização da relação ar de combustão/combustível, de maneira que o ar de excesso, utilizado na reação de combustão, seja o mínimo necessário para que não haja combustão incompleta do combustível. A eficiência das caldeiras pode ser também incrementada por meio da recuperação de parte da energia térmica dos gases de exaustão para aquecer a água de entrada da caldeira (utilizando-se economizadores) e para pré-aquecer o ar de combustão antes da reação. Outras múltiplas medidas para melhoria de eficiência podem ser tomadas, tais como, a limpeza das superfícies de transferência de calor das caldeiras, a adição e a restauração de refratários nas caldeiras, a checagem e o conserto de vazamentos de vapor, entre outras.

A medição da eficiência de caldeiras pode ser realizada pelos métodos direto e indireto. No método direto, aplicam-se os devidos valores na Equação 26. Os valores de vazão de fluido podem ser coletados por meio de instrumentos de medição, assim como os de temperatura e pressão. Os valores de entalpia podem ser consultados em tabelas ou *softwares* de termodinâmica, assim como valores de PCI. No método indireto, analisam-se apenas as perdas energéticas da caldeira, calculando-se cada uma delas e aplicando-se os devidos valores na Equação 26.

$$\eta = 1 - [K + (\lambda ((a/c) + 1) c_p \times (T_{CH} - T_{Ref})) / PCI] \quad \text{Equação 26}$$

Em que:

- >>  $\lambda$  = coeficiente de excesso de ar na combustão, relacionando o ar real fornecido com o ar teórico requerido pelo combustível;
- >>  $a/c$  = relação ar/combustível estequiométrica;
- >>  $c_p$  = calor específico médio entre as temperaturas  $T_{CH}$  e  $T_{Ref}$ ;
- >>  $T_{CH}$  = temperatura dos gases na chaminé;
- >>  $T_{Ref}$  = temperatura de referência adotada;
- >> PCI = poder calorífico inferior do combustível.

Segundo informações dos fabricantes, os valores típicos de eficiência de caldeiras a gás natural são entre 76% e 90%.

#### 4.4.3 Composição do biometano para injeção na rede de gás natural

Publicada recentemente, a Resolução da Agência Nacional do Petróleo (ANP) nº 8 de 30 de janeiro de 2015, estabelece e regulariza as especificações de biometano proveniente da digestão de resíduos orgânicos agrossilvopastoris para aplicação residencial, comercial ou veicular, em nível nacional. O anexo do Regulamento Técnico nº1/2015 apresenta os limites de qualidade do biometano para a injeção na rede de gás natural. Cabe ressaltar que esta normativa não se aplica ao biogás gerado a partir de RSU e de ETes.

O biometano obtido a partir de resíduos sólidos urbanos ou resíduos de esgotamento sanitário obedece às especificações de qualidade dos derivados de petróleo, gás natural e seus derivados e dos biocombustíveis, conforme determina a Resolução ANP nº 23, de 13 de agosto de 2012. Essa Resolução, no entanto, não apresenta limites de qualidade para injeção na rede.

Segundo o Regulamento Técnico nº 1/2015, o biometano distribuído nas regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul é intercambiável com o gás natural. Além disso, requer cuidados semelhantes ao gás natural no que tange a sua compressão, distribuição e revenda.

Ainda segundo o anexo, o biometano deve apresentar concentrações limitadas de sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e água por serem potencialmente corrosivos, de modo que a segurança e a integridade dos equipamentos e tubulações sejam preservadas.

Desta maneira, deve-se também dispensar atenção às regulamentações e normas aplicáveis ao gás natural, sobre seu transporte, distribuição, abastecimento, entre outras.

A Tabela 14 apresenta a composição do biometano segundo o Regulamento Técnico ANP nº 1/2015.



TABELA 14 - ESPECIFICAÇÕES DO BIOMETANO						
Característica	Unidade	Limite <sup>1</sup>			Método	
		Região Norte - Urucu	Demais Regiões	NBR	ASTM	ISO
Metano	% mol.	90,0 a 94,0 <sup>2</sup>	96,5 mín.	14903	D1945	6974
Oxigênio, máx.	% mol.	0,8	0,5	14903	D1945	6974
CO <sub>2</sub> , máx.	% mol.	3,0	3,0	14903	D1945	6974
CO <sub>2</sub> +O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> , máx.	% mol.	10,0	3,5	14903	D1945	6974
Enxofre Total, máx. <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	70	70	15631	D5504	6326-3; 6326-5; 19739
Gás Sulfídrico (H <sub>2</sub> S), máx.	mg/m <sup>3</sup>	10	10	15631	D5504 D6228	6326-3; 19739
Ponto de orvalho de água a 1atm, máx.	°C	-45	-45	15765	D5454	6327; 10101-2; 10101-3; 11541 <sup>4</sup>

**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 odoração 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.

**Fonte:** BRASIL, 2015.

#### 4.4.4 Consumo de metano automotivo

No mercado internacional, existem 37 modelos de automóveis movidos a GNV, sendo seis modelos de caminhão, 18 modelos de veículo de passeio, sete modelos de veículo comercial e seis modelos de ônibus (MOTOR JIKOV GROUP). Os valores máximo e mínimo de consumo de GNV para cada classe de veículo são apresentados na Tabela 15.

TABELA 15 - SÍNTESE DOS VALORES DE CONSUMO DE GNV DOS MODELOS PESQUISADOS					
Classe do veículo	Nº de modelos encontrados	Nº de valores analisados	Consumo de GNV (kg/100km)		
			Mínimo	Médio	Máximo
Caminhão	6	5	17	31,3	64,0
Veículo de passeio	18	18	2,9	4,6	6,1
Veículo comercial*	7	7	4,4	6,6	9,0
Ônibus	6	5	27,5	31,2	39,0

\*Vãs, sprinters, outros.

**Fonte:** Motor Jikov Group [2012].

Em comparação com os outros combustíveis utilizados, o biometano apresenta um poder calorífico mais elevado, o que reforça sua aplicabilidade, em todas as classes de veículos. A Tabela 16 demonstra o poder calorífico dos combustíveis lado a lado.

TABELA 16 - COMPARAÇÃO DO BIOMETANO COM OUTROS COMBUSTÍVEIS, EM RELAÇÃO AO SEU CONTEÚDO ENERGÉTICO					
Combustível	Kg/l (m <sup>3</sup> gas)	Kcal/kg	kWh/kg	Equiv. Diesel	Equiv. Etanol
Diesel	0,852	10.100	11,74	1,00	1,60
Biodiesel [B100]	0,880	9.000	10,46	0,89	1,43
Etanol	0,809	6.300	7,33	0,62	1,00
Gasolina [A]	0,742	10.400	12,09	1,03	1,65
Biometano (eq. GNV)*	0,761	11.542	13,42	1,14	1,83

\*CH<sub>4</sub> 96,5% + CO<sub>2</sub> 3,5% a 20°C e 1 atm; 1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> [100%] = 9,968kWh. Biometano equivalente ao GNV de acordo com a ANP.

Fonte: Jende, Oliver

Ressalta-se que a composição e qualidade do GNV podem variar entre países e, até mesmo, entre estados, devido à natureza da fonte do GN. Tais variações podem influenciar no consumo de GNV de veículos.

No Brasil, apesar da numerosa frota de GNV, contemplando cerca de 1.796.509 veículos (IBP, 2015) e composta exclusivamente por veículos de passeio (NGVA), observa-se que há apenas um modelo de veículo movido a GNV sendo fabricado e comercializado no território nacional, de maneira que praticamente toda a frota de GNV é composta por veículos que utilizam “kits de conversão”.

## ASPECTOS/IMPACTOS AMBIENTAIS E QUESTÕES DE SEGURANÇA EM USINAS DE BIOGÁS

Assim como toda instalação industrial, as usinas de biogás também estão sujeitas à observância de aspectos ambientais e de segurança, principalmente por meio da adoção de medidas preventivas durante as etapas de construção e operação da instalação. As medidas preventivas, de modo geral, visam **reduzir ou mitigar os riscos** que possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente e/ou ao empreendedor, por meio de danos físicos e financeiros, e que podem ser decorrentes de causas diversas. Os riscos mais comuns em usinas de biogás podem ser diferenciados em três grupos principais, em função de sua causa:

- » **Problemas conceituais e de projeto:** São todos aqueles provenientes de planejamento inadequado durante a elaboração do projeto conceitual e do detalhado, especificação de materiais e componentes, bem como na construção do empreendimento. A contratação de empresas de engenharia idôneas e experientes é de extrema importância, uma vez que, caso não sejam consideradas medidas preventivas de segurança no projeto e na unidade, as medidas corretivas que deverão ser tomadas posteriormente podem ser de difícil implementação, acarretando custos não previstos, podendo, inclusive, inviabilizar a operação da usina devido a questões de segurança operacional.
- » **Conduta inadequada:** Causas muito comuns de incidentes em usinas de biogás são as condutas inadequadas de funcionários, prestadores de serviços e visitantes durante a operação, manutenção (principalmente) e deslocamentos na instalação. Riscos associados a estas causas podem ser prevenidos com o treinamento adequado periódico de todos os envolvidos, de acordo com suas responsabilidades e funções, utilização correta de equipamentos de proteção individual e coletiva (EPIs e EPCs), além de sinalização específica que remeta à conduta correta em cada área e situação.
- » **Eventos naturais/estocásticos:** Apesar deste tipo de evento ser incontrolável, existem formas de se aplicar medidas de segurança conforme as probabilidades de ocorrência na região da instalação. Deve ser, portanto, considerada a possibilidade de eventuais inundações, condições meteorológicas extremas (temperaturas, tempestades, ventos, descargas atmosféricas), incêndios adjacentes, deslizamentos de terra e rochas, dentre outras. As medidas preventivas, para minimizar os danos dos eventos estocásticos, são em sua maioria estruturais (para-raios, barreiras, proteções, elevação de estruturas, etc.) e organizacionais, uma vez que os treinamentos devem prever procedimentos a serem tomados no caso de ocorrência de emergências.
- » **Intervenção não autorizada:** Trata-se de intervenções humanas, intencionais ou não, nas instalações, que colocam em risco a integridade humana, ambiental ou do empreendimento. Os danos podem ser causados pelos próprios funcionários, devido à falta de clareza na atribuição de responsabilidades e transferência indevida

de tarefas, bem como por agentes externos. O controle de acesso e medidas contra invasões são medidas preventivas para mitigação deste tipo de ocorrência.

A **identificação precisa dos riscos da instalação** é o primeiro passo para alcançar uma efetiva segurança operacional, pois possibilita estabelecer ações de respostas e monitoramento, visando a sua prevenção. Por este motivo, é fundamental a adoção de medidas de segurança de caráter preventivo, a fim de reduzir a probabilidade de ocorrência do perigo, bem como a magnitude dos danos à integridade e à saúde humana, ao meio ambiente e à segurança do próprio empreendimento.

A princípio, este capítulo apresenta o zoneamento de áreas explosivas como uma das principais medidas preventivas em usinas de biogás, devido ao elevado impacto nas instalações e da magnitude dos danos associados à sua ocorrência.

Na sequência, serão listados os principais aspectos e impactos de uma planta de biogás, descritos por área operacional (manejo de substratos, linha de metanização, manejo do biogás e do digestato), aos quais serão associadas as principais medidas preventivas. De maneira adicional, será apresentado um *checklist* de inspeção de rotina em usinas de biogás, a fim de ilustrar os principais parâmetros a serem monitorados de maneira preventiva.

Por fim, será apresentada uma planilha de boas práticas, a fim de evitar emissões atmosféricas e odorantes, e contaminação dos solos e águas subterrâneas e superficiais.

---

## 5.1 Zoneamento como medida de prevenção ao risco de incêndio e explosão

Devido a sua composição e propriedades, o biogás é um gás inflamável e com propriedades tóxicas, que devem ser consideradas a fim de garantir a operação segura das usinas de biogás. Além do perigo de intoxicação e asfixia, que será abordado em mais detalhes posteriormente, há o risco de explosão e incêndio, cujos danos podem ser irreparáveis.

Apesar de conter metano, que é um gás inflamável, o biogás sozinho não tem propriedades explosivas. Para a formação de uma mistura explosiva, o metano e o ar devem se combinar em um determinado intervalo de concentração. Os extremos desse intervalo são os limites inferior e superior de explosividade, e o intervalo entre eles é denominado faixa explosiva. Não é possível ocorrer explosões fora da faixa explosiva. Para iniciar o processo de combustão, o ar deve ser injetado controladamente acima do limite superior de explosividade. Abaixo do limite inferior de explosividade, a mistura é tão pobre que não é inflamável nem explosiva.

Os limites de segurança das proporções volumétricas em que não se constata explosividade da mistura gasosa são:

- >> Acima de 16,5% de metano, proporção de ar indiferente;
- >> Abaixo de 4,4% de metano, proporção de ar indiferente;
- >> Abaixo de 58% de ar (11,6% de oxigênio), proporções de metano e gás inerte indiferentes;
- >> Acima de 86% de gás inerte, proporção de ar indiferente.

Em áreas em que tipicamente existe a possibilidade de ocorrência de atmosfera com risco de explosão, antes da colocação em funcionamento da usina, devem-se, por meio de um estudo de avaliação de risco, estipular medidas de proteção adequadas e encarregar uma pessoa qualificada para seu monitoramento.

As principais fontes de ignição de atmosferas explosivas em usinas de biogás são:

- >> Chamas abertas;
- >> Superfícies quentes;
- >> Faíscas por correntes elétricas;
- >> Faíscas por carga eletrostática;
- >> Faíscas de atrito e impacto;
- >> Relâmpagos;
- >> Carga eletrostática das membranas;
- >> Compostos de enxofre/ferro pirofóricos.

Os *principais requisitos* relativos à legislação de *proteção contra explosões* incluem:

- >> **Indicação de zonas** com potencial de formação de atmosferas explosivas;
- >> Utilização de **equipamentos e componentes adequados** (anti-explosividade); e
- >> Elaboração de **documentação de segurança**.

Os *objetivos principais devem ser*: prevenir a formação de atmosferas explosivas, ou, se a natureza da atividade não permitir, evitar a ignição de atmosferas explosivas; e, por fim, atenuar os efeitos prejudiciais de uma explosão de forma a garantir a saúde e a segurança dos trabalhadores.

Entre estas, o zoneamento de áreas explosivas (*Ex-Zones*), em função da probabilidade de ocorrência de atmosfera explosiva (ATEX), é a principal medida de segurança adotada internacionalmente<sup>13</sup>. O zoneamento envolve a demarcação de áreas de formação de atmosfera explosiva, segundo os resultados da avaliação de perigos, frequência e a duração da formação de atmosferas perigosas e explosivas. Desta forma, são estabelecidas as zonas de explosão, descritas abaixo:

- >> **Zona 0** – Compreende áreas em que uma atmosfera explosiva e perigosa ocorre continuamente por períodos prolongados ou frequentemente;
- >> **Zona 1** – Compreende áreas em que, sob condições normais de operação, existe a possibilidade de ocorrência ocasional de atmosferas perigosas explosivas;
- >> **Zona 2** – Compreende áreas em que, sob condições normais de operação, a possibilidade de atmosferas perigosas explosivas normalmente não existe ou existe apenas brevemente.

Não existem definições fixas para “continuamente”, “ocasional” ou “brevemente”. As seguintes distinções são usuais na prática:

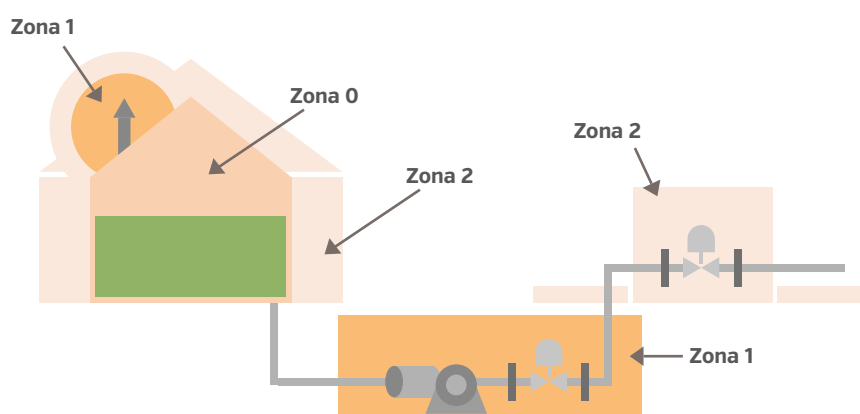
13: Diretiva UE 99/92 (ATEX).

- » **Zona 0** – Continuamente: existe a probabilidade alta e certa, acontece com frequência ( $> 1 - 10\%$  do tempo operacional);
- » **Zona 1** – Ocasionalmente: é possível em intervalos irregulares ( $< 1 - 10\%$  do tempo operacional);
- » **Zona 2** – Raramente: só acontece devido a falhas, a duração pode ser limitada a  $0,1\%$  do tempo operacional.

A zona 0, na qual uma atmosfera perigosa e explosiva ocorre continuamente ou por período prolongado, deve ser sempre evitada. Todas as zonas devem ser submetidas a monitoramento regular visando à identificação de possíveis vazamentos.

Como regra geral, caracterizam-se, como *Zonas Explosivas, toda área externa com até 3 metros de distância de qualquer fonte de gás* (equipamento estacionário ou tubulações). Se uma área abriga determinado equipamento ou dispositivos que tenham contato com biogás, toda a edificação pode ser considerada como *Zona Explosiva, devendo ser adequadamente sinalizada e conter as medidas de segurança necessárias*. A Figura 39 ilustra a indicação de zonas de explosão de uma usina de biogás com relação a suas principais instalações.

**Figura 39:** Indicação de zonas de explosão de uma usina de biogás com relação a suas principais instalações.



**Fonte:** Brasil Telemetria [2015]

Além da diretiva da União Europeia, os regulamentos e normas técnicas alemãs DVGW G 415, VSG 1.1 e BGR 104 apresentam as definições gerais de segurança e zoneamento de áreas potencialmente explosivas. Além do embasamento técnico nas regulamentações internacionais, por serem específicas a instalações de biogás, é fundamental garantir o atendimento às exigências de órgãos federais/regionais/locais relacionados à segurança em instalações industriais que operam com gases explosivos. No Brasil, a classificação de áreas explosivas é descrita pela ABNT NBR IEC 60079-10-1:2009 – Atmosferas explosivas – Parte 10-1: Classificação de áreas – Atmosferas explosivas de gás.

## 5.2 Principais aspectos/impactos ambientais e medidas preventivas relacionadas

A Figura 40 apresenta, de forma geral, as principais etapas/processos que ocorrem em grande parte dos empreendimentos de biogás operando com diferentes substratos, e que podem ser analisadas isoladamente, a fim de possibilitar uma identificação de aspectos/impactos e riscos mais efetiva.

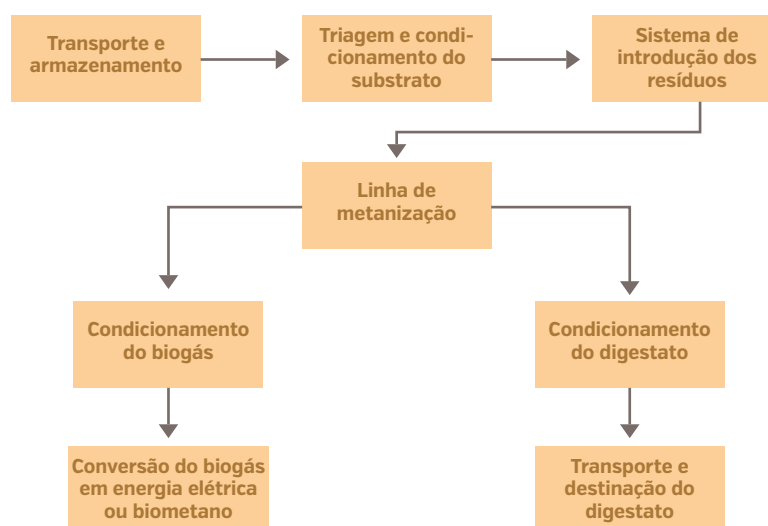


Figura 40: Fluxograma do processo de metanização

Fonte: Methanum.

A Tabela 17 apresenta os principais aspectos/impactos relacionados a cada grupo de processos acima apresentados, e descreve as principais medidas mitigadoras como forma de reduzir e/ou evitar os riscos associados.

TABELA 17 - PRINCIPAIS ASPECTOS /IMPACTOS EM USINAS DE METANIZAÇÃO E AÇÕES PREVENTIVAS RECOMENDADAS.		
Medidas Gerenciais/Organizacionais – Gerais à instalação		
Área de incidência	Aspectos/impactos e riscos associados	Ação Preventiva
Documentação da Planta	*Conduta inadequada devido à falta de conhecimento das instalações, dos procedimentos de rotina e de segurança, ampliando a probabilidade de ocorrência de acidentes e exposição a riscos diversos.	*Organização de toda a documentação técnica e organizacional da planta: - As <i>Built</i> da instalação industrial (Componentes Civil, Elétrico, Mecânico e Hidráulico; Mapa de Tubulações; Folha de Dados de Equipamentos e Memorial Descritivo). - Projeto de Combate a Incêndio. - Zoneamento de Áreas Explosivas. - Plano de Contingência e Emergência (rotas de evacuação, saídas de emergência, ponto de encontro, contatos a serem acionados, etc.). - Fichas Toxicológicas de Produtos. - Manual de Operação e Manutenção. *Disponibilização dos documentos aos funcionários, de maneira integral, conforme cargos, conhecimentos e habilidades requeridas para a função.
Definição de cargos e responsabilidades	*Funções, competências e responsabilidades pouco claras e/ou parcialmente informadas à equipe.	*Definição das tarefas e competências de cada colaborador da planta e indicação de substitutos e habilidades necessárias para cada função (manutenções, operação, supervisões, etc.) *Delegação formal de responsabilidades aos funcionários, bem como de fornecedores e terceiros.
Treinamento	*Auto exposição e/ou exposição de terceiros a riscos devido à falta de conhecimento das instalações, dos procedimentos de rotina e de segurança.	*Treinamento dos funcionários quanto à documentação obrigatória da instalação. *Formação adequada sobre as rotinas de trabalho, procedimentos operacionais e de conduta. *Esclarecimento sobre questões de saúde ocupacional, riscos operacionais e procedimentos de segurança da instalação. *Autorização de realização de tarefas somente após a realização de todos os treinamentos, testes e orientações necessárias à função exercida. *Acompanhamento periódico e avaliação dos treinamentos ministrados.

**TABELA 17 - PRINCIPAIS ASPECTOS /IMPACTOS EM USINAS DE METANIZAÇÃO E AÇÕES PREVENTIVAS RECOMENDADAS.**

Medidas Gerenciais/Organizacionais – Gerais à instalação		
Área de incidência	Aspectos/impactos e riscos associados	Ação Preventiva
Horário de trabalho	*Imprudências e acidentes causados por cansaço, devido ao excesso de trabalho ou horário de trabalho indevido.	*Respeito e cumprimento aos horários de pausa e descanso, bem como à jornada de trabalho estabelecida para cada função.
Disponibilidade de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) e Coletiva (EPC)	*Conduta inadequada em caso de emergências. *Conduta inadequada e/ou atendimento e prestação de socorro insuficiente ou negligente mediante situações emergenciais, como acidentes ou eventos imprevisíveis (intoxicação, eventos naturais extremos, incêndios, etc.).	*Disponibilização de EPIs e EPCs adequados e testados, conforme riscos nas áreas operacionais da instalação. *Disponibilização de materiais e equipamentos para primeiros socorros em áreas visíveis e de fácil acesso. *Treinamento e capacitação dos funcionários para prestarem primeiros socorros de maneira adequada. *Informação a todos os envolvidos nas atividades da planta sobre órgãos a serem acionados e números de emergência, bem como sobre as medidas a serem tomadas em casos de incidentes.
Manejo de substratos		
Área de incidência	Aspectos/impactos e riscos associados	Ação Preventiva
Transporte de substratos	*Derramamento/vazamento de substratos sólidos e líquidos, com risco de contaminação do solo e corpos hídricos, além de riscos à saúde humana.	*Exigir que o transporte dos substratos à instalação seja realizado em caçambas/carretas apropriadas ao material e sem permitir vazamentos. *Utilização de veículos fechados (tipo limpa-fossa, caminhão-pipa) para transporte de substratos líquidos. *Manter o nível de carregamento dos veículos de acordo com a capacidade indicada em peso e volume a ser transportado, evitando transbordamentos. *Recomendar que os veículos sigam as normas de proteção ambiental e possuam as licenças pertinentes (p. ex. Licença da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e licença municipal). *Adotar planilha de monitoramento de rotina para registro das condições de entrega do substrato. *Inspeção e manutenção periódica dos veículos especialmente da estanqueidade das caçambas e tanques.
Armazenamento, manuseio e introdução de substratos	*Intoxicação, asfixia e/ou queimaduras por contato e/ou aspiração de gases ou substâncias tóxicas (H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , etc.) *Vazamento de substratos líquidos de tanques ou tubulações. *Vazamento de lixiviado formado durante o armazenamento de substratos. *Risco de contaminação do solo e corpos hídricos e à saúde humana.	*Priorizar o emprego de equipamentos que garantam mínimo contato do operador com os substratos orgânicos em geral. *Utilização de EPIs adequados (máscara, luvas, botas, etc.) para manuseio de substratos ou abertura de tanques, reservatórios em geral, nos quais pode haver a formação de atmosfera tóxica. *Evitar o fechamento de espaços onde haja manuseio de substratos (bombeamento, agitação, lavagem de poços, etc.), garantindo disponibilidade e fluxo de ar. *Disposição de exaustores e ventiladores para garantir a ventilação adequada em espaços confinados, sempre que possível. *Sinalização adequada das áreas de risco com possibilidade de presença e/ou formação de atmosfera tóxica. *Vedação completa dos tanques e utilização de materiais resistentes à corrosão e altas temperaturas (material dos tanques, bases, tubulações, etc.). *Redução ao máximo do tempo de armazenamento dos substratos por meio de um planejamento logístico eficiente. *Impermeabilização do local de armazenamento por meio de compactação do solo ou bases de concreto de acordo com a normativa vigente. *Sistema de drenagem superficial e direcionamento das águas e possíveis vazamentos ao sistema de tratamento de efluentes. *Utilização de canaletas para coleta e drenagem de lixiviado na área de estocagem de substratos sólidos, e direcionamento ao sistema de tratamento de efluentes. *Instalação de sensores de níveis, sensores de pressão e demais dispositivos de controle (automação) visando garantir a estanqueidade dos tanques, tubulações e o livre fluxo dos substratos. *Realizar monitoramento de rotina - inspeções diárias/semanais para controle visual dos níveis de tanques, estado de drenos e canaletas, e para a identificação de possíveis vazamentos. *Construção de taludes ou bacias de contenção no volume correspondente ao volume dos tanques, em caso de extrema sensibilidade ambiental ou risco social (proximidade de áreas habitadas).



Manejo de substratos		
Área de incidência	Aspectos/impactos e riscos associados	Ação Preventiva
Armazenamentos de aditivos com especificação de substância perigosa	*Intoxicação e/ou queimaduras por contato com substâncias tóxicas (substâncias do sistema de dessulfurização do biogás, aditivos de silagens, para conservação dos substratos, por exemplo, ácido propiônico e outros).	<p>*Documentação adequada (fichas toxicológicas) de todas as substâncias químicas potencialmente perigosas presentes e/ou manuseadas na instalação.</p> <p>*Verificar as condições de segurança específicas indicadas pelo fabricante e características descritas no documento de identificação do material.</p> <p>*Treinamento adequado dos funcionários sobre cuidados preventivos, sintomas, envolvidos na atividade.</p> <p>*Treinamentos e instrução adequados aos funcionários. Acondicionamento seguro e observação das orientações e informações do manuseio.</p>
Linha de Metanização		
Área de incidência	Aspectos/impactos e riscos associados	Ação Preventiva
Digestor (reator de metanização)	*Intoxicação e/ou asfixia por gases tóxicos (H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ) devido à entrada no tanque para manutenção ou inspeções.	<p>*Evitar a entrada no digestor, salvo por extrema necessidade.</p> <p>*Caso a entrada seja inevitável, só poderão entrar no tanque funcionários que tenham realizado treinamento para trabalho em áreas confinadas, incluindo as medidas operacionais antes da entrada no tanque como exaustão do ar, ventilação, fechamento das válvulas etc.</p> <p>*Realizar a manutenção, sempre acompanhado de, pelo menos, uma pessoa treinada.</p> <p>*Utilizar suprimento de oxigênio para trabalho em espaços confinados, além de uniforme, luvas e demais EPIs.</p> <p>*Verificar a composição de gases do ambiente com medidor portátil.</p> <p>*Sinalização adequada das áreas de risco com possibilidade de presença e/ou formação de atmosfera tóxica.</p>
	*Vazamento de lodo do tanque ou tubulações.	<p>*Vedação completa dos tanques e utilização de materiais resistentes à corrosão e altas temperaturas (material dos tanques, bases, tubulações, etc.).</p> <p>*Sistema de drenagem superficial e direcionamento das águas superficiais e possíveis vazamentos ao sistema de tratamento de efluentes.</p> <p>*Instalação de sensores de níveis, sensores de pressão e demais dispositivos de controle (automatização) visando garantir a estanqueidade dos tanques, tubulações e o livre fluxo dos substratos.</p> <p>*Realizar monitoramento de rotina – inspeções diárias/semanais para controle visual dos níveis de tanques e locais com juntas e ponto de conexão de equipamentos, como tubulações (introdução e extração), agitadores, sensores, etc., para a identificação de possíveis vazamentos.</p> <p>*Construção de taludes ou bacias de contenção no volume correspondente ao volume dos tanques, em caso de extrema sensibilidade ambiental ou risco social (proximidade de áreas habitadas).</p>
	*Faíscas geradas por agitadores submersos.	<p>*Monitorar o nível de substrato dentro do digestor, garantindo que os misturadores fiquem submersos e não representem risco como fontes de ignição.</p> <p>*Prever sensores de nível e escotilha para controle visual do nível de substrato (<i>bull eye</i>).</p> <p>*Realizar monitoramento de rotina – inspeções diárias/semanais para verificação dos sensores de nível e controle visual dos níveis do digestor pelas escotilhas de inspeção.</p>
Gasômetros (acumulador de biogás)	*Vazamento de gases tóxicos e inflamáveis (H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ) com risco de intoxicação, asfixia, incêndio ou explosão.	<p>*Acumuladores de gás devem cumprir os requisitos à prova de gás, resistente à pressão, ao meio, ao UV, à temperatura e a intempéries.</p> <p>*Mudanças bruscas da pressão interna devem ser evitadas por meio de dispositivos de segurança adequados (sensores de nível e pressão).</p> <p>*Dispositivos de proteção contra sobre e subpressão devem ser dimensionados preferencialmente pelo fabricante do gasômetro.</p> <p>*Os dispositivos de alívio/purga de segurança contra sobre ou subpressão devem estar pelo menos posicionados a 3 metros acima do chão e 1 metro acima do telhado ou da borda do digestor e a uma distância de pelo menos 5 metros de prédios e de vias de trânsito.</p> <p>*Recomenda-se instalar, no coletor de água das válvulas de sobre e subpressão, uma sonda de nível com alarme, possibilitando a rápida identificação de situações nas quais há fuga de biogás por falta de selamento.</p> <p>*Áreas de instalação para acumuladores de gás externos (não localizados na área superior do digestor) devem ter uma ventilação eficaz (ventilação cruzada): a abertura de fornecimento de ar deve ser posicionada no chão, enquanto as aberturas de saída de ar abaixo do teto.</p> <p>*Realizar monitoramento de rotina – inspeções diárias/semanais para controle de vazamentos de gás por meio da verificação de anomalias nos sensores de pressão, controle visual de pontos de corrosão e olfativo (odores incomuns), e em caso de dúvidas, utilizar sensor portátil para detecção de gases.</p> <p>*Sinalização adequada das áreas de risco com possibilidade de presença e/ou formação de atmosfera explosiva.</p> <p>*Escolha de equipamentos adequados ao uso em atmosferas explosivas (equipamentos, ferramentas, EPIs, etc.).</p>

Condicionamento e uso do biogás		
Área de incidência	Aspectos/impactos e riscos associados	Ação Preventiva
Tubulações de gás	*Vazamento de gases tóxicos e inflamáveis (H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ) com risco de intoxicação, asfixia, incêndio ou explosão.	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Utilizar aço inoxidável ou plástico apropriado (e.g.: PEAD ou PRFV). As tubulações de plástico devem ser protegidas contra danos mecânicos, térmicos e proteção UV.</li> <li>*Existe risco de incêndio e, por isso, devem-se empregar tubos condutores com resistência elétrica menor que 109 Ohm.</li> <li>*Instalar uma válvula corta-chamas o mais próximo possível do equipamento que consome o biogás e que potencialmente pode gerar uma chama ou ignição.</li> <li>*Evitar curvaturas e pontos indesejáveis de acúmulo de água condensada.</li> <li>*O emprego de tubos de PEAD deve considerar o coeficiente de expansão térmica de 0,20 mm/[m.K]. Nestes casos, prever juntas de expansão.</li> <li>*Prever que uma alimentação intermitente dos reatores pode causar picos de geração de biogás e dimensionar a capacidade da tubulação de acordo.</li> <li>*A tubulação de gás, assim como as demais, deve ser codificada por cores (amarelo) e a direção do fluxo.</li> <li>*Adotar o diâmetro mínimo dos tubos de 50 mm.</li> <li>*Os trechos de tubo entre possíveis fontes de ignição e as válvulas corta-chamas devem ser à prova de explosão e devem suportar uma pressão de, no mínimo, 6 bar.</li> <li>*Prever inclinação das tubulações e filtros de partículas/purga de condensados.</li> <li>*Sinalização adequada das áreas de risco com possibilidade de presença e/ou formação de atmosfera tóxica/explosiva.</li> <li>*Escolha de equipamentos adequados ao uso em atmosferas explosivas. (equipamentos, ferramentas, EPIs, etc.).</li> </ul>
Local de instalação do CHP	*Vazamento de gases tóxicos e inflamáveis (H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ) com risco de intoxicação, asfixia, incêndio ou explosão.	<ul style="list-style-type: none"> <li>*As portas do local de instalação do CHP devem abrir no sentido de fuga.</li> <li>*O local de instalação deve ter entradas e saídas de ar não bloqueáveis que permitam uma ventilação cruzada.</li> <li>*Permitir que o ar de exaustão seja dissipado da área do teto e possa ser lançado diretamente ao ar livre.</li> <li>*O ambiente deve possuir detector de gás.</li> <li>*O CHP deve possuir dispositivos de segurança (sistema de parada de emergência e critérios de desligamento (PLT), etc.). Solicitar ao fabricante.</li> <li>*Interruptor de parada de emergência fora da sala de instalação.</li> <li>*Possibilidade de interrupção de abastecimento de gás fora da sala de instalação.</li> <li>*Obrigatória a presença de queimador para o biogás (<i>flare</i>) para casos de parada do CHP, a fim de não exceder a capacidade limite dos gasômetros.</li> <li>*Sinalização adequada das áreas de risco com possibilidade de presença e/ou formação de atmosfera tóxica/explosiva.</li> <li>*Escolha de equipamentos adequados ao uso em atmosferas explosivas (equipamentos, ferramentas, EPIs, etc.).</li> </ul>
	*Vazamento de óleo do equipamento, com risco de contaminação de solo e corpos hídricos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Utilizar piso concretado ou impermeabilizado com geomembranas. Prever drenos no solo ou um coletor de óleo abaixo do motor, com capacidade para acondicionar toda a quantidade de óleo do equipamento, em caso de vazamento.</li> <li>*Realizar monitoramento de rotina - inspeções diárias/semanais para controle visual de vazamentos a partir da identificação de pontos e manchas de óleo no motor no piso.</li> </ul>
Dessulfurização do biogás	*Vazamento de gases tóxicos e inflamáveis (H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> ) com risco de intoxicação, asfixia, incêndio ou explosão. *Autocombustão de substâncias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Instruções de manutenção devem estar disponíveis e os envolvidos treinados.</li> <li>*Ao abrir ou trocar o material do filtro, a ventilação do local deve ser garantida, bem como aparelhos de aferição dos gases devem avaliar as condições do ambiente de trabalho.</li> <li>*Instruir operadores sobre as recomendações dos fabricantes quanto ao auto aquecimento e risco de autocombustão na regeneração de carvão ativado ou composições que contêm ferro.</li> </ul>

Condicionamento do digestato		
Área de incidência	Aspectos/impactos e riscos associados	Ação Preventiva
Pós-tratamento e armazenamento do digestato (sólido-líquido)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Vazamento de efluente líquido de tanques de armazenamento</li> <li>*Vazamento de lixiviado formado durante o pós-tratamento da fração sólida (compostagem).</li> <li>*Risco de contaminação do solo e corpos hídricos e à saúde humana.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Vedação completa dos tanques e utilização de materiais resistentes à corrosão e altas temperaturas (material dos tanques, bases, tubulações, etc.).</li> <li>*Reduzir ao máximo o tempo de armazenamento dos efluentes líquidos por meio de um planejamento logístico eficiente.</li> <li>*Impermeabilização do local de armazenamento por meio de compactação do solo, bases de concreto ou geomembranas de acordo com a normativa vigente.</li> <li>*Sistema de drenagem superficial e direcionamento das águas superficiais e possíveis vazamentos ao sistema de tratamento de efluentes.</li> <li>*Utilização de canaletas para coleta e drenagem de lixiviado na área de compostagem, e direcionamento ao sistema de tratamento de efluentes.</li> <li>*Instalação de sensores de níveis, sensores e válvulas de pressão dispositivos de controle [automatização] visando garantir a estanqueidade dos tanques, tubulações e o livre fluxo dos substratos (em caso de armazenamento de efluentes líquidos).</li> <li>*Realizar monitoramento de rotina – inspeções diárias/semanais para controle visual dos níveis de tanques, estado de drenos e canaletas, e para a identificação de possíveis vazamentos.</li> <li>*Construção de taludes ou bacias de contenção no volume correspondente ao volume dos tanques, em caso de extrema sensibilidade ambiental ou risco social [proximidade de áreas habitadas].</li> </ul>
Operação e manutenção em geral		
Área de incidência	Aspectos/impactos e riscos associados	Ação Preventiva
Manuseio das peças de maquinário (eixos, correias, engrenagens, manivelas, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Risco de esmagamento de membros e engate de roupas em peças rotativas e partes móveis em geral.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Verificação e atenção às especificações dos fabricantes quanto à manutenção, substituição e reparos de equipamentos.</li> <li>*Disponibilização do manual de operação da máquina ao profissional da manutenção, que deverá ter qualificação e/ou treinamento para exercer a função.</li> <li>*Desativação do equipamento durante a manutenção.</li> <li>*Atenção ao reiniciar o equipamento.</li> <li>*Sinalização adequada das áreas de risco com possibilidade de acidentes.</li> <li>*Somente permitir acesso ao pessoal formalmente autorizado e devidamente treinado.</li> </ul>
Instalações elétricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Choque elétrico, queimaduras e incêndio.</li> <li>*Danos variáveis causados por avarias nas linhas subterrâneas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Instalações e reparos sempre realizados por eletricitas qualificados e/ou treinamento para exercer a função incluindo a autorização formal.</li> <li>*Substituir imediatamente fios danificados, pendurados ou com defeito visível.</li> <li>*Desativação ou reposição de Instalações danificadas.</li> <li>*Extensões provisórias não devem ser utilizadas como permanentes.</li> <li>*Fiações ou componentes elétricos dentro de caixas de distribuição ou disjuntores devem ser encapados e protegidos contra intempéries.</li> <li>*Avaliação de todos os equipamentos após chuvas com descargas elétricas.</li> <li>*Sinalização e identificação das redes elétricas subterrâneas.</li> </ul>
Vias de circulação	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Colisões.</li> <li>*Quedas de cargas.</li> <li>*Atropelamentos.</li> <li>*Acidentes e quedas em geral.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Vias planas e sem obstáculos.</li> <li>*Planejamento de vias prioritariamente em linha reta, evitando curvas acentuadas.</li> <li>*Separação das vias de veículos e de pedestres, com iluminação e sinalização adequada.</li> <li>*Utilização de material antiderrapante nas vias para pedestres.</li> </ul>

### 5.3 A importância do monitoramento na rotina operacional em usinas de biogás

Além das medidas preventivas apresentadas anteriormente, focadas principalmente em aspectos técnicos e construtivos dos projetos, é fundamental que a rotina operacional de uma instalação de biogás contemple ações de **monitoramento de caráter preventivo**. O objetivo destas medidas é manter o correto funcionamento dos equipamentos e seus componentes, evitando imprevistos e a necessidade de manutenção corretiva, que onera signifi-

cativamente a operação e pode acarretar em danos ao meio ambiente e à saúde humana.

Na sequência, é apresentado um modelo de *checklist* de inspeção de rotina em usinas de biogás (Tabela 18), com atividades a serem realizadas em caráter diário, semanal ou mensal, a fim de ilustrar os principais parâmetros a serem monitorados de maneira preventiva. Ressalta-se que a frequência aqui apresentada é apenas uma *sugestão*, baseada nas exigências da Alemanha com relação ao monitoramento de usinas de biogás. Cabe aos órgãos ambientais definir a necessidade do monitoramento e as periodicidades mais adequadas.

TABELA 18 - CHECKLIST DE INSPEÇÃO DE ROTINA EM USINAS DE BIOGÁS				
Área da instalação	Frequência de monitoramento			
	Diário	Semanal	Mensal	Semestral
<b>Sistema de Alimentação de Substratos</b>				
Controle visual de vazamentos	X			
Controle da calibração dos equipamentos (balança, dosagens)	X			
Controle de ruídos nos limites do empreendimento				X
Controle visual do sistema hidráulico (nível de óleo)	X			
Lubrificação das esteiras de transporte			X	
Controle visual do sistema de alimentação de substratos líquidos (tanques de recebimento/pré-mistura)	X			
Controle do funcionamento das válvulas de sobre/subpressão (nível de água)	X			
Controle visual da estanqueidade dos tanques (vazamentos)	X			
Controle visual do nível de enchimento dos tanques (pelas escotilhas)	X			
Controle manual do funcionamento livre da válvula de subpressão	X			
Controle visual de limpeza e acúmulo de sedimentos			X	
Controle manual do funcionamento livre da válvula de sobrepressão			X	
Controle visual da fixação das aparelhagens nos pré-tanques de recebimento/pré-mistura			X	
Controle visual do exterior do pré-tanques de recebimento/pré-mistura	X			
Controle do posicionamento e regulagens dos misturadores	X			

Área da instalação	Frequência de monitoramento			
	Diário	Semanal	Mensal	Semestral
<b>Sistema de Metanização (Biodigestor)</b>				
<b>Sistema de Pós-Metanização</b>				
<b>[Tanque de armazenamento/Pós-tratamento]</b>				
Controle visual do nível de enchimento dos tanques (medidores, indicadores externos)	X			
Controle visual do funcionamento do soprador (cobertura de membrana dupla)	X			
Controle visual do funcionamento das válvulas de sobre/subpressão (nível de água)	X			
Controle visual do líquido anti-congelante (água nas válvulas, em regiões frias)	X			
Controle visual da estanqueidade (líquidos)	X			
Controle visual do nível de enchimento dos tanques (pelas escotilhas)	X			
Controle manual do funcionamento livre da válvula de subpressão	X			
Controle visual de limpeza e acúmulo de sedimentos	X			
Controle manual do funcionamento livre da válvula de sobrepressão	X			
Controle visual da fixação das aparelhagens no biodigestor			X	
Controle do posicionamento e regulagens dos misturadores	X			
Controle visual do perímetro (entorno) do biodigestor	X			
Controle visual do poço de condensado	X			
Controle das torneiras/válvulas de condensado (linha de gás entre biodigestor e pós-digestor)			X	
Controle da estanqueidade dos misturadores (contra vazamentos)			X	
<b>Casa de máquinas (bombas)</b>				
Controle do nível de óleo das bombas de substratos (caixas de redução)			X	
Controle da pressão de operação (compressor de ar do sistema de fixação por mangueira do gasômetro)	X			
Controle do funcionamento dosagem de ar (dessulfurização)	X			
Controle da dosagem/regulagem de ar (dessulfurização)	X			
Controle do nível de óleo do compressor		X		
Controle da bomba de extração	X			
<b>Container/Casa do CHP</b>				
Controle do nível de óleo do motor	X			
Controle do interior do container/Sala do CHP	X			
Controle dos arredores do CHP	X			
Controle de calibração dos medidores de qualidade de gás		X		

Área da instalação	Frequência de monitoramento			
	Diário	Semanal	Mensal	Semestral
Controle dos filtros (ar/óleo)		X		
<b>Sistema de separação de fases/pós-tratamento de efluentes da digestão (Digestato)</b>				
Lubrificação do separador de fases	X			
Controle do acúmulo de resíduos nas peneiras		X		
Controle dos arredores do sistema de separação de fases	X			
Controle do sistema de condução da fase líquida ao pré-tanque (tubulação da recirculação)	X			
Controle visual do poço de condensado	X			
<b>Reservatório de digestato/Fertilizante/Efluente</b>				
Controle de estanqueidade	X			
Controle do sistema de bombeamento (saída)	X			
Controle do funcionamento das válvulas na saída do digestato	X			
<b>Sistema de drenagem de águas da chuva ou chorume</b>				
Controle visual das bacias de captação de água da chuva	X			
Controle visual da captação de chorume	X			
Controle do nível de enchimento dos reservatórios de chorume	X			
Controle dos sistemas de bombeamento de chorume e água da chuva	X			
<b>Registro de informações/dados operacionais</b>				
Preenchimento dos dados no diário operacional do sistema de Biodigestão, CHP e Dessulfurizador	X			
Matéria seca (MS)		X		
Anotação de mensagens de ERRO	X			
Valores de Fos./Tac	X			
Anotação do consumo de energia térmica (secador)	X			
Anotação do consumo de energia elétrica (secador)	X			
Controle visual do sistema de secagem	X			

Fonte: Sachverständigenkreis Biogas (2012).

#### 5.4 Boas práticas para controle de vazamentos, emissões atmosféricas e odorantes

A Tabela 19 apresenta uma matriz de boas práticas a serem adotadas durante o planejamento e/ou operação de usinas de biogás, como forma de reduzir e/ou mitigar os impactos ambientais decorrentes de vazamentos, emissões atmosféricas e odorantes. Ressalta-se que as medidas inseridas na tabela são sugestões de boas práticas e, na maioria dos casos, não são exigências legais. Sua adoção pelo empreendedor deve ser verificada caso a caso.

TABELA 19 - BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS PARA USINAS DE BIOGÁS

Componentes e processos que geram emissões e/ou contaminações	Boas práticas para mitigação de emissões atmosféricas e odorantes	Boas práticas para mitigação de emissões de ruídos	Boas práticas para mitigação de contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas
<b>Transporte e armazenamento do substrato</b>			
<b>Transporte dos substratos</b>	Tanques cobertos, se possível vedados, com bombeamento por meio de tubulações ao sistema de biodigestão.	Utilizar preferencialmente bombas submersas nos tanques.	<p>Vedação completa dos tanques de armazenamento.</p> <p>Utilização de materiais resistentes à corrosão.</p> <p>Instalação de sensores de vazamento.</p> <p>Construção de taludes ou bacias de contenção no volume correspondente ao volume dos tanques.</p>
<b>Armazenamento dos substratos sólidos</b>	<p>Em galpões fechados ou sistemas de armazenamento (silos) cobertos e lacrados, reduzir ao máximo o tempo de armazenamento por meio de um planejamento logístico eficiente.</p> <p>Captação de chorume por meio de sistema de escoamento e bombeamento para o reator de metanização ou sistema de tratamento de efluentes.</p> <p>No armazenamento temporário, em galpões cobertos, utilizar biofiltros para a redução de odores.</p>	<p>No caso de se utilizar guias em pontes rolantes, realizar manutenção e lubrificação periódica.</p> <p>Condicionar a usina ao atendimento de normas e leis relacionadas à emissão de ruídos.</p>	<p>Impermeabilização do local de armazenamento por meio de compactação do solo ou bases de concreto de acordo com a normativa vigente.</p> <p>Captação de chorume por meio de sistema de escoamento e bombeamento para o reator de metanização ou sistema de tratamento de efluentes.</p>
<b>Armazenamento dos substratos líquidos</b>	Tanques cobertos, se possível vedados, com bombeamento por meio de tubulações ao sistema de biodigestão.	Utilizar preferencialmente bomba submersa.	<p>Vedação completa dos tanques de armazenamento.</p> <p>Utilização de materiais resistentes à corrosão.</p> <p>Instalação de sensores de vazamento e construção de taludes ou bacias de contenção no volume correspondente ao volume dos tanques.</p>

TABELA 19 - BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS PARA USINAS DE BIOGÁS			
Componentes e processos que geram emissões e/ou contaminações	Boas práticas para mitigação de emissões atmosféricas e odorantes	Boas práticas para mitigação de emissões de ruídos	Boas práticas para mitigação de contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas
<b>Sistema de introdução dos substratos</b>			
<b>Sistema de introdução dos substratos líquidos</b>	<p>Instalar filtros biológicos na parte superior dos tanques de líquidos.</p> <p>Vistoriar e controlar possíveis vazamentos.</p>	<p>Utilizar preferencialmente bomba submersa.</p>	<p>Vedação completa dos tanques e utilização de materiais resistentes à corrosão.</p> <p>Verificação periódica de juntas, bombas e demais equipamentos/sistemas de forma a verificar possíveis fugas e/ou vazamentos.</p> <p>Bacia de contenção em áreas consideradas de alto risco ao lençol freático.</p>
<b>Sistema de alimentação de substratos sólidos</b>	<p>Manter o tempo de alimentação do sistema reduzido por meio de agilidade na operação.</p> <p>Abrir a cobertura dos sistemas de alimentação pelo mínimo de tempo necessário.</p> <p>Aplicar o conceito <i>First-in-First-out</i>.</p>	<p>Manutenção periódica dos veículos de alimentação, caso aplicável.</p> <p>Caso utilizadas cintas transportadoras, isolamento acústico dos equipamentos com maior potencial de emissão sonora e lubrificação periódica.</p>	<p>Áreas de manobra concretadas ou com solo compactado.</p> <p>Sistema de drenagem superficial e direcionamento das águas superficiais ao sistema de tratamento de efluentes</p>
<b>Pás carregadeiras para alimentação do sistema</b>	<p>Limpeza das máquinas, principalmente pneus.</p>	<p>Redução do tempo de transbordo para alimentação da usina, aumentando a agilidade na operação e reduzindo o tempo de emissões sonoras.</p>	<p>Manutenção periódica dos equipamentos.</p> <p>Disponibilização de bandejas para, caso haja vazamento de óleo, este possa ser confinado.</p> <p>Evitar operação no momento de chuvas fortes e enxurradas.</p>
<b>Linha de metanização</b>			
<b>Linha de metanização em geral</b>	<p>Planejar a capacidade do gasômetro de forma a absorver flutuações de geração ou consumo de biogás.</p> <p>Planejar o uso ou a queima do biogás no caso de falha do ponto de consumo (CHP ou purificação).</p> <p>Reduzir a geração ou aumentar o consumo de biogás antes das atividades de manutenção para evitar emissões excessivas de biogás no momento da abertura do sistema.</p> <p>Verificar periodicamente possíveis vazamentos.</p> <p>Aferir a eficiência de queima do <i>flare</i>.</p>	<p>Manutenção periódica dos agitadores.</p> <p>Instalar bombas de recirculação, preferencialmente em local fechado.</p>	<p>Vedação completa dos reatores de metanização.</p> <p>Utilização de materiais resistentes à corrosão.</p> <p>Instalação de sensores de vazamento.</p> <p>Construção de taludes ou bacias de contenção no volume correspondente ao volume dos reatores.</p>



TABELA 19 - BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS PARA USINAS DE BIOGÁS

Componentes e processos que geram emissões e/ou contaminações	Boas práticas para mitigação de emissões atmosféricas e odorantes	Boas práticas para mitigação de emissões de ruídos	Boas práticas para mitigação de contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas
<p><b>Linha de metanização de batelada (Túneis/ garagens RSU)</b></p>	<p>Reduzir ao máximo os tempos de abertura e alimentação das garagens.</p> <p>Monitorar a produção de biogás para evitar geração residual, após abertura do sistema.</p> <p>Maquinário adequado e mão de obra treinada para garantir agilidade nos processos.</p> <p>Realizar adequada degradação dos resíduos de forma e minimizar emissões de ácidos orgânicos.</p> <p>Verificar periodicamente vazamentos.</p> <p>Instalação de biofiltros.</p>	<p>Local para introdução do material fechado (galpão de introdução).</p> <p>Localizar ventiladores e bombas de recirculação na parte superior dos reatores.</p>	<p>Impermeabilização do local de transbordo por bases de concreto.</p> <p>Captação de chorume por meio de sistema de escoamento e bombeamento para o reator de metanização.</p> <p>Construção de taludes ou bacias de contenção no volume correspondente ao volume dos reatores.</p>
<b>Condicionamento e uso do biogás</b>			
<p><b>Sistema de dessulfurização</b></p>	<p>Dimensionar o sistema de acordo com a oferta máxima de biogás gerada.</p> <p>Selecionar a tecnologia adequada de dessulfurização de acordo com a qualidade do biogás bruto.</p> <p>Regulagem e manutenção rotineira do sistema.</p>	<p>Instalar compressores e demais equipamentos com alta emissão de ruídos em local fechado, preferencialmente com isolamento acústico.</p>	<p>Vedação completa do sistema de purificação.</p> <p>Utilização de materiais resistentes à corrosão.</p> <p>Em sistemas que utilizam aminas ou outras substâncias químicas, fazer a troca das soluções de acordo com os intervalos recomendados.</p> <p>Armazenar, identificar e destinar substâncias químicas de forma adequada.</p> <p>Instalação em piso concretado e com canaletas de coleta em caso de vazamentos.</p>
<p><b>CHP</b></p>	<p>Dimensionar o CHP de acordo com a oferta máxima de biogás e sua qualidade.</p> <p>Regulagem da estequiometria ar/combustível e manutenção rotineira do sistema.</p> <p>Avaliação dos gases de escape.</p>	<p>Isolamento acústico da benfeitoria ou do contêiner.</p> <p>Isolamento acústico do sistema de escape.</p> <p>Instalar sistemas de ventilação e refrigeração.</p>	<p>Disponibilização de bandejas, caso haja vazamento de óleo.</p> <p>Manutenção periódica.</p> <p>Instalação em piso concretado e sob cobertura/proteção contra chuvas.</p>

TABELA 19 - BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS PARA USINAS DE BIOGÁS			
Componentes e processos que geram emissões e/ou contaminações	Boas práticas para mitigação de emissões atmosféricas e odorantes	Boas práticas para mitigação de emissões de ruídos	Boas práticas para mitigação de contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas
Purificação para biometano	Dimensionar a purificação de acordo com a oferta máxima de biogás e sua qualidade.		Vedação completa do sistema de purificação.
	Regulagem e manutenção rotineira do sistema. Verificação de vazamentos na linha. Em caso de dessorção, conduzir o gás a um biofiltro.	Instalar compressores e demais equipamentos com alta emissão de ruídos em local fechado, preferencialmente com isolamento acústico.	Utilização de materiais resistentes à corrosão. Em sistemas que utilizam aminas ou outras substâncias químicas, fazer a troca das soluções de acordo com os intervalos recomendados. Armazenar, identificar e destinar substâncias químicas de forma adequada. Instalação em piso concretado e com canaletas de coleta em caso de vazamentos.
<b>Condicionamento do material digerido</b>			
Condicionamento e armazenamento do material digerido líquido	Cobrir locais herméticos de depósito do material digerido. Verificar possíveis vazamentos e fugas. Verificar relação ST/SV para garantir que o efluente esteja estabilizado.	Quando necessário, utilizar preferencialmente bombas submersas.	Assegurar o tempo de retenção mínimo para estabilização do material digerido. Vedação completa dos tanques ou lagoas de armazenamento. Utilização de materiais resistentes à corrosão. Instalação de sensores de vazamento e construção de taludes ou bacias de contenção no volume correspondente ao volume dos tanques.
	Planejar o depósito do material digerido em locais cobertos. Utilizar filtros biológicos para a exaustão do ar.	Instalar sistemas de separação sólido/líquido em ambientes fechados.	Impermeabilização do local de armazenamento por meio de compactação do solo ou bases de concreto. Captação de chorume por meio de sistema de escoamento e bombeamento para o reator de metanização.
Condicionamento e armazenamento do material digerido sólido			
	Planejar e operar o sistema de higienização hermeticamente vedado de maneira a injetar o material higienizado diretamente na linha de fermentação. Utilizar métodos e materiais que minimizem a geração e a dispersão de aerossóis.	Isolamento acústico dos componentes com maior potencial de emissão de ruídos.	Vedação completa dos tanques. Utilização de materiais resistentes à corrosão.

TABELA 19 - BOAS PRÁTICAS AMBIENTAIS PARA USINAS DE BIOGÁS

Componentes e processos que geram emissões e/ou contaminações	Boas práticas para mitigação de emissões atmosféricas e odorantes	Boas práticas para mitigação de emissões de ruídos	Boas práticas para mitigação de contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas
Compostagem	<p>Favorecer a compostagem acelerada.</p> <p>Operar a compostagem em sistemas cobertos bem ventilados.</p> <p>Preferencialmente planejar as usinas distantes de centros urbanos e áreas residenciais.</p> <p>Utilizar biofiltros.</p>	<p>Ventiladores e bombas de aspersão de lixiviado com isolamento acústico ou instalados em local fechado.</p>	<p>Impermeabilização do local de armazenamento por meio de compactação do solo ou bases de concreto.</p> <p>Captação de chorume por meio de sistema de escoamento e bombeamento para o reator de metanização.</p>
<b>Transporte e destinação do material digerido</b>			
Transporte de material digerido líquido ou sólido	<p>Utilizar veículos de transporte cobertos/fechados.</p> <p>Operação no limite de carga dos veículos, reduzindo viagens.</p> <p>Planejar logística de maneira a evitar áreas residenciais.</p> <p>Quando possível, transportar material líquido por meio de tubulações.</p> <p>Evitar armazenagem do material nos veículos.</p>	<p>Manutenção periódica dos veículos.</p> <p>Caso utilizadas cintas transportadoras, isolamento acústico dos equipamentos com maior potencial de emissão de ruídos.</p> <p>Lubrificação periódica dos componentes das cintas.</p> <p>Utilizar preferencialmente bombas submersas, quando aplicável.</p>	<p>Utilização de lona para confinamento da carga de material sólido.</p> <p>Utilização de veículos fechados (tipo limpa-fossa) para transporte de efluentes líquidos.</p> <p>Veículos devem seguir normas de proteção ambiental e ter Licença da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) e licença municipal.</p>
Aplicação como fertilizante líquido ou sólido	<p>Planejar a demanda das culturas para aplicação, a fim de adequar a demanda por nutrientes com a oferta de fertilizantes ao longo do ano e, assim, reduzir o tempo de armazenamento.</p> <p>Para fertilizantes líquidos, podem ser utilizados sistemas de injeção sub-superficial no solo, para evitar perdas por volatilização, especialmente de NH<sub>4</sub>.</p>	<p>Manutenção periódica dos veículos e equipamentos.</p> <p>Operação no limite de carga dos veículos, reduzindo viagens.</p>	<p>Planejar a demanda das culturas para aplicação, a fim de adequar a demanda por nutrientes e a capacidade de extração, com a oferta de fertilizantes ao longo do ano e, assim, reduzir o risco de lixiviação.</p> <p>Aplicar o fertilizante de forma uniforme e distribuída de acordo com os manuais de boas práticas agrícolas.</p> <p>Preservar APPs e matas ciliares às margens de cursos d'água de acordo com o código florestal.</p>
Disposição final do material digerido	<p>Disposição em local licenciado para receber resíduo classe IIA, ou outra classe, caso submetido à análise de caracterização.</p> <p>Material digerido líquido deve cumprir às exigências para lançamento na rede de esgoto sanitário.</p>	<p>Manutenção periódica dos veículos e equipamentos.</p> <p>Operação no limite de carga dos veículos, reduzindo viagens.</p>	<p>Disposição em local licenciado para receber resíduo Classe IIA.</p> <p>Efluentes líquidos devem cumprir às exigências para lançamento na rede de esgoto sanitário ou corpos receptores.</p>

# 6

## REGULAMENTAÇÕES

Para a implantação de usinas de produção de biogás, temos que considerar toda a regulamentação incidente sobre o tema, com destaque para:

- i) **Regularização ambiental** (licenciamento ambiental, cadastro técnico federal (CTF), supressão de vegetação e uso de recursos hídricos);
- ii) **Aproveitamento energético do biogás** como combustível (GNV ou GN), energia térmica ou elétrica;
- iii) **Produção, comercialização e utilização** do biofertilizante produzido.

Não obstante, as usinas de biogás, assim como as demais instalações industriais, estarão sujeitas a **normas regulamentadoras em geral**, como aquelas relacionadas à saúde e à segurança no trabalho, bem como às demais áreas aplicáveis, relacionadas ao manejo de gases explosivos, entre outras, que podem ser regulamentadas em esfera federal ou incluir demais exigências que podem variar conforme o estado.

A fim de ilustrar as regulamentações específicas aplicáveis à usina de biogás, o presente capítulo apresenta um resumo das principais normativas e regulamentações aplicáveis ao tema.

### 6.1 Regularização ambiental

*As atividades potencialmente causadoras de degradação ambiental passíveis de licenciamento ambiental são estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 237/1997. De uma forma geral, os empreendimentos devem obter a Licença Prévia (LP), que aprova a localização e a concepção do empreendimento, atestando sua viabilidade ambiental, a Licença de Instalação (LI), que autoriza a execução das obras para a instalação do empreendimento e a Licença de Operação (LO), com qual é autorizada o início da operação do empreendimento. Além dessas licenças, caso seja necessária a supressão de vegetação para a implantação das instalações, deve-se obter a respectiva autorização junto ao órgão competente. Caso o empreendimento realize captação de água ou realize qualquer intervenção em um corpo hídrico, deve-se obter uma outorga de direito de uso de recursos hídricos. Adicionalmente, em alguns estados, faz-se necessário o preenchimento de declarações anuais referentes à carga poluidora emitida nos corpos hídricos, à geração de resíduos sólidos, às emissões atmosféricas ou de gases causadores do efeito estufa. Os processos de regularização ambiental variam de estado para estado, conforme a legislação vigente. De uma forma geral, o primeiro passo é a caracterização do empreendimento conforme o porte e o potencial poluidor da atividade a ser implantada. A produção e utilização de biogás geralmente são enquadradas como atividades auxiliares dentro do empreendimento como um todo. Em geral, são enquadradas como empreendimentos relacionados ao saneamento (estações de tratamento de esgoto sanitário ou efluentes industriais, usinas de processamento de resíduos sólidos ou aterros sanitários), instalações produtoras de energia (usinas de produção de biogás ou usinas termoelétricas) ou empreendimentos agroindustriais (tratamento de efluentes da produção) associados à produção e à utilização de biogás.*

A Tabela 20 apresenta um resumo de atividades passíveis de licenciamento especificamente relacionadas à produção de biogás e à geração de energia térmica regulamentada por alguns órgãos ambientais brasileiros. Cabe destacar que foram inseridas, na Tabela 20, apenas as atividades que tratam especificamente do tema biogás ou da geração de energia elétrica. Já o Anexo 1, objeto deste documento, traz diversas legislações, normas técnicas e diretrizes relacionados à implantação e à operação de usinas de biogás.

TABELA 20 - DIFERENTES NORMATIVAS ESTADUAIS QUE REGULAMENTAM A PRODUÇÃO E A UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS COM FINALIDADES ENERGÉTICAS NO BRASIL				
Estado	Normativa	Código	Descrição	Critérios de enquadramento
RJ	Resolução INEA 32/11	35.45.10	Aproveitamento de biogás de ETE com geração de energia.	m <sup>3</sup> /h
		35.54.20	Queima de biogás de resíduos sólidos urbanos, com geração de energia.	t/d
		35.11.10	Geração de energia elétrica a partir de usinas termelétricas	MW
SC	Resolução CONSEMA 13/12	34.41.17	Unidade de biodigestão anaeróbica de resíduos	t/d
		34.11.00	Produção de energia termoelétrica	kW
		34.20.00	Produção de gás e biogás	ha
ES	Portaria SEAMA nº 01/94	26.01.00	Produção de energia termoelétrica	MW
		26.06.00	Produção de gás e biogás	ha
BA	Decreto estadual nº 11.235/2008	35.2	Construção de termoelétrica	MW
		40.1	Estações centralizadas de tratamento biológico	t/a
MG	Deliberação Normativa COPAM nº 74/04	C-04-05-7	Produção de biogás	Nm <sup>3</sup> /d
		E-02-02-4	Produção de energia termoelétrica a gás natural e biogás	MW
RS	Resolução FEPAM nº 002/2001	3.510.10	Produção de energia termoelétrica	MW

Como pode ser observado na Tabela 20, o estado do Rio de Janeiro tem códigos específicos para o aproveitamento do biogás de ETEs e RSU, bem como considera o tipo de combustível no licenciamento de termoelétricas, enquadrando o biogás como o combustível de menor potencial poluidor (“baixo”), se comparado a biodiesel, etanol, óleo vegetal ou gás natural que foram classificados com potencial poluidor “médio”, pelo critério de enquadramento CE038. Os estados de Santa Catarina, Minas Gerais e Espírito Santo também têm códigos específicos para a atividade de produção de biogás, enquanto Santa Catarina e Bahia tipificaram atividades mais gerais, menos específicas para o uso do biogás, geralmente relacionadas ao processo de tratamento biológico de resíduos e efluentes. Para os demais estados pesquisados, verifica-se apenas o enquadramento da atividade de produção de energia termoelétrica, não tipificando especificamente o combustível biogás.

Com o enquadramento da atividade, o órgão ambiental competente define o porte e o potencial poluidor do empreendimento, bem como estabelece, quando necessário, os estudos ambientais que deverão ser apresentados em cada etapa do processo de licenciamento ambiental. Alguns estados possuem Termos de Referência (TR) específicos para a elaboração de estudos ambientais de empreendimentos relacionados à produção e à utilização do biogás. Como exemplo, podemos citar os TRs desenvolvidos pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) de Minas Gerais, para projetos de aproveitamento de biogás de aterro sanitário com ou sem geração de energia elétrica e para sistema de biometanização de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica.

Além das licenças ambientais pertinentes, as atividades relacionadas à produção e à utilização de biogás devem ser registradas junto ao Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), por meio do CTF, que foi estabelecido pela Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 01/88 e pela Instrução Normativa do IBAMA nº 10/13.

Quanto ao lançamento de efluentes líquidos em corpos hídricos, deve-se observar o artigo 16 da Resolução CONAMA nº 430/2011, o qual estabelece os limites máximos de emissões para parâmetros físicos, químicos e biológicos. Já para as emissões atmosféricas, devem-se observar os limites estabelecidos nas Resoluções CONAMA nº 382/2006 (Anexos II e V) e nº 436/2011 (Anexos II e V).

Não obstante, tendo em vista que em muitos casos o substrato utilizado na produção de biogás é oriundo de resíduos sólidos ou esgotos sanitários, esta tipologia de empreendimentos também estará sujeita às regulamentações incidentes sobre o setor, sendo imprescindível verificar exigências adicionais que venham a ser necessárias em caso de operarem com substratos do setor de saneamento.

A Lei nº 11.445/07, que estabelece a Política Nacional de Saneamento Básico, define, dentre outros aspectos, as regras aplicáveis à gestão dos esgotos sanitários e dos RSU. Além disso, por meio da Portaria Interministerial nº 571/13, foi estabelecido o Plano Nacional do Saneamento Básico (PLANSAB), o qual estabelece as metas e as ações brasileiras para o tema até o ano de 2033. Na questão dos resíduos, a Lei nº 12.305/10 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), define que só poderão ser encaminhados para aterramento os rejeitos, devendo os resíduos ser destinados a processos de tratamento.

*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.*

Dessa forma, podemos afirmar que as usinas de biogás são uma importante ferramenta na implementação da PNRS, tendo em vista que disponibilizam uma alternativa técnica e economicamente viável para o tratamento da fração orgânica. A PNRS foi regulamentada pelo Decreto nº 7.404/10, no qual foram estabelecidas as diretrizes para operacionalização da PNRS. Dentre as definições estabelecidas, podemos destacar a obrigação dos municípios de implementarem a coleta seletiva de resíduos úmidos, que são constituídos majoritariamente por resíduos orgânicos.

## 6.2 Aproveitamento energético do biogás

**14:** *Pessoa jurídica ou consórcio de empresas que recebe concessão ou autorização para explorar aproveitamento hidroelétrico ou central geradora termoelétrica e respectivo sistema de transmissão associado e, para comercializar, no todo ou em parte, a energia produzida por sua conta e risco.*

O aproveitamento energético do biogás é regulamentado conforme o uso que será dado a ele. No caso da utilização para a geração de energia elétrica, devem ser observadas as definições e obrigações estabelecidas na Lei nº 9.074/1995, que define o marco regulatório do setor elétrico e estabelece as formas de comercialização de energia elétrica no Sistema Integrado Nacional (SIN). A referida lei também estabeleceu a figura do Produtor Independente de Energia<sup>14</sup> (PIE), efetivando a possibilidade de uma empresa privada de produzir e comercializar energia elétrica, bem 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.

Para que uma usina de biogás possa ter acesso ao SIN, visando à comercialização de energia, ela deve realizar o registro de centrais geradoras de energia elétrica, conforme estabelecido na Resolução Normativa ANEEL nº 390/09, e variam de acordo com a potência instalada do empreendimento em questão. No caso de empreendimento com potência inferior a 5.000kW, que atue em regime de autoprodução, é necessária a realização do Registro da central geradora junto à ANEEL. Quando se trata de unidade com potência superior a este limite, é necessário o requerimento de outorga de autorização para a venda da energia elétrica gerada ou que venha a ser gerada. Toda a documentação necessária para os referidos procedimentos está disposta na Resolução Normativa da ANEEL nº 390/09.

Após este processo, para centrais com potência instalada superior a 5.000kW, deve ser realizada a consulta de acesso às concessionárias de distribuição e/ou ao Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), para obtenção do Parecer de Acesso, para então estabelecer os contratos de Uso do Sistema de Transmissão e de Distribuição. Concluídas essas etapas, devem ser realizados os procedimentos de comercialização de energia elétrica junto à Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), os quais são regulamentados pela Lei nº 10.848/2004, Decretos nº 5.163/2004 e nº 5.177/2004 e pela Resolução Normativa ANEEL nº 109/2004.

Garantido o acesso ao SIN, o modelo de autoconsumo/comercialização a ser adotado pode variar conforme os objetivos do empreendedor. Quando o gerador faz autoconsumo direto da energia gerada, reduzindo o consumo da rede, ele pode comercializar a energia excedente por meio do Ambiente de Contratação Regulado (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL).

No ACR, todas as distribuidoras do Sistema Interligado Nacional (SIN) se reúnem em leilões públicos para comprar energia. Os geradores que possuem os menores preços de energia (Índice de Custo-Benefício) vencem os leilões e assinam contratos com as distribuidoras por 15 a 35 anos, dependendo da tecnologia de geração.

No ACL, os consumidores com demanda superior a 3MW podem comprar energia diretamente dos geradores. Nos casos em que a demanda do consumidor 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. Estes contratos podem ser negociados diretamente e tanto a duração quanto o volume e a tarifa podem variar consideravelmente entre projetos, de acordo com o mercado.

Além destes modelos de comercialização de energia, a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 possibilita que as centrais geradoras com potência instalada menor ou igual a 100kW (microgeração distribuída) ou com potência instalada superior a 100kW e menor ou igual a 1MW (minigeração distribuída) injetem a energia gerada à distribuidora local, para que posteriormente compensem o seu consumo de energia elétrica, dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade em que os créditos foram gerados, desde que tenha o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. Neste caso (*autoconsumo por meio do Net Metering, ou compensação*), não é possível vender a energia excedente. O *Net Metering* é um mecanismo que permite o autoconsumo de energia mesmo quando o ponto gerador e o consumidor estão distantes, conectados por meio da rede de uma mesma distribuidora, no limite de 1MW de potência instalada e sem a necessidade de venda (não há emissão de nota fiscal) desta energia que é creditada na conta de luz. A partir de março de 2016, o limite da potência instalada será de 5MW, exceto para as fontes hídricas, cuja potência será de 3MW. Além desta ampliação, foram aprovadas as seguintes alterações:

- >> Ampliação do prazo de validade dos créditos de energia ativa de 36 para 60 meses;
- >> Criação da possibilidade de implementação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras): nessa configuração, a energia gerada poderá ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores;
- >> Criação da figura “geração compartilhada”, que possibilita que múltiplos interessados se unam em um consórcio ou cooperativa, implementem geração distribuída e utilizem a energia gerada para reduzir as faturas dos consorciados ou cooperados;
- >> Simplificação do processo para a conexão de geração distribuída às redes das distribuidoras: a ANEEL criou novas regras que instituíram formulários padrão para realização de solicitação de acesso pelo consumidor, reduziram o prazo total para a distribuidora conectar microgerações (até 75 kW) de 82 para 34 dias e, por fim, instituíram que a solicitação e acompanhamento de pedido junto à distribuidora poderão ser realizados pela internet a partir de 2017.

Caso a utilização do biogás seja para a injeção na rede de GN ou utilização/comercialização como GNV, devem ser observadas as regulamentações estabelecidas pelo Ministério de Minas e Energia (MME) e pela ANP. Conforme mencionado no item 4.4.3, a Resolução ANP nº 08/15 define as especificações e o controle de qualidade do biometano, as regras de uso, veta a comercialização de biometano que não atenda às especificações definidas, autoriza a injeção na rede de GN o biometano que atenda às especificações estabelecidas e define as normas técnicas aplicáveis. Já a Resolução ANP nº 23/12 estabelece as regras envolvidas no uso dos biocombustíveis



não especificados, sendo o biogás considerado na referida norma, definindo que, para um consumo mensal experimental ou específico superior a 10.000Nm<sup>3</sup>/mês, deverá ser obtida autorização prévia da ANP, bem como definem as condições de aceitação do biometano como biocombustível veicular. A ANP define, ainda, as condições para comercialização do GNV, as quais são estabelecidas pela resolução nº 41/13 e portaria nº 32/01.

### 6.3 Produção, comercialização e utilização do composto

Ainda que haja 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 prática ou de ordem logística, como a indisponibilidade ou dimensões insuficientes de área agrícola disponível; ou elevada distância entre o local da geração do material e sua área de aplicação – o que pode inviabilizar seu uso ou acarretar em custos que inviabilizam a prática; ou legais, como a proibição do seu emprego como fertilizante.

No caso de substratos, como *esgoto e lodo sanitário, resíduos sólidos urbanos e de origem animal* (matadouros, frigoríficos, processamento de leite), **é imprescindível a higienização** dos materiais digeridos para a eliminação de coliformes fecais e parasitas **antes de sua aplicação no campo**. Para tanto, é necessária uma exposição ao calor acima de 50°C durante sete dias, de acordo com a recomendação da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2006).

O processo de higienização pode ser feito por meio da inclusão de um tratamento térmico antes ou depois da digestão anaeróbia. Quando o uso do biogás é destinado à geração elétrica no mesmo local do biodigestor, é possível utilizar o calor residual do grupo gerador (CHP) para a higienização. Outra técnica de higienização utilizada é a compostagem térmica (digestão aeróbia) por meio da mistura do material digerido com substratos secos de elevado teor energético e estruturante (palha, serragem, cortes das áreas verdes).

No que tange à produção, comercialização e utilização do biofertilizante, devem ser observadas, principalmente, as regulamentações estabelecidas pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pelo IBAMA. Conforme estabelecido pela Lei nº 6.894/80, e regulamentado pelo Decreto nº 4.954/04, para comercialização, o biofertilizante deve ser registrado no MAPA. Além disso, a Instrução Normativa da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do MAPA nº 25/09 estabelece as especificações, garantias, tolerâncias, embalagens e rotulagem dos biofertilizantes destinados à agricultura, definindo os limites que devem ser observados, bem como classifica os compostos orgânicos conforme as matérias-primas utilizadas na sua produção, sendo dividido em 4 tipos:

- >> I – Classe A: utiliza, em sua produção, matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, em que não sejam utilizados no processo metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos;
- >> II – Classe B: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, em que metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo;

- >> III – Classe C: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar; e
- >> IV – Classe D: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários.

Os fertilizantes orgânicos Classe D devem, ainda, seguir as regulamentações estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 375/06. A seção 6.3 e o Anexo 1 apresentam informações e legislações relacionadas ao uso do material digerido e estabilizado como fertilizante.

De acordo com o anexo V da Instrução Normativa SDA/MAPA nº 27/2006 do Ministério da Agricultura, os limites máximos de contaminantes admitidos em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos corresponde aos valores expressos na Tabela 21.

TABELA 21 - LIMITES MÁXIMOS DE CONTAMINANTES ADMITIDOS EM CONDICIONADORES DO SOLO E FERTILIZANTES ORGÂNICOS		
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 <i>Fusarium</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Rhizoctonia</i> e <i>Sclerotinia</i>	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)	1.000	1.000
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)	1	1
<i>Salmonella</i> sp.	Ausência em 10g de matéria seca	Ausência em 10g de matéria seca

Fonte: Instrução Normativa SDA/MAPA nº27/2006

Ainda em relação à aplicação de biofertilizante em áreas agrícolas, a Resolução CONAMA nº 375/2006, dispõe que a aplicação deverá garantir que a carga teórica acumulada esteja abaixo dos valores permitidos, os quais são apresentados na Tabela 22. Ressalta-se que estes valores são referentes à aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas, todavia podem ser adotados como referência para os demais biofertilizantes.

TABELA 22 - CARGAS ACUMULADAS TEÓRICAS PERMITIDAS  
DE SUBSTÂNCIAS INORGÂNICAS PELA APLICAÇÃO

Substância Inorgânica	Carga acumulada teórica (kg/ha)
Arsênio	30
Bário	265
Cádmio	4
Chumbo	41
Cobre	137
Cromo	154
Mercúrio	1,2
Molibdênio	13
Níquel	74
Selênio	13
Zinco	445

Fonte: Resolução CONAMA  
nº 375/2006

O padrão de qualidade do solo e águas subterrâneas, por sua vez, é regulamentado pela Resolução CONAMA 420, de 28 de dezembro de 2009, e alterada pela Resolução CONAMA nº 460 de 30 de dezembro de 2013, a qual apresenta, em seu Anexo II, valores orientadores, os quais permitem inferir sobre a qualidade do solo e/ou água subterrânea.

Com relação à utilização de resíduos como substratos, devemos levar em conta as definições da NBR 10.004/04, que estabelece a classificação dos resíduos quanto à sua periculosidade, os métodos de amostragem de resíduos estabelecidos pela NBR 10.007/04 e os procedimentos de acondicionamento, armazenamento e transporte de resíduos são estabelecidos pelas NBRs 11.174/90, 12.235/92 e 13.221/10.

## 6.4 Normas regulamentadoras em geral

Para a elaboração dos projetos de usinas de biogás, é recomendado que se observem as Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR), as quais são estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Cabe destacar que não existem NBRs que tratam especificamente do tema biogás, entretanto, com as devidas ressalvas, pode-se adotar de forma parcial as normativas referentes ao gás natural.

Adicionalmente, deve-se ainda observar as Normas Regulamentadoras (NRs) estabelecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). A NR nº 13/78 estabelece as condições de projeto, ensaios a serem realizados, requisitos mínimos de segurança e condições de operação relacionadas a vasos de pressão e caldeiras. Já a NR nº 16/78 trata das atividades e operações perigosas, definindo quais são as atividades enquadradas como perigosas, os requisitos para estabelecimento de áreas de risco, as capacidades de armazenamento de materiais perigoso e inflamáveis, entre outras questões. Já a NR nº 20/78 estabelece as regras para o armazenamento e manuseio de materiais inflamáveis e combustíveis, definindo as distâncias e afastamentos que devem ser observados para a implantação de áreas de armazenamento, os requisitos mínimos de proteção que deverão ser adotados nas instalações, entre outros aspectos. A NR nº 23/78 trata de questões referentes à proteção contra incêndio.

## 7

## PERGUNTAS E RESPOSTAS

Este capítulo busca solucionar as principais dúvidas com relação à metanização e à utilização energética do biogás do ponto de vista dos órgãos ambientais. As perguntas foram elaboradas pelos colaboradores dos órgãos ambientais parceiros na elaboração desse estudo e respondidas pelos autores, baseados na literatura e normativas existentes. Todas as respostas foram revisadas pelos responsáveis nos órgãos ambientais parceiros.

### 1. Quais os requisitos necessários para aplicação do material digerido (biofertilizante) no solo?

A aplicação do biofertilizante gerado na metanização na agricultura, depende de fatores como o tamanho da área disponível, a distância entre o local da geração do resíduo e a área de utilização (a fim de viabilizar seu transporte), e, principalmente, da qualidade do resíduo gerado, já que sua composição varia em função do substrato tratado.

A produção, a comercialização e a utilização do biofertilizante devem seguir as regulamentações estabelecidas pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cabe destacar o Anexo V da Instrução Normativa SDA/MAPA nº27/2006, que apresenta os limites máximos de contaminantes admitidos em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos, apresentados na Tabela 21, anteriormente.

Já a taxa de aplicação no solo deve ser realizada em acordo com a recomendação agrônômica oficial de cada Estado.

A Resolução CONAMA nº 375/2006, dispõe que a aplicação do biofertilizante deve garantir que a carga teórica acumulada esteja abaixo dos valores permitidos, os quais são apresentados na Tabela 18, na seção 5.1.1 deste estudo. Ressalta-se que estes valores são referentes à aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado em solos agrícolas, todavia estes podem ser adotados como referência para os demais biofertilizantes.

Está em tramitação uma minuta de resolução do CONAMA, específica para regulamentar a atividade de compostagem e a qualidade do biofertilizante gerado, porém o documento ainda está sendo avaliado pelo Ministério do Meio Ambiente.

### 2. Caso seja gerada energia superior à demanda da empresa, é possível destinar e comercializar para a rede da Companhia Energética?

Isto depende do modelo de autoconsumo/comercialização adotado. Quando o gerador faz autoconsumo direto da energia gerada, reduzindo o consumo da rede, ele pode comercializar a energia excedente por meio do Ambiente de Contratação Regulado (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL).

No ACR, todas as distribuidoras do Sistema Interligado Nacional (SIN) se reúnem em leilões públicos para comprar energia. Os geradores que possuem os menores preços de energia (Índice de Custo-Benefício) vencem os leilões e assinam contratos com as distribuidoras com duração entre 15 e 35 anos, dependendo da tecnologia de geração.

No ACL, os consumidores com demanda superior a 3MW podem comprar energia diretamente dos geradores. Nos casos em que a demanda do

consumidor 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. Estes contratos podem ser negociados diretamente e, tanto a duração, quanto o volume e a tarifa podem variar consideravelmente entre projetos, de acordo com o mercado.

Já no sistema de Compensação de Energia Elétrica (*Net Metering*), conforme as disposições da Resolução Normativa ANEEL nº 482, de 17 de Abril de 2012, a energia ativa injetada por unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora na qual os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda. Neste caso (*autoconsumo por meio do Net Metering, ou compensação*) não é possível vender a energia excedente. O *Net Metering* é um mecanismo que permite o autoconsumo de energia mesmo quando o ponto gerador e consumidor estão distantes, conectados por meio da rede de uma mesma distribuidora, no limite de 1MW de potência instalada e sem a necessidade de venda (não há emissão de nota fiscal) desta energia que é creditada na conta de luz. A partir de março de 2016, esse limite de potência instalada será aumentado para 3MW, para fontes hídricas, e 5MW para as demais fontes.

Além desta ampliação, foram aprovadas as seguintes alterações:

- >> Ampliação do prazo de validade dos créditos de energia ativa de 36 para 60 meses;
- >> Criação da possibilidade de implementação de geração distribuída em condomínios (empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras): nessa configuração, a energia gerada poderá ser repartida entre os condôminos em porcentagens definidas pelos próprios consumidores;
- >> Criação da figura “geração compartilhada”, que possibilita que múltiplos interessados se unam em um consórcio ou cooperativa, implementem geração distribuída e utilizem a energia gerada para reduzir as faturas dos consorciados ou cooperados;
- >> Simplificação do processo para a conexão de geração distribuída às redes das distribuidoras: a ANEEL criou novas regras que instituíram formulários padrão para realização de solicitação de acesso pelo consumidor, reduziram o prazo total para a distribuidora conectar microgerações (até 75 kW) de 82 para 34 dias e, por fim, instituíram que a solicitação e acompanhamento de pedido junto à distribuidora poderão ser realizados pela internet a partir de 2017.

### **3. É necessária a construção de uma bacia de contenção como prevenção de vazamento de material digerido? A área tem que ser impermeabilizada?**

Não é comum a instalação de bacias de contenção em sistemas na Europa. Os tanques geralmente são de concreto e há diversas medidas de controle a vazamentos (sistemas de segurança redundantes, como sensores de nível,

janela de inspeção, etc.). De toda forma, trata-se de uma medida paliativa, corretiva, visando mitigar os danos. O foco, entretanto, deve estar nas medidas preventivas, de modo a reduzir as possibilidades e probabilidades de ocorrência de um acidente e/ou um vazamento nos tanques.

Na Alemanha, podem ser destacadas algumas normas que tratam do assunto, dentre elas, a DIN 11622-2 que se aplica à silagem, tanques de lodo, armazenamento de estrume sólido e recipientes para as unidades de biogás em concreto; e a DIN 11622-22 que trata de recipientes de silagem e adubo líquido, de embalagens em instalações de biogás e silos.

#### **4. O projeto a ser implementado pode ser discutido previamente com o órgão ambiental ou apenas após a formalização do processo?**

O projeto pode ser discutido previamente com o órgão ambiental. Considere-se a discussão prévia à formalização do processo entre empreendedor e o órgão ambiental como uma interessante ferramenta de orientação quanto às boas práticas ambientais, além de facilitar a comunicação e o entendimento do projeto a ser licenciado.

#### **5. A produção de biogás concorre com a produção de alimentos?**

O biogás é gerado a partir da decomposição da matéria orgânica presente em diversos tipos de substratos, como o esgoto e lodo sanitário, resíduos de origem animal, resíduos sólidos urbanos, incluindo os resíduos alimentares. Desta forma, a produção de biogás pode ser vista como uma atividade complementar e sinérgica com a produção de alimentos, uma vez que é realizada com os resíduos provenientes destes setores.

Ao se tratar das culturas dedicadas, a discussão sobre a competitividade entre a produção de alimentos e a de biogás pode ser considerada de forma ponderada, já que são cultivos produzidos com o objetivo principal de se utilizar a biomassa como fonte de energia.

O imenso potencial ainda desperdiçado no Brasil em relação à recuperação energética de resíduos, por meio da metanização (RSU, esgotos, resíduos agropecuários e efluentes industriais), representa uma prioridade para a produção de biogás, uma vez que se configura como matéria-prima desperdiçada. Tendo em vista o enorme potencial agrícola do Brasil, a discussão sobre concorrência entre a produção de alimentos e de biogás não se mostra pertinente.

As usinas de biogás por culturas dedicadas já são uma realidade no mundo, sendo a Alemanha referência mundial. No ano de 2009, 41% da produção de biogás na Alemanha tinha como fonte as culturas energéticas com uma potência elétrica instalada correspondente de aproximadamente 779MWel (FNR, 2010). Estima-se que, no ano de 2007, foram cultivados cerca de 0,55 milhões de hectares (potencial mínimo) e 1,15 milhões de hectares (potencial máximo) para a produção de biogás sendo projetado para o ano de 2020 valores máximos de 1,6 milhões de hectares e um aumento da produção de 2% ao ano.

No Brasil, o uso das culturas energéticas já é realizado para a produção de etanol, biodiesel, biomassa e carvão vegetal. A grandeza do setor pode ser demonstrada com os valores das safras de 2013/2014, quando foram produzidos 27,5 milhões de m<sup>3</sup> de etanol a partir da cana-de-açúcar (UNICA,

2015) e 21,7 milhões de m<sup>3</sup> de biodiesel produzidos a partir de óleos vegetais e gorduras animais, sendo as culturas vegetais mais utilizadas soja, dendê, girassol, babaçu, amendoim, mamona e pinhão manso (ANP, 2015).

A utilização de culturas dedicadas é também interessante para a co-digestão no Brasil. Muitas das usinas de biogás para tratamento de resíduos agropecuários operam somente durante um período do ano, em função de safras produtivas características de cada lavoura. Dessa forma, a incorporação de diferentes cultivos, ou mesmo de substratos locais de outras fontes (agroindustriais, dejetos, etc.), possibilitaria o funcionamento contínuo destas usinas ao longo do ano, com produção constante de energia.

Também é importante frisar que, mesmo na Alemanha, o biogás é gerado a partir de algumas culturas dedicadas como milho, sorgo e pastagens, culturas normalmente destinadas à alimentação animal. No Brasil, estas culturas são consumidas pelo setor produtivo de carnes e grande parte é exportada a custos energéticos imensos. Calcula-se que para produção de 1 kg de carne se consuma 30kWh de energia e 6m<sup>2</sup> de área agrícola. Esta mesma área, se convertida em biogás diretamente pode gerar 1,2kWh de energia excedente, portanto um balanço bem mais positivo, considerando-se que a carne representa somente parte na nossa alimentação.

É importante lembrar, também, que a atividade agrícola busca sustentabilidade por meio da produção, não somente de alimentos, mas também tecidos, matérias primas para indústria química, construção, fumo, bebidas alcoólicas (cerveja, vinho, destilados), todos de alguma forma ocupando espaço da potencial produção de alimentos essenciais para a vida. A geração de energia é mais uma alternativa que pode agregar valor à atividade e gerar riqueza em uma região.

Não há registro da produção de alimentos como arroz, feijão, verduras, legumes e frutas em geral (principais constituintes da alimentação humana), dedicados à geração de biogás. Estes alimentos geralmente são produzidos em áreas que não concorrem com esta atividade. A situação de concorrência deve, portanto, ser ponderada de acordo com a realidade e necessidade de desenvolvimento estratégico de cada região.

## 6. Quais tipologias industriais têm potencial de geração de biogás?

Toda atividade que processa substratos orgânicos e gera efluentes e resíduos orgânicos tem potencial de geração de biogás, tais como, as indústrias alimentícias, sucroenergética, papel e celulose, abatedouros, laticínios, dentre outras. O setor agrossilvopastoril também tem grande potencial de geração de biogás a partir dos resíduos, podendo destacar-se a criação de animais (bovinos, suínos, aves, etc.), o processamento de café, etc.

O potencial de geração de biogás depende, principalmente, da composição, tipologia e quantidade do substrato. Segundo Zanette (2009), os resíduos agropecuários, por exemplo, têm potencial de produção de 66,3 milhões de m<sup>3</sup>/dia de biogás.

O potencial de geração de biogás no Brasil pode ser ainda maior se consideradas as culturas dedicadas, como o etanol e o biodiesel. Um hectare de cana-de-açúcar gera cerca de 6.500 litros de etanol, resultando em um po-

tencial energético de 40,3MWh/ha, enquanto a mesma área pode gerar até 80,0MWh pela conversão da biomassa de cana-de-açúcar em biometano.

### **7. Qual a modalidade de estudo ambiental deve ser apresentada na formalização do processo de licenciamento?**

O estudo ambiental a ser apresentado varia em cada estado, segundo as características do empreendimento e as regulamentações vigentes.

Em Santa Catarina, por exemplo, devem ser consideradas as Resoluções CONSEMA 13 e 14. Das atividades relacionadas com a produção de biogás, apenas para a produção de energia termoelétrica com capacidade instalada superior a 10MW, faz-se necessário a elaboração de um Estudo de Impacto Ambiental – EIA, e respectivo Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente – RIMA. Para todas as outras atividades e portes, é solicitada apenas a elaboração do Estudo Ambiental Simplificado – EAS, ou do Relatório Ambiental Prévio – RAP para a composição dos processos de regularização ambiental.

Já em Minas Gerais, a Deliberação Normativa – DN COPAM nº 74/04 foi recentemente modificada criando o código E-02-02-4 para produção de energia termoelétrica a gás natural e biogás; e alterando o código E-02-02-1 (produção de energia termoelétrica) para produção de energia termoelétrica, exclusiva a gás natural e biogás. Para a produção de biogás, há o código C-04-05-7, que permaneceu inalterado.

Nos códigos C-04-05-7 e E-02-02-4, os empreendimentos de pequeno porte são enquadrados na Classe 1, enquanto os empreendimentos de médio e grande porte são dispostos nas Classes 3 e 5, respectivamente. No código E-02-02-1, os empreendimentos de pequeno porte são considerados Classe 3 e os médios e grandes, Classes 5 e 6, respectivamente.

Os empreendimentos de Classe 1 estão sujeitos apenas à Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF), que não exige a apresentação de estudo ambiental, sendo necessário, no geral, a apresentação do Termo de Responsabilidade e a Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) informando que o empreendimento possui todos os sistemas de controle ambiental necessários implementados e opera conforme todas as condições e parâmetros ambientais legalmente vigentes. Os demais empreendimentos (Classes 3, 5 e 6) estão sujeitos à obtenção da Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO), desta forma, geralmente, são solicitados o Relatório de Controle Ambiental (RCA) e o Plano de Controle Ambiental (PCA). Em alguns casos, o Órgão Ambiental pode solicitar a apresentação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) em substituição ao RCA e ao PCA.

Vale ressaltar que os empreendimentos Classe 3, podem solicitar a LP concomitantemente à LI, o que não ocorre com as Classes 5 e 6, que devem obter cada licença separadamente.

Em São Paulo, a solicitação da licença prévia (LP) no processo de licenciamento pode ser iniciada por duas vias distintas, em função da classificação do empreendimento pelo seu porte, localização e potencial poluidor/degradador. O empreendedor pode solicitar a LP junto às Agências Ambientais da CETESB pelo Portal do Licenciamento Ambiental, com a apresentação do Memorial de Caracterização do Empreendimento (MCE) e de estudos ambientais simplifi-



cados, seguindo os roteiros específicos. Também há a opção de se solicitar a LP junto à Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental da CETESB, apresentando o Estudo Ambiental Simplificado, o Relatório de Análise Preliminar ou o Termo de Referência para a Elaboração do Estudo de Impacto Ambiental, de acordo com o Manual para Elaboração de Estudos para o Licenciamento com Avaliação de Impacto Ambiental. Alternativamente, no caso de dúvida sobre o instrumento de licenciamento mais apropriado para condução do licenciamento, o empreendedor pode entrar com uma consulta junto à Diretoria de Avaliação de Impacto Ambiental da CETESB, informando as características gerais da implantação e operação do empreendimento, e sua localização.

Em nível nacional, a Resolução CONAMA nº 01/1986 estabelece que usinas de geração de eletricidade, a partir de qualquer fonte de energia primária, com produção acima de 10MW de potência instalada estão sujeitas à apresentação de EIA e RIMA.

#### **8. É obrigatória a realização de Audiência Pública para a implantação de usinas de biogás?**

A realização de audiência pública é obrigatória, quando for necessária a elaboração de EIA/RIMA. Neste caso, a Resolução CONAMA nº09/1987 dispõe que as audiências públicas no processo de licenciamento ambiental são realizadas quando houver necessidade ou quando for solicitado por entidade civil, Ministério Público, ou, ainda, por 50 ou mais cidadãos.

A resolução estabelece que, a partir da data do recebimento do RIMA, o órgão de meio ambiente abre e publica o prazo para a solicitação da audiência pública. Caso haja a solicitação de audiência pública e o órgão estadual não a realize, a licença concedida não terá validade. Após esse prazo, a convocação será feita pelo órgão licenciador e deve ser realizada em local acessível aos interessados.

Dependendo da localização geográfica dos solicitantes e da complexidade do tema, poderá haver mais de uma audiência pública sobre o mesmo projeto e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.

No âmbito estadual, a audiência pública também pode ser necessária ainda que o EIA/ RIMA não seja necessário para o licenciamento da atividade. Pode ser realizada sempre que for considerada útil para esclarecer a população, obedecendo a um rito mais simplificado e visando a não comprometer a eficiência do licenciamento ambiental.

#### **9. Há procedimentos diferenciados para o licenciamento ambiental de usinas de biogás a serem implantadas em empreendimentos já existentes (ETE, Aterro Sanitários, Estação de Tratamento de Resíduos Agroindustriais)?**

Em caso de empreendimentos já em operação com licença vigente, e que a inserção da nova estrutura será dentro da mesma área já submetida ao licenciamento ambiental prévio, o empreendedor deverá solicitar a ampliação da licença, dentro do processo de licenciamento do empreendimento já existente.

Considerando-se que cada estado possui leis diferenciadas, o empreendedor deve buscar quais os estudos e projetos específicos são necessários à obtenção da licença ambiental em sua região.

Em Minas Gerais, por exemplo, os procedimentos para a implantação de empreendimentos que preveem a usina de biogás, desde sua concepção, são diferenciados daqueles que pretendem implantar a planta de biogás por meio de uma ampliação no empreendimento. A Deliberação Normativa CO-PAM nº74/2004 e o Decreto Estadual nº44.844/2008 determinam diferentes prerrogativas no caso da ampliação do empreendimento.

#### **10. Os procedimentos de licenciamento ambiental para produção de biogás são iguais em todos os Estados da União?**

Não, cada estado tem suas normas específicas de licenciamento ambiental e parâmetros de classificação dos empreendimentos em função de seu porte e potencial poluidor/degradador. Desta forma, os documentos a serem protocolados junto ao órgão ambiental, assim como os termos de referência que devem ser apresentados, podem ser diferentes em cada estado.

#### **11. Como funciona e quais são os critérios para certificação do biofertilizante na Alemanha e no Brasil?**

A certificação de compostos na Alemanha segue as especificações de aplicação, utilização, composição do fertilizante e percentual de disponibilidade de nutrientes, conforme a cultura agrícola e/ou hortícola aplicada, com vistas a possibilitar o máximo aproveitamento dos nutrientes no solo, evitando agravos, conservando e preservando o solo e a água.

Ela ocorre por meio da avaliação da conformidade legal, a partir de análises de qualidade, composição do composto, método de tratamento e do universo de utilização, em que são apresentadas as restrições de aplicação, bem como os valores máximos de aplicação indicados. Os padrões de aplicação dos compostos devem atender à Düngeverordnung (DüV) de 26/01/1996, que não só estabelece as diretrizes sobre o uso de fertilizantes, como também de proteção ambiental e conservação da água, além de implementar, na base legal alemã, a diretiva de nitratos da União Europeia.

A avaliação da conformidade legal para a certificação dos compostos é realizada por empresas certificadoras, como a Bundesgütegemeinschaft Kompost e.V. (BGK), que atesta por meio de auditorias e análises da qualidade, a conformidade dos compostos, resultando na certificação e no selo Gutezeichen Kompost.

No Brasil, a produção, comercialização e a utilização do biofertilizante devem atender às regulamentações estabelecidas pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

As certificações são realizadas de forma opcional e, assim como na Alemanha, é realizada por uma empresa certificadora, denominada Organismo da Avaliação da Conformidade Orgânica (OAC), que é credenciada junto ao MAPA. A OAC inspeciona as condições técnicas, sociais e ambientais da produção e verifica se estão em conformidade com as exigências dos regulamentos da produção orgânica, por meio de auditorias.

Após a realização das auditorias, não existindo não conformidades ou sendo aprovados os procedimentos corretivos destas, a certificadora emite o Certificado de Conformidade e, sucessivamente, o Selo de Certificação.

Uma opção ao produtor do biofertilizante para realizar a comercialização deste, é organizar-se em um grupo de produtores e cadastrar-se junto ao MAPA. Desta forma, o biofertilizante pode ser comercializado sem certificação.

## 12. Quais as distâncias mínimas recomendadas, relativas ao uso e ocupação do solo no entorno das usinas de biogás?

As características e as especificações para o uso e ocupação do solo irão variar conforme a natureza do empreendimento, sendo estabelecidas com base em sua escala, no substrato utilizado, nas características locais e nas emissões relacionadas, além do tipo de aproveitamento energético do gás.

Fatores como a emissão de odores, riscos patológicos e o risco de explosões, incêndios e vazamentos, devem ser considerados, assim como as distâncias mínimas às unidades urbanas.

O Termo de Referência (TR), publicado em 2010, pela Fundação Estadual do Meio Ambiente, com o intuito de apresentar orientações e diretrizes para a elaboração do Relatório de Controle Ambiental (RCA) e instruir a respeito do licenciamento de empreendimentos de metanização de RSU e outros resíduos, determina as especificações e estudos necessários, a depender da localização dos empreendimentos, sendo necessários estudos de dispersão, autodepuração em corpo d'água, vulnerabilidade natural da área, descrição das intervenções, histórico de uso e ocupação do solo e os critérios mínimos de atendimento do local de instalação. São elas:

- >> O empreendimento deve ser localizado preferencialmente em área ou distrito industrial e não ser localizado em área ou município turístico.
- >> Deve obedecer à distância mínima de 500m de aglomerados urbanos, visando minimizar impactos e eventuais odores.
- >> Atender às exigências do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), existentes na Lei Federal nº 9.985/2000.
- >> Obedecer às políticas florestais e de proteção à biodiversidade, estabelecidas na Lei Estadual nº 14.309/2002 (Lei Florestal de Minas Gerais), incluindo as alterações da Lei Estadual nº 18.365/2009 e do Decreto Estadual nº 45.166/2009.
- >> Considerar as condições ambientais da área de influência e de seu entorno, assim como a direção predominante dos ventos na região, para minimizar as emissões atmosféricas e os impactos nas cidades, núcleos populacionais e habitações, áreas de produção ou comercialização de alimentos ou outros estabelecimentos próximos.
- >> Considerar a localização do empreendimento em relação ao disposto no Plano Diretor de Recursos Hídricos da bacia hidrográfica, no que tange às áreas de restrição de uso para fins de proteção e conservação de recursos hídricos.

### 13. É possível o estabelecimento de linhas de corte, em função do porte, para o licenciamento ambiental?

O Licenciamento Ambiental no Brasil não possui legislações unificadas, sendo necessário, portanto, avaliar os critérios para classificação segundo o porte e o potencial poluidor dos empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente, passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental de cada Estado separadamente.

O Estado do Rio de Janeiro, por meio das resoluções nº 31 e 32 do INEA, possui uma legislação mais específica para a questão do biogás e enquadra os empreendimentos nos códigos: 35.45.10 para aproveitamento de biogás de ETE com geração de energia; 35.54.20 para queima de biogás de resíduos sólidos urbanos, com geração de energia; e 35.11.10 para geração de energia elétrica a partir de usinas termoelétricas. Este último código, porém, não faz distinção quanto ao combustível utilizado.

Para empreendimentos classe 2, o licenciamento no estado do Rio de Janeiro é facilitado por meio da emissão da licença ambiental simplificada – LAS, a qual é obtida em fase única. São considerados como de porte mínimo os empreendimentos de aproveitamento energético de biogás de ETE com produção de até 200 m<sup>3</sup>/h e de aproveitamento energético de biogás de resíduos sólidos urbanos – RSU, com capacidade de tratamento de até 100 t/d. Já para a geração termoelétrica, empreendimentos com capacidade instalada de até 1MW são considerados de pequeno porte.

Já no estado de Santa Catarina, o Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA, por meio da Resolução nº 13/12, estabeleceu três códigos para o enquadramento de empreendimentos de aproveitamento energético de biogás. São os códigos, 34.41.17 para unidade de biodigestão anaeróbica de resíduos; 34.20.00 para produção de gás e biogás; e 34.11.00 para produção de energia termoelétrica.

Os empreendimentos que processam até 0,5 t/d de RSU são considerados insignificantes, sendo que até 30 t/d são enquadrados como de pequeno porte. Já para a atividade de produção de energia termoelétrica, assim como em MG, empreendimentos que possuam uma capacidade instalada de até 10MW são considerados de pequeno porte.

No Estado do Rio Grande do Sul, a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM, por meio da Resolução nº 02/01, estabelece os limites para os empreendimentos que produzem energia termoelétrica por meio do código 3.510.10.

O Estado do Espírito Santo, por meio da Portaria nº 01/94 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, enquadra os empreendimentos nos códigos 26.01.00 para produção de energia termoelétrica e 26.06.00 para produção de gás e biogás. O código 26.01.00 não diferencia a geração de energia segundo o combustível e, até 30MW, os empreendimentos são considerados de pequeno porte. Já a produção de biogás, enquadrada no código 26.06.00, não pode ser convertida em potência elétrica, pois, assim como o código estabelecido na legislação de Santa Catarina, define o porte do empreendimento em função da área útil e não da taxa de geração de biogás.

No Rio Grande do Norte, o Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONEMA, por meio da Resolução nº 04/06, estabeleceu os critérios para enquadramentos de empreendimento potencialmente poluidores.

No estado da Bahia, por meio do Anexo III do decreto nº 11.235/2008, podem ser destacados dois códigos para o enquadramento de empreendimentos produtores e/ou utilizadores de biogás. São os códigos 35.2 para produção de energia termoelétrica e 40.1 para estações centralizadas de tratamento biológico e equipamentos associados.

Em Pernambuco, a Lei estadual nº 14.549/11 estabelece os critérios de enquadramentos adotados no estado.

Em Minas Gerais, a DN COPAM nº 74/04 estabelece dois códigos para o enquadramento de empreendimentos produtores de biogás. O primeiro é o E-02-02-4 para a produção de energia termoelétrica a gás natural e biogás; e o segundo é o C-04-05-7 para a produção de biogás.

Para a produção de energia termoelétrica a gás natural e biogás (código E-02-02-4), os estabelecimentos que possuem capacidade instalada até 10MW são enquadrados como classe 1; os com capacidade entre 10 e 100MW como classe 3; e os com capacidade superior a 100MW são enquadrados como classe 5. Para produção de biogás (código C-04-05-7, inalterado na modificação da Deliberação Normativa), o licenciamento ambiental de empreendimentos com capacidade de produção inferior a 600Nm<sup>3</sup>/dia é dispensado no âmbito estadual. São enquadrados como classe 1 aqueles que possuem capacidade de produção entre 600 e 3.000 Nm<sup>3</sup>/dia; como classe 3, os que produzem entre 3.000 e 20.000Nm<sup>3</sup>/dia, e como classe 5 os empreendimentos com capacidade de produção superior a 20.000Nm<sup>3</sup>/dia. Maiores informações sobre o licenciamento ambiental de instalações de biogás podem ser encontradas no capítulo 6 deste documento.

#### **14. É necessário o tratamento adicional (higienização) de resíduos de origem animal? Como pode ser realizada a avaliação da eficiência desse tratamento?**

A higienização de resíduos de origem animal é imprescindível para a eliminação de coliformes fecais e parasitas.

Este processo pode ser realizado por tratamento térmico, antes, ou depois da digestão anaeróbia. Para isso, o material deve ser submetido a temperaturas acima de 50°C durante sete dias.

Na Europa, a (EC) nº1774 de 06 de Setembro de 2001, alterada pela (EC) nº 208 de 07 de Fevereiro de 2006, estabelece as regras de higienização para os compostos de usinas de biogás provenientes de subprodutos de origem animal. Segundo essas normativas, o material deve ser submetido à temperatura mínima de 70°C e tempo mínimo de 60 minutos.

Para avaliar a eficiência do processo após a higienização, o material deve ser submetido à análise microbiológica, sendo aprovado quando o número máximo de bactérias em 1g é fixado em 1.000 para quatro das cinco amostras. Em uma amostra, é aceitável que o número de bactérias esteja entre 1.000 e 5.000. Além disso, em 25g, deve haver ausência de Salmonela.

Outra forma de eliminação dos germes no substrato é a esterilização sob pressão, em que este é mantido por 20 minutos a uma temperatura de 133°C e pressão de 3 bar. No entanto, esta é uma técnica menos utilizada que a higienização a 70°C.

### 15. Quais são as etapas para implantação de uma planta de biogás?

Para a implantação de usinas de produção de biogás, toda a regulamentação incidente sobre o tema deve ser considerada, com destaque para a regularização ambiental (licenciamento ambiental, Cadastro Técnico Federal – CTF, supressão da vegetação e uso de recursos hídricos), utilização e comercialização do biofertilizante produzido, geração e comercialização do biogás como combustível (GNV ou GN), energia térmica ou elétrica, bem como quanto às normativas de saúde e segurança.

O primeiro passo é a classificação do empreendimento conforme o porte e o potencial poluidor da atividade a ser implantada. A produção e a utilização de biogás geralmente são enquadradas como atividades auxiliares a empreendimentos relacionados ao saneamento (estações de tratamento de esgoto sanitário ou efluentes industriais, usinas de processamento de resíduos sólidos ou aterros sanitários), instalações produtoras de energia (usinas de produção de biogás ou usinas termoelétricas) ou empreendimentos agroindustriais associados à produção e à utilização de biogás.

As atividades potencialmente poluidoras passíveis de licenciamento ambiental são estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 237/1997 e o processo de regularização ambiental do empreendimento é apresentado na seção 6.1 deste documento.

Para a produção, comercialização e a utilização do biofertilizante gerado, devem ser atendidas as regulamentações estabelecidas pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Documentos como o Alvará emitido pela Prefeitura do Estado, o Alvará de Prevenção de Segurança Contra Incêndio e Pânico emitido pelo Corpo de Bombeiros devem ser requeridos.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2G COGENERATION. Biogas Modules, s.d. Disponível em: <<http://www.2-g.de/biogas-modules>>. Acesso em: 28 nov. 2013

ABIEC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNES. Rebanho Bovino Brasileiro. Disponível em: <[http://www.abiec.com.br/3\\_rebanho.asp](http://www.abiec.com.br/3_rebanho.asp)>. Acesso em: 30 mar. 2015.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10.004, Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10.007, Lixiviação de Resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11.174, Armazenamento de Resíduos Classe II – não inertes e III – inertes. Rio de Janeiro: ABNT, 1990.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12.235, Armazenamento de Resíduos Sólidos Perigosos. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13.221, Transporte Terrestre de Resíduos. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil: 2013. Rio de Janeiro: ABRELPE, 2014. Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2013.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2015.

ALEMANHA. Renewable Energy Sources Act (EEG), 2004.

ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. [Eds]. Lodo de esgoto: tratamento e disposição final. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2001. 484p. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.6.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de informações de geração. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15>>. Acesso em: 25 mar. 2015.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 517 de 11 de dezembro de 2012. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 dez. 2012. Seção 1, p. 121.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Produção Nacional de Biodiesel Puro. Disponível em: <[www.anp.gov.br/?dw=8739](http://www.anp.gov.br/?dw=8739)>. Acesso em: 30 mar. 2015.

ARCADIS LOGOS ENERGIA S/A. Disponível em: <<http://www.arcadislogos.com.br/novo/pt-br/>>. Acesso em: 30 mar. 2015.

ASJA. [s.d.]. Projects. Disponível em: <<http://www.asja.biz/noticia.php?id=327>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

BAHIA. Decreto Estadual nº 11.235, de 10 de outubro de 2008.

BASERGA, U. Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. FAT, 1998.

BECCARI, M.; BONEMAZZI, F.; MAJONE, M.; RICCARDI, C. Interaction between acidogenesis and methanogenesis in the anaerobic treatment of olive oil mill effluents. Water Research. v.30, n.1, 1996. p.183-189.

BG-ETEM – SEGURADORA DE SEGURANCA NO TRABALHO. Handlungshilfe - Gefährdungsbeurteilung Biogas. Disponível em: [http://ew.bgetem.de/praevention/arbeits\\_gesundheits/gas/handlungshilfe\\_biogas.pdf](http://ew.bgetem.de/praevention/arbeits_gesundheits/gas/handlungshilfe_biogas.pdf)

BIOMASSA & BIOENERGIA. PIB do Agronegócio cresce 1,6% em 2014, chegando a R\$ 1,18 trilhão. Disponível em: < [http://www.biomassabioenergia.com.br/noticia/pib-do-agronegocio-cresce-16-em-2014-chegando-a-r-118-trilhao/20150323184853\\_O\\_156](http://www.biomassabioenergia.com.br/noticia/pib-do-agronegocio-cresce-16-em-2014-chegando-a-r-118-trilhao/20150323184853_O_156)> Acesso em: 30 mar. 2015.

BMU – BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT. Neue Wege zur Prozessoptimierung in Biogasanlage. Leipzig, 2013.

BN UMWELT GMBH. Disponível em: <[www.bn-umwelt.de/](http://www.bn-umwelt.de/)>. Acesso em: 28 nov. 2013.

BNDES – BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Perspectivas do investimento 2015-2018 e panoramas setoriais. Rio de Janeiro: BNDES, 2014. 196 p.

BORGES, E.S.M. Tratamento térmico de lodo anaeróbio a partir da queima do biogás produzido em reator UASB objetivando a higienização e a melhoria da biodisponibilidade e biodegradabilidade da fração orgânica. 254p. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. Tese.

BRASIL. Decreto Federal nº4.954, de 14 de Janeiro de 2004.

BRASIL. Decreto Federal nº 5.163, de 30 de julho de 2004.

BRASIL. Decreto Federal nº 5.177, de 12 de agosto de 2004.

BRASIL. Decreto Federal nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010b.

BRASIL. Instrução Normativa IBAMA nº 10, de 27 de maio de 2013. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2013.

BRASIL. Lei Federal nº 10.848, de 15 de março de 2004.

BRASIL. Lei Federal nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007.

BRASIL. Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010a.



BRASIL. Lei Federal nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980.

BRASIL. Lei Federal nº 9.074, de 07 de julho de 1995.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Brasília, 2009.

BRASIL. Norma Regulamentadora MTE NR-13, de 08 de junho de 1978.

BRASIL. Norma Regulamentadora MTE NR-16, de 08 de junho de 1978.

BRASIL. Norma Regulamentadora MTE NR-20, de 08 de junho de 1978.

BRASIL. Norma Regulamentadora MTE NR-23, de 08 de junho de 1978.

BRASIL. Portaria ANP Nº 32, de 07 de março de 2001. Brasília, 2001.

BRASIL. Portaria Interministerial nº 571, de 05 de dezembro de 2013. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2013.

BRASIL. Resolução ANP Nº 08, de 30 de janeiro de 2015. Brasília, 2015.

BRASIL. Resolução ANP Nº 23, de 3 de agosto de 2012. Brasília, 2012.

BRASIL. Resolução ANP Nº 41, de 06 de novembro de 2013. Brasília, 2013.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 001, de 16 de março de 1988.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 29 de agosto de 2006.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 382, de 26 de dezembro de 2006.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.

BRASIL. Resolução Normativa ANEEL nº 109, de 26 de outubro de 2004.

BRASIL. Resolução Normativa ANEEL nº 390, de 15 de dezembro de 2009.

BRASIL TELEMETRIA [Brasil]. Atmosferas explosivas. Disponível em: <<http://www.brasiltelemetria.com.br/ATEX.aspx>>. Acesso em: 12 ag. 2015.

CARVALHO, Glauco Rodrigues. A Indústria de laticínios no Brasil: passado, presente e futuro. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2010. 12p. [Embrapa Gado de Leite. Circular Técnica, 102]. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/870411/1/CT102.pdf>>. Acesso em 29 abr. 2015.

CAT. Cat CG132 Series Gas Generator Sets, 2012a. Disponível em: <<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/LEBE0015-01>>. Acesso em: 29 nov. 2013.

CAT. Cat CG170 Series Gas Generator Sets, 2012b. Disponível em: <<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/LEBE0017-01>>. Acesso em: 29 nov. 2013.

CAT. Cat CG260 Series Gas Generator Sets, 2012c. Disponível em: <<http://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/LEBE0018-01>>. Acesso em: 29 nov. 2013.

CAT. Cat G3500 Series Gas Generator Sets, 2013. Disponível em: <<http://pdf.cat.com/cda/files/555685/7/lehe1883.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2013.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Guia Técnico Ambiental de Abates [bovino e suíno] - Série P+L. 2006. PACHECO, J. W. F.;

YAMANAKA, H. T. [elaboração]. São Paulo: CETESB, 2006.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Norma Técnica P4.321, Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola São Paulo: CETESB, 2006.

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

COGENCO. Product & Service: Engine Types, 2013. Disponível em: <<http://www.cogenco.com/en/aboutus/productsandservice/engineypes>>. Acesso em: 27 nov. 2013.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 375 de 29 de agosto de 2006. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 ago. 2006.

COPASA - COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. Valorização do esgoto. Disponível em: <<http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=3649&sid=372&tpl=printerview>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

CUMMINS POWER GENERATION. Grupos Geradores a Gás Cummins, 2011. Disponível em: <[http://www.cumminspower.com.br/pdf/CPG\\_015\\_LaminaESB\\_Final\\_Web.pdf](http://www.cumminspower.com.br/pdf/CPG_015_LaminaESB_Final_Web.pdf)>. Acesso em: 29 nov. 2013.

DE GODOY, Lucia Camilo. A logística na destinação do lodo de esgoto. Revista Científica On-line – Tecnologia, Gestão e Humanismo. São Paulo: Fatec Guaratinguetá, v. 2, n. 1, 2013.

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

DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2011.

ESPÍRITO SANTO. Portaria SEAMA nº 01/1994.

FACHVERBAN BIOGAS, 2011. Arbeitshilfe A-003- Checkliste für den Betreiber / Arbeitgeber als Grundlage zum Nachweis des sicheren Betriebes seiner Biogasanlage. Disponível em: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_A-003\\_Checkliste\\_Sicherheit\\_Arbeitshilfe/\\$file/A-003\\_Checkliste%20Sicherheit\\_Arbeitshilfe.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_A-003_Checkliste_Sicherheit_Arbeitshilfe/$file/A-003_Checkliste%20Sicherheit_Arbeitshilfe.pdf)

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. Diagnóstico ambiental das indústrias de abate do Estado de Minas Gerais – atualização. Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades Industriais. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010. 122p.

FERREIRA, Fernando Manuel da Silva. Digestão anaeróbia por via seca, como alternativa ao actual destino agrícola, das lamas desidratadas de etar's – Possibilidade de extensão a vários tipos de resíduos com elevado teor de matéria orgânica. Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009. Dissertação.

FIAT. Portal Vrum - Ficha Técnica: Siena TETRAFUEL 1.4 mpi Fire Flex 8v 4p. Disponível em: <http://www6.vrum.com.br/Autos?tp=VRUM&name=db:FichaTecnica&fabricante=Fiat&modelobase=SIENA&anomodelo=2011&codigo=001241-6> Acesso em: 29 abr. 2015

GASNET. Gás Natural. Disponível em: <>. Acesso em: 29 abr. 2015.

GE ENERGY. Cogeneration Application Considerations, 2009. Disponível em: [http://site.ge-energy.com/prod\\_serv/products/tech\\_docs/en/downloads/GER3430G.pdf](http://site.ge-energy.com/prod_serv/products/tech_docs/en/downloads/GER3430G.pdf). Acesso em: 01 abr. 2015.

GE ENERGY. GAS ENGINES Jenbacher type 4, 2012a. Disponível em: [http://www.ge-energy.com/content/multimedia/\\_files/downloads/ETS\\_E\\_T4\\_12\\_screen.pdf](http://www.ge-energy.com/content/multimedia/_files/downloads/ETS_E_T4_12_screen.pdf). Acesso em: 29 abr. 2015.

GE ENERGY. GAS ENGINES Jenbacher type 6, 2012b. Disponível em: [http://www.ge-energy.com/content/multimedia/\\_files/downloads/ETS\\_US\\_T6\\_12\\_screen.pdf](http://www.ge-energy.com/content/multimedia/_files/downloads/ETS_US_T6_12_screen.pdf). Acesso em: 29 abr. 2015.

GE ENERGY. Jenbacher type 2, 2010. Disponível em: [http://www.ge-energy.com/content/multimedia/\\_files/downloads/jenbacher\\_brochure.pdf](http://www.ge-energy.com/content/multimedia/_files/downloads/jenbacher_brochure.pdf). Acesso em: 28 nov. 2013.

GE ENERGY. Waukesha Gas Engines, APG1000, s.d. Disponível em [http://www.ge-energy.com/content/multimedia/\\_files/downloads/waukesha/8053\\_0811.pdf](http://www.ge-energy.com/content/multimedia/_files/downloads/waukesha/8053_0811.pdf). Acesso em: 29 abr. 2015.

GE POWER & WATER. Jenbacher type 3, 2013. Disponível em <https://www.ge-distributedpower.com/products/power-generation/up-to-5mw/jenbacher-type-3>. Acesso em 28 nov. 2013.

GIZ - DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT GMBH. Guia prático do biogás: Geração e utilização. 5. ed. Gülzow: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. [FNR], 2010. Disponível em: <<http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/l/e/leitfadenbiogas-por-finalweb-20131002.pdf>>. Acesso em: 29 abr. 2015.

GOMES, André Luiz. Análise Técnica e Econômica de Filtro Anaeróbio utilizado para o Tratamento de Efluentes Líquidos de uma Indústria de Laticínios – Estudo de Caso. Minas Gerais: Universidade Federal de Minas Gerais, 2006. Dissertação.

GOMES, Felipe Correia de Souza Pereira. Biometanização Seca de Resíduos Sólidos Urbanos. O Estado da Arte e uma Análise Crítica das Principais Tecnologias. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2010. Dissertação.

GOSWAMI, D. Y.; KREITH, F. Handbook of Energy Conservation and Renewable Energy. CRC Press, 2007.

GUASCOR. Produtos: Gás Natural/Biogás, 2012. Disponível em: <<http://www.guascorpower.com/productos.php>>. Acesso em: 29 nov. 2013.

HOUSE, David. The Complet Biogas Handbook. United States of America: Alternative House Information, 1948.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário [2006]. Disponível em: <[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro\\_2006.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf)>. Acesso em: 29 abr. 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário 2006 - Segunda Apuração. Brasil, Grandes Regiões E Unidades Da Federação. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal: Culturas Temporárias e Permanentes. Rio de Janeiro, v. 37, 2010. 89p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Quantidade de animais abatidos [cabeças] – Brasil. 2015b. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?t=4&z=t&o=24&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1>>. Acesso em: 30 abr. 2015

IBGE. Pesquisa Trimestral do Leite. SIDRA, IBGE, 2015a. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 29 de Abril de 2015

IBP - INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. Comitê do GNV - Estatísticas do setor de GNV. Disponível em: <<http://www.ibp.org.br/main.asp?Team={7D651640-58E4-4A53-926D-AE1B33E98E44}>> Acesso em: 29 abr. 2015.

IEA Bioenergy. The biogas handbook – Science, production and applications. Woodhead Publishing Limited, 2013.

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley [eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. 2013. JBS. Disponível em: <<http://www.jbs.com.br/>>. Acesso em: 26 de jun. de 2015.

IPCC. Guidlines for National Greenhouse Gás Inventories. v. 5, Waste. Kanagawa: IGES, 2006.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas: Relatório de Pesquisa. 2012.

ITAIPU BINACIONAL. Itaipu Binacional. Itaipu integra à frota carro movido a biometano. 2014. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/itaipu-integra-frota-carro-movido-biometano?page=158>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

JOSÉ, H. Combustão e Combustíveis. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/7082689/8/Determinacao-do-Poder-Calorifico>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

KISPERGHER, E.. Digestão Anaeróbia de Efluentes da Indústria de Alimentos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná: 2013.

LETTINGA, G.; VAN VELSEN, A. F. M.; HOBMA, S. W.; DE ZEEUW, W. J.; KLAPWIJK, A. Use of the Upflow Sludge Blanket [USB] Reactor Concept for Biological Wastewater Treatment, Biotechnology and Bioengineering, vol. 22, 1980. p. 699-734.

LOBATO, L.C.S. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2011. Tese.

MAGANHA, M. F. B. Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos – Série P+L. São Paulo: CETESB, 2006. 95p. [1CD]: il.; 21 cm.

MALDANER, T. L. Levantamento das alternativas de minimização dos impactos gerados pelos efluentes de abatedouros e frigoríficos. 2008. Monografia [Especialização em Higiene e Inspeção de Alimentos de Origem Animal]. Universidade Castelo Branco, Brasília, fev. 2008.

MAN ENGINES. Power Gas. Product Range, 2012. Disponível em: <[http://www.man-engines.com/man/media/content\\_medien/doc\\_1/specialsites\\_1/engines/PR\\_PowerGas\\_130423\\_web.pdf](http://www.man-engines.com/man/media/content_medien/doc_1/specialsites_1/engines/PR_PowerGas_130423_web.pdf)>. Acesso em: 28 nov. 2013.

MAPA – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Animal. 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/animal>>. Acesso em: 30/04/2015.

METCALF & EDDY. Wastewater Engineering: Treatment and reuse. 4ª Ed. New York, 2003.

MINAS GERAIS. COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa nº 74, de 09 de setembro de 2004.

MTU ONSITE ENERGY. Products, Biogas and Other Gases, 2013. Disponível em: <<http://www.mtuonsiteenergy.com/products/gas-generator-sets/continuous-power/biogas-and-other-gases>>. Acesso em: 28 nov. 2013.

NGVA - EUROPE NATURAL & BIO VEHICLE ASSOCIATION. NGV Statistics - Worldwide NGVs & Refuelling Stations. Disponível em: <<http://www.ngvaeurope.eu/worldwide-ngv-statistics>>. Acesso em: 29 abr. 2015.

NOGUEIRA, L., ROCHA, C. & NOGUEIRA, F., s.d. Manual Prático - Eficiência Energética em Sistemas de Vapor. Rio de Janeiro: ELETROBAS/PROCEL, [s.d.].

NOYOLA, A., MORGAN-SAGASTUME, J.M.; LÓPEZ-HERNÁNDEZ, J.E. Treatment of biogas produced in anaerobic reactors for domestic wastewater: odour control and energy/resource recovery. Reviews in Environmental Sciences and Bio/Technology, v. 5, p. 93-114, 2006.

PERNAMBUCO. Lei Estadual nº 14.249, de 17 de dezembro de 2010.

PINTO. RE: Info - MTU Reply Biogas series 4000 60 Hz, 2013. Recebido por Jorge.martins@methanum.com em 02 de dezembro de 2013.

POSTEL, J.; SCHUMACHER, B.; LIEBETRAU, J. The administration and performance evaluation of biogas plants in Germany. In: \*The 3rd International Cooperation Conference on Biogas Industrialization in China\*. Deutsches Biomasseforschungszentrum [DBFZ]: Nanjing, China, 2012.

PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico: Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e Aproveitamento de Biogás. Vitória, 2003.

PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico: Pós Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. Vitória, 2001.

RIO DE JANEIRO. Resolução INEA nº32, de 15 de abril de 2011. Diário Oficial do Estado, Rio de Janeiro, RJ, 27 abr. 2011. p. 23-29.

RIO GRANDE DO NORTE. Resolução CONEMA nº 04/2006.

SALOMON, K. R. Avaliação técnico-econômica e ambiental do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para a geração de eletricidade. Itajubá, MG: [s.n], 2007. Tese.

SANTA CATARINA. Resolução CONSEMA nº13, de 21 de dezembro de 2012. Diário Oficial do Estado, Florianópolis, SC, 11 jul. 2013.

SANTOS, Mateus Sales dos. Cervejas e refrigerantes - Série P+L. São Paulo: CETESB, 2005. 58 p.

SCARASSATI, D.; CARVALHO, R. F.; DELGADO, V. L.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; TONSO, S.; SOBRINHO, G. D.; PELEGRINI, R. Tratamento de efluentes de matadouros e frigoríficos. III Fórum de Estudos Contábeis 2003. Faculdades Integradas Claretianas - Rio Claro - SP - Brasil. 2003.

SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE O SANEAMENTO. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto - 2013. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2014. 181 p.: il.

SVK-SACHVERSTÄNDIGENKREIS BIOGAS, 2012. Grundsätze für die Sicherheit von Biogasanlagen. Disponível em: [http://svkbiogas.de/fileadmin/SVK/dokumente/SVKBiogas\\_BGA\\_Sicherheitsregeln.pdf](http://svkbiogas.de/fileadmin/SVK/dokumente/SVKBiogas_BGA_Sicherheitsregeln.pdf)

TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F.L.; STENSEL, H.D. Meltcalf & Eddy, Inc.'s. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse, 4th Edition. McGraw-Hill, 2003.

TENORIO, R. Ipea. Agricultura - Do subsídio à política agrícola. Revista Desafios do Desenvolvimento - Sbs, São Paulo, Ano 8, Edição 68, , 16 out. 2011. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2599:catid=28&Itemid=23](http://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&view=article&id=2599:catid=28&Itemid=23)>. Acesso em: 30 mar. 2015.

U.S DEPARTMENT OF ENERGY. Hydrogen Analysis Resource Center, 2015. Disponível em: <<http://hydrogen.pnl.gov/tools/lower-and-higher-heating-values-fuels>>. Acesso em: 30 mar. 2015.

UNICA - UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol - safra 2013 / 2014. São Paulo: UNICA, 2015. Disponível em: < <http://www.unicadata.com.br/>>. Acesso em: 30 abr. 2015.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. Ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996. 243

## 9

## ANEXO 1 - LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

TABELA 1 - LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL				
Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
1	ABNT NBR 12.207/1992	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Projeto de interceptores de esgoto sanitário - Procedimento.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
2	ABNT NBR 12.208/1992	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Projetos de Estações elevatórias de Esgoto Sanitário - Procedimento.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
3	ABNT NBR 14.461/2000	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Sistemas para Distribuição de Gás Combustível para redes enterradas; Tubos e Conexões de Polietileno PE 80 e PE 100 - Instalação em Obra por método destrutivo (vala a céu aberto), em que se define Biogás como mistura de gases com predominância do Metano e do Gás Carbônico.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
4	ABNT NBR 14.462/2000	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Sistemas para Distribuição de Gás Combustível para redes enterradas - Tubos de Polietileno PE 80 e PE 100 - Requisitos.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
5	ABNT NBR 14.463/2000	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Sistemas para Distribuição de Gás Combustível para redes enterradas - Conexões de Polietileno PE 80 e PE 100 - Requisitos.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
6	ABNT NBR 14.464/2000	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Sistemas para Distribuição de Gás Combustível para redes enterradas - Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Execução de Solda de Topo.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
7	ABNT NBR 14.465/2000	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Sistemas para Distribuição de Gás Combustível para redes - Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Execução de solda por Eletro fusão.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
8	ABNT NBR 14.473/2000	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Reparo ou acoplamento de novo trecho à rede em carga, com utilização do processo de esmagamento [pinçamento].	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
9	ABNT NBR 14.903/2014	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Gás natural - Determinação da composição por cromatografia gasosa.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
10	ABNT NBR 15.526/2012	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais e comerciais - Projeto e execução.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
11	ABNT NBR 15.616/2008	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Odoração do gás natural canalizado.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
12	ABNT NBR 15.631/2008	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Gás natural - Determinação de compostos sulfurados utilizando cromatografia em fase gasosa.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
13	ABNT NBR 15.765/2009	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Gás natural e outros combustíveis gasosos - Determinação do teor de vapor de água por meio de analisadores eletrônicos de umidade.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
14	ABNT NBR 16.302/2014	Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT	Qualificação de pessoas no processo construtivo de Edificações - Perfil profissional do soldador e mantenedor de tubos e conexões de polietileno.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>



TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
15	ABNT NBR 17.505/2013	Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT	Armazenamento de líquidos inflamáveis e combustíveis.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
16	ABNT NBR 5.410/2004	Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT	Instalações elétricas de baixa tensão – Procedimento.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
17	ABNT NBR 9.648/1986	Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT	Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – Procedimento.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
18	ABNT NBR 9.649/1986	Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT	Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
19	ABNT NBRs 14.467/2000, 14.468/2000, 14.469/2000, 14.470/2000, 14.471/2000	Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT	Normas sobre testes laboratoriais para obtenção da qualidade – Conexões de Polietileno PE 80 e PE 100.	<a href="http://www.abntcatalogo.com.br/">http://www.abntcatalogo.com.br/</a>
20	ASTM D1.945/1996	American Society for Testing and Materials – ASTM	Análise de gás natural por cromatografia gasosa.	<a href="http://www.astm.org/">http://www.astm.org/</a>
21	ASTM D5.454/1999	American Society for Testing and Materials – ASTM	Teor de vapor de água de combustíveis gasosos usando analisadores de umidade eletrônicos.	<a href="http://www.astm.org/">http://www.astm.org/</a>
22	ASTM D5.504/2004	American Society for Testing and Materials – ASTM	Determinação de compostos de enxofre no gás natural e os combustíveis gasosos por cromatografia gasosa e quimiluminescência.	<a href="http://www.astm.org/">http://www.astm.org/</a>
23	ASTM D6.228/1998	American Society for Testing and Materials – ASTM	Determinação de compostos de enxofre no gás natural e os combustíveis gasosos por cromatografia gasosa e detecção fotométrica da chama.	<a href="http://www.astm.org/">http://www.astm.org/</a>
24	CONAMA 003/1990	Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA	Padrões para definir pontos críticos de emissão e dispersão de poluentes atmosféricos.	<a href="http://www.mma.gov.br/">http://www.mma.gov.br/</a>
25	CONAMA 237/1997	Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA	Licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras.	<a href="http://www.mma.gov.br/">http://www.mma.gov.br/</a>
26	CONAMA 316/2002	Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA	Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.	<a href="http://www.mma.gov.br/">http://www.mma.gov.br/</a>
27	CONAMA 357/2005	Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.	<a href="http://www.mma.gov.br/">http://www.mma.gov.br/</a>
28	CONAMA 375/2006	Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA	Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências.	<a href="http://www.mma.gov.br/">http://www.mma.gov.br/</a>
29	CONAMA 382/2006	Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA	Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas.	<a href="http://www.mma.gov.br/">http://www.mma.gov.br/</a>
30	Convênio ICMS 112/2008	Legislação Estadual (SP)	Prevê a permissão aos estados de São Paulo e Mato Grosso de isentar o ICMS para atividades envolvendo saídas internas de Biogás e Biometano.	<a href="http://www1.fazenda.gov.br">http://www1.fazenda.gov.br</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
31	Decreto 2.953/1999	Lei Nacional	Dispõe sobre o procedimento administrativo para aplicação de penalidades por infrações cometidas nas atividades relativas à indústria do petróleo e ao abastecimento nacional de combustíveis, e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>
32	Decreto 3.453-R/2013	Legislação Estadual (ES)	Dispõe sobre a Política Estadual de incentivo as energias renováveis, tais como: eólica, solar, biomassa (madeiras, oleaginosas, algas marinhas, resíduos da agropecuária, esgotos domésticos e efluentes industriais, e gases provenientes de aterros sanitários - biometano), e outras fontes renováveis, visando incentivar a produção e o consumo desses energéticos.	<a href="http://www.al.es.gov.br/">http://www.al.es.gov.br/</a>
33	Decreto 4.954/2004	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA	Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências.	<a href="http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao">http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao</a>
34	Decreto 43.216/2011	Legislação Estadual (RJ)	Regulamenta a lei nº 5.690, de 14 de abril de 2010, que dispõe sobre a política estadual sobre mudança global do clima e desenvolvimento sustentável.	<a href="http://www.rj.gov.br/">http://www.rj.gov.br/</a>
35	Decreto 44.844/2008.	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais – SEMAD (MG)	Estabelece normas para licenciamento ambiental e autorização ambiental de funcionamento, tipifica e classifica infrações às normas de proteção ao meio ambiente e aos recursos hídricos e estabelece procedimentos administrativos de fiscalização e aplicação das penalidades. Aplica-se às atividades que dispõem esgoto sanitário e resíduos sólidos urbanos.	<a href="http://www.siam.mg.gov.br/">http://www.siam.mg.gov.br/</a>
36	Decreto 46.296/2013	Legislação Estadual (MG)	Dispõe sobre o Programa Mineiro de Energia Renovável – Energias de Minas – e de medidas para incentivo à produção e uso de energia renovável.	<a href="http://www.almg.gov.br/">http://www.almg.gov.br/</a>
37	Decreto 46.400/2013	Assembleia Legislativa de Minas Gerais (MG)	Altera o Regulamento do ICMS (RICMS), aprovado pelo Decreto nº 43.080, de 13 de dezembro de 2002.	<a href="http://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/legislacao_tributaria/decretos/2013/d46400_2013.htm">http://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/legislacao_tributaria/decretos/2013/d46400_2013.htm</a>
38	Decreto 46.553//2014	Assembleia Legislativa de Minas Gerais (MG)	Altera o Regulamento do ICMS (RICMS), aprovado pelo Decreto nº 43.080, de 13 de dezembro de 2002.	<a href="http://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/legislacao_tributaria/decretos/2014/d46553_2014.htm">http://www.fazenda.mg.gov.br/empresas/legislacao_tributaria/decretos/2014/d46553_2014.htm</a>
39	Decreto 5.025/2004	Lei Nacional	Regulamenta o inciso I e os §§ 1o, 2o, 3o, 4o e 5o do art. 3o da Lei no 10.438, de 26 de abril de 2002, em que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, primeira etapa, e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br">http://www.planalto.gov.br</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
40	Decreto 5.163/2004	Lei Nacional	Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>
41	Decreto 57.042/2011	Legislação Estadual [SP]	Refere-se a benefícios fiscais relativos ao ICMS para atividades envolvendo Biogás e Biometano.	<a href="http://www.legislacao.sp.gov.br">www.legislacao.sp.gov.br</a>
42	Decreto 58.107/2012	Legislação Estadual [SP]	Institui a Estratégia para o Desenvolvimento Sustentável do Estado de São Paulo 2020, e dá providências correlatas. Fomenta o aumento do uso do biogás.	<a href="http://www.al.sp.gov.br/">http://www.al.sp.gov.br/</a>
43	Decreto 58.659/2012	Legislação Estadual [SP]	Institui o Programa Paulista de Biogás e dá providências correlatas.	<a href="http://www.legislacao.sp.gov.br">www.legislacao.sp.gov.br</a>
44	Decreto 59.038/2013	Legislação Estadual [SP]	Institui o Programa Paulista de Biocombustíveis e dá providências correlatas.	<a href="http://www.al.sp.gov.br/">http://www.al.sp.gov.br/</a>
45	Decreto 6.361/2012	Legislação Estadual [RJ]	Dispõe sobre a política estadual de gás natural renovável – GNR, criando a Política Estadual de Gás Natural Renovável, visando incentivar a produção e o consumo de Gás Natural Renovável – GNR e estabelecendo limite de recebimento de GNR a ser recebido pelas concessionárias.	<a href="http://www.rj.gov.br/">http://www.rj.gov.br/</a>
46	Decreto 60.001/2013	Legislação Estadual [SP]	Reduz a base de cálculo para o biogás e biometano de 18% para 12%.	<a href="http://www.al.sp.gov.br/">http://www.al.sp.gov.br/</a>
47	Decreto 60.298/2014	Legislação Estadual [SP]	Introduz alterações no Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação – RICMS.	<a href="http://www.al.sp.gov.br/">http://www.al.sp.gov.br/</a>
48	Decreto 7.382/2010	Lei Nacional	Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, bem como sobre as atividades de tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural.	<a href="http://www.planalto.gov.br">http://www.planalto.gov.br</a>
49	Decreto 7.685/2012	Lei Nacional	Promulga o Acordo entre Brasil e Alemanha sobre Cooperação no Setor de Energia com foco em Energias Renováveis e Eficiência Energética, firmado em Brasília, em 14 de maio de 2008.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>
50	Decreto de 27/1994	Lei Nacional	Cria o Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios - PRODEEM, e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/Anterior%20a%202000/1994/Dnn2793.htm">http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/dnn/Anterior%20a%202000/1994/Dnn2793.htm</a>
51	Deliberação Normativa 02/1990	Conselho de Política Ambiental – COPAM [MG]	Complementa a tabela A-2 do anexo Deliberação Normativa 01/90 referente à classificação de atividade segundo seu potencial poluidor.	<a href="http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8641">http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8641</a>
52	Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH 01/2008	Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM/Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH [MG]	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.	<a href="http://www.siam.mg.gov.br/">http://www.siam.mg.gov.br/</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
53	Deliberação Normativa COPAM 74/2004	Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM (MG)	Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências [atividade: Produção de biogás].	<a href="http://sisemanet.meioambiente.mg.gov.br/">http://sisemanet.meioambiente.mg.gov.br/</a>
54	Instrução Normativa 05/2012	Fundação do Meio Ambiente – FATMA (SC)	Definir a documentação necessária ao licenciamento e estabelecer critérios para apresentação dos projetos e planos ambientais para implantação de sistema de coleta e tratamento de esgotos sanitários de pequeno, médio e grande porte, incluindo tratamento de resíduos líquidos, tratamento e disposição de resíduos sólidos, emissões atmosféricas e outros passivos ambientais.	<a href="http://www.fatma.sc.gov.br/conteudo/instrucoes-normativas">http://www.fatma.sc.gov.br/conteudo/instrucoes-normativas</a>
55	Instrução Normativa 6/2013	Ministério do Meio Ambiente – MMA	Regulamenta o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais - CTF/APP.	<a href="https://servicos.ibama.gov.br/phocadownload/legislacao/in_ctf_app.pdf">https://servicos.ibama.gov.br/phocadownload/legislacao/in_ctf_app.pdf</a>
56	Instrução Normativa MAPA 5/2007	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA	Aprovar as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura.	<a href="http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao">http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao</a>
57	Instrução Normativa MAPA 53/2013	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA	Estabelece as definições, a classificação, o registro e a renovação de registro de estabelecimento, o registro de produto, a autorização de comercialização e o uso de materiais secundários, o cadastro e a renovação de cadastro de prestadores de serviços de armazenamento, de acondicionamento, de análises laboratoriais, de empresas geradoras de materiais secundários e de fornecedores de minérios, a embalagem, rotulagem e propaganda de produtos, as alterações ou os cancelamentos de registro de estabelecimento, produto e cadastro e os procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes e materiais secundários; o credenciamento de instituições privadas de pesquisa; requisitos mínimos para avaliação da viabilidade e eficiência agrônômica e elaboração do relatório técnico-científico para fins de registro de fertilizante, corretivo e biofertilizante na condição de produto novo.	<a href="http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao">http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao</a>
58	Instrução Normativa SDA/MAPA 13/2011	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA	Aprovar as normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura, bem como as relações dos micro-organismos autorizados e recomendados para produção de inoculantes no Brasil.	<a href="http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao">http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
59	Instrução Normativa SDA/MAPA 14/2004	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA	Aprovar as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos substratos para plantas.	<a href="http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao">http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao</a>
60	Instrução Normativa SDA/MAPA 17/2007	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA	Aprovar os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos.	<a href="http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao">http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao</a>
61	Instrução Normativa SDA/MAPA 25/2009	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA	Aprovar as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.	<a href="http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao">http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao</a>
62	Instrução Normativa SDA/MAPA 27/2006	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA	Refere-se às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas, controle de matérias-primas nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados.	<a href="http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao">http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao</a>
63	Instrução Normativa SDA/MAPA 35/2006	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA	Aprova as normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade e de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura.	<a href="http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao">http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao</a>
64	ISO 10.101-1/1993	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural – Determinação da água pelo método de Karl Fischer – Parte 1: Introdução.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
65	ISO 10.101-2/1993	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural – Determinação da água pelo método de Karl Fischer – Parte 2: Procedimento de Titulação.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
66	ISO 10.101-3/1993	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural – Determinação da água pelo método de Karl Fischer – Parte 3: procedimento Coulometric.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
67	ISO 10.715/1997	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural – Orientações de amostragem.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
68	ISO 11.541/1997	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural – Determinação do teor de água em alta pressão.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
69	ISO 18.453/2004	International Organization for Standardization – ISO	Natural gas – Correlation between water content and water dew point.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
70	ISO 19.739/2004	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural – Determinação de compostos de enxofre utilizando cromatografia gasosa.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
71	ISO 6.326-1/2007	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural, determinação de compostos de enxofre – Introdução geral.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
72	ISO 6.326-3/2007	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural – determinação de compostos de enxofre – Parte 3: Determinação do sulfeto de hidrogênio, enxofre mercaptan e sulfureto de carbonilo de enxofre por potenciometria.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
73	ISO 6.326-5/2007	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural – A determinação de compostos de enxofre, Parte 5: método de combustão Lingener.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
74	ISO 6.327/2008	International Organization for Standardization – ISO	Análise de gases – Determinação do ponto de orvalho da água do gás natural.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
75	ISO 6.974-1/2012	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural – Determinação da composição com a incerteza definida por cromatografia gasosa, Parte 1: Diretrizes para análise sob medida.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
76	ISO 6.974-5/2014	International Organization for Standardization – ISO	Gás natural – Determinação da composição com a incerteza definida por cromatografia gasosa, Parte 5: Determinação do azoto, dióxido de carbono e C1 a C5 e C6 + hidrocarbonetos para um laboratório e on-line sistema de medição utilizando três colunas.	<a href="http://www.iso.org">http://www.iso.org</a>
77	Lei 1.048/1996	Câmara Legislativa do Distrito Federal [DF]	Autoriza a utilização de gás natural em veículos rodoviários automotores do Distrito Federal.	<a href="http://www.tc.df.gov.br/SINJ/Arquivo.ashx?id_norma_consolidado=49002">http://www.tc.df.gov.br/SINJ/Arquivo.ashx?id_norma_consolidado=49002</a>
78	Lei 10.438/2002	Lei Nacional	Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético [CDE], dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>
79	Lei 10.848/2004	Lei Nacional	Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica. Considera a energia proveniente de usinas que produzam energia elétrica a partir de fontes eólicas, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, enquadradas na primeira etapa do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA.	<a href="http://www.planalto.gov.br">http://www.planalto.gov.br</a>
80	Lei 11.097/2005	Lei Nacional	Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira; altera as Leis nos 9.478, de 6 de agosto de 1997; 9.847, de 26 de outubro de 1999; e 10.636, de 30 de dezembro de 2002; e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>
81	Lei 11.445/2007	Lei Nacional	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979; 8.036, de 11 de maio de 1990; 8.666, de 21 de junho de 1993; 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm">http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm</a>
82	Lei 11.909/2009	Lei Nacional	Dispõe sobre as atividades relativas ao transporte de gás natural, bem como sobre as atividades de tratamento, processamento, estocagem, liquefação, regaseificação e comercialização de gás natural; altera a Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997; e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
83	Lei 12.187/2009	Lei nacional	Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>
84	Lei 12.305/2010	Lei Nacional	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>
85	Lei 12.490/2011	Lei Nacional	Atribui à ANP a regulamentação e a autorização das atividades relacionadas com a indústria dos biocombustíveis, como produção, importação, exportação, transferência, transporte, armazenagem, comercialização, distribuição, avaliação de conformidade e certificação da qualidade de biocombustíveis.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>
86	Lei 12.771/2003	Assembleia Legislativa do Estado de Santa Catarina [SC]	Dá nova redação ao caput e inclui incisos ao art. 1º da lei Nº 12.200, DE 2002, a qual Dispõe sobre incentivos à geração de energia elétrica alternativa e adota outras providências.	<a href="http://www.leisestaduais.com.br/sc/lei-ordinaria-n-12771-2003-santa-catarina-da-nova-redacao-ao-caput-e-inclui-incisos-ao-art-1o-da-lei-no-12-200-de-2002?q=biog%C3%A1s">http://www.leisestaduais.com.br/sc/lei-ordinaria-n-12771-2003-santa-catarina-da-nova-redacao-ao-caput-e-inclui-incisos-ao-art-1o-da-lei-no-12-200-de-2002?q=biog%C3%A1s</a>
87	Lei 14.549/2011	Legislação Estadual [PE]	Altera a Lei nº 14.249, de 17 de dezembro de 2010, que dispõe sobre licenciamento ambiental, infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, e dá outras providências.	<a href="http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=1&amp;numero=14549&amp;complemento=0&amp;ano=2011&amp;tipo=&amp;url=">http://legis.alepe.pe.gov.br/arquivoTexto.aspx?tiponorma=1&amp;numero=14549&amp;complemento=0&amp;ano=2011&amp;tipo=&amp;url=</a>
88	Lei 18.031/2009	Legislação Estadual [MG]	Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos.	<a href="http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272">http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272</a>
89	Lei 20.824/2013	Lei Estadual [MG]	O Estado de Minas Gerais tem isenção de ICMS no fornecimento de peças, partes, componentes e ferramentas para conexão e de transmissão de eletricidade gerada a partir de biogás. Isenção de ICMS no fornecimento de energia elétrica produzida em usinas geradoras que empregam o biogás como fonte de energia.	<a href="http://www.fazenda.mg.gov.br/">http://www.fazenda.mg.gov.br/</a>
90	Lei 8.987/1995	Lei Nacional	Regulamenta o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previstos no art. 175 da Constituição Federal, e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>
91	Lei 9.478/1997	Lei Nacional	Dispõe sobre a política energética nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
92	Lei 9.847/1999	Lei Nacional	Dispõe sobre a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis, de que trata a Lei no 9.478, de 6 de agosto de 1997, estabelece sanções administrativas e dá outras providências.	<a href="http://www.planalto.gov.br/">http://www.planalto.gov.br/</a>
93	Lei Estadual 13.594/2010	Lei Estadual (RS)	Institui a Política Gaúcha sobre Mudanças Climáticas – PGMC –, fixando objetivos, princípios, diretrizes e instrumentos e dá outras providências.	<a href="http://www.cetesb.sp.gov.br/">http://www.cetesb.sp.gov.br/</a>
94	Lei Estadual 13.798/2009	Lei Estadual (SP)	Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas em São Paulo.	<a href="http://www.ambiente.sp.gov.br/">http://www.ambiente.sp.gov.br/</a>
95	Lei Estadual 17.133/2012	Lei Estadual (PR)	Institui a Política Estadual sobre Mudança do Clima no estado do Paraná.	<a href="http://www.legislacao.pr.gov.br/">http://www.legislacao.pr.gov.br/</a>
96	Lei Estadual 4.797/2012	Lei do Distrito Federal (DF)	Lei que estabelece princípios, diretrizes, objetivos, metas e estratégias para a Política de Mudança Climática no âmbito do Distrito Federal.	<a href="http://www.asselegis.org.br/">http://www.asselegis.org.br/</a>
97	Lei Estadual 5.690/2010	Lei Estadual (RJ)	Institui a política estadual sobre mudança global do clima e desenvolvimento sustentável e dá outras providências.	<a href="http://gov-rj.jusbrasil.com.br/">http://gov-rj.jusbrasil.com.br/</a>
98	Lei Estadual 9.531/2010	Lei Estadual (ES)	Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas no Estado do Espírito Santo, contendo seus objetivos, princípios e instrumentos de aplicação.	<a href="http://www.al.es.gov.br/">http://www.al.es.gov.br/</a>
99	Lei Ordinária 6.894/1980	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA	Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências.	<a href="http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao">http://www.agricultura.gov.br/vegetal/fertilizantes/legislacao</a>
100	NR 06/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Equipamentos de Proteção Individual – EPI.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
101	NR 07/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Programas de Controle Médico de Saúde Ocupacional.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
102	NR 09/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Programas de Prevenção de Riscos Ambientais.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
103	NR 10/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
104	NR 11/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Transporte, Movimentação, Armazenagem e Manuseio de Materiais.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
105	NR 12/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>



TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
106	NR 13/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Caldeiras e Vasos de Pressão.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
107	NR 15/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Atividades e Operações Insalubres.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
108	NR 16/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Atividades e Operações Perigosas.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
109	NR 17/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Ergonomia.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
110	NR 20/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
111	NR 21/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Trabalho a Céu Aberto.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
112	NR 23/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Proteção Contra Incêndios.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
113	NR 24/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais de Trabalho.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
114	NR 26/1978	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Sinalização de Segurança.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
115	NR 33/2006	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
116	NR 35/2012	Normas Regulamentadoras de Segurança e Saúde no Trabalho	Trabalho em Altura (para trabalhos a serem executados a mais de 2 metros de altura).	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
117	Plano Decenal de Expansão de Energia 2023	Ministério de Minas e Energia – MME	Apresenta importantes sinalizações para orientar as ações e decisões, voltadas para o equilíbrio entre as projeções de crescimento econômico do país e a necessária expansão da oferta, de forma a garantir à sociedade o suprimento energético com adequados custos, em bases técnica e ambientalmente sustentáveis.	<a href="http://www.epe.gov.br/">http://www.epe.gov.br/</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
118	Plano Paulista de Energia - PPE 2020	Conselho Estadual de Política Energética - CEPE (SP)	Estabelece políticas públicas e apresenta propostas para prover a demanda por energia no estado de SP, aumentando a participação das fontes renováveis. Aborda diretamente a utilização de biogás.	<a href="http://www.energia.sp.gov.br/">http://www.energia.sp.gov.br/</a>
119	Portaria 01/1994	Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - SEAMA (ES)	Estabelece classificação técnica de atividades potencial ou efetivamente poluidoras ou degradadoras tendo por objetivo seus respectivos enquadramentos para efeito de cobrança das taxas enunciadas na Lei nº 4.861, de 31 de dezembro 1993 e no Decreto nº 3.735-N de 12 de agosto de 1994.	<a href="http://admin.es.gov.br/scripts/adm005_3.asp?cdpublicacao=41754">http://admin.es.gov.br/scripts/adm005_3.asp?cdpublicacao=41754</a>
120	Portaria 3.214/1978	Ministério do Trabalho e Emprego	Regulamenta a Legislação sobre Segurança e Medicina do Trabalho.	<a href="http://portal.mte.gov.br/">http://portal.mte.gov.br/</a>
121	Portaria 81/2014	Ministério do Desenvolvimento Agrário - MDA	Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão, manutenção e uso do Selo Combustível Social.	<a href="http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.o?method=consultarLegislacaoFederal">http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.o?method=consultarLegislacaoFederal</a>
122	Portaria ANP 32/2001	Agência Nacional Do Petróleo, Gás Natural E Biocombustíveis	Regulamenta o exercício da atividade de revenda varejista de Gás Natural Veicular - GNV - em posto revendedor que comercialize exclusivamente este combustível.	<a href="http://anp.gov.br/">http://anp.gov.br/</a>
123	Projeto de Lei 1.845/2012	Projeto de Lei	Cria a Política Estadual de Gás Natural Renovável (GNR).	
124	Projeto de Lei 2.117/2011	Projeto de Lei	Dispõe sobre a criação do Plano de Desenvolvimento Energético Integrado e do Fundo de Energia Alternativa.	<a href="http://www.camara.gov.br/">http://www.camara.gov.br/</a>
125	Projeto de Lei 3.004/2008	Legislação nacional	Dispõe sobre a criação do Programa Nacional de Biogás.	<a href="http://www.camara.gov.br/sileg/integras/544225.pdf">http://www.camara.gov.br/sileg/integras/544225.pdf</a>
126	Projeto de Lei 3.529/2012	Projeto de Lei	Institui a política nacional de geração de energia elétrica a partir da biomassa, estabelece a obrigatoriedade de contratação dessa energia e dá outras providências.	<a href="http://www.camara.gov.br/">http://www.camara.gov.br/</a>
127	Projeto de Lei 3.924/2012	Projeto de Lei	Estabelece incentivos à produção de energia, a partir de fontes renováveis, tarifas para a venda do excedente de energia à rede e dá outras providências.	<a href="http://www.camara.gov.br/">http://www.camara.gov.br/</a>
128	Projeto de Lei 3.986/2008	Projeto de Lei	Altera dispositivos da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, e da Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004, para promover a geração e o consumo de energia de fontes renováveis.	<a href="http://www.camara.gov.br/">http://www.camara.gov.br/</a>
129	Projeto de Lei 6.559/2013	Legislação Estadual (SC)	Proposta em tramitação na Câmara dos Deputados estabelece normas para geração, transporte, filtragem, estocagem e geração de energia elétrica, térmica e automotiva com biogás.	<a href="http://www.camara.gov.br/">http://www.camara.gov.br/</a>
130	Projeto de Lei 7.436/2014	Projeto de Lei	Institui mecanismo para promover a geração renovável descentralizada de energia elétrica (fontes: solar, hidráulica, biomassa incluindo o biogás e eólica) e altera a Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004.	<a href="http://www.camara.gov.br/">http://www.camara.gov.br/</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
131	Resolução 02/2001	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – FEPAM (RS)	Estabelece a alteração dos critérios e os valores de ressarcimento dos custos operacionais e análise do licenciamento ambiental e dá outras providências.	<a href="http://www.sema.rs.gov.br/">http://www.sema.rs.gov.br/</a>
132	Resolução 04/2006	Legislação Estadual (RN)	Estabelece parâmetros e critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor/degradador dos empreendimentos e atividade efetivas ou potencialmente poluidoras ou que, de qualquer forma, possam causar degradação ambiental, para fins estritos de enquadramento visando à determinação do preço para análise dos processos de licenciamento ambiental.	<a href="http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000006179.PDF">http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000006179.PDF</a>
133	Resolução 3.588/2008	Banco Central do Brasil – BCB	Institui, no âmbito BNDES, o Programa de Estímulo à Produção Agropecuária Sustentável e promove ajustes nas normas dos programas de investimento Moderinfra, Moderagro, Moderfrota, Propflora e Prodecoop.	<a href="http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal">http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal</a>
134	Resolução 313/2002	Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA	Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais.	<a href="http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335">http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=335</a>
135	Resolução ANP 23/2012	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	Fica sujeita à autorização prévia da ANP a utilização de biocombustíveis não especificados e de suas misturas com combustíveis e/ou biocombustíveis especificados no país, destinados ao uso experimental ou ao uso específico, caso o consumo mensal seja superior a 10.000 (dez mil) litros.	<a href="http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal">http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=consultarLegislacaoFederal</a>
136	Resolução ANP Lei 16/2012	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP	Fica estabelecida a especificação do gás natural, nacional ou importado, a ser comercializado em todo o território nacional.	<a href="http://www.anp.gov.br/">http://www.anp.gov.br/</a>
137	Resolução ANP Lei 23/2012	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP	Estabelece as condições de aceitação do biometano como biocombustível veicular.	<a href="http://www.anp.gov.br/">http://www.anp.gov.br/</a>
138	Resolução ANP Lei 41/2007	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP	Regulamenta as atividades de distribuição e comercialização de gás natural comprimido (GNC) a Granel.	<a href="http://www.anp.gov.br/">http://www.anp.gov.br/</a>
139	Resolução ANP Lei 41/2013	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP	Estabelece os requisitos para o exercício da atividade de revenda varejista. Ficam estabelecidos os requisitos necessários à autorização para o exercício da atividade de revenda varejista de combustíveis automotivos e a sua regulamentação. Fica definido como Gás Natural Veicular (GNV): mistura combustível gasoso, tipicamente proveniente do GN e biogás, destinada ao uso veicular e cujo componente principal é o metano, observadas as especificações estabelecidas pela ANP.	<a href="http://www.anp.gov.br/">http://www.anp.gov.br/</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
140	Resolução ANP Lei 8/2015	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP	Estabelece a especificação do Biometano de origem nacional oriundo de resíduos orgânicos agrossilvopastoris destinado ao uso veicular e às instalações residenciais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional, bem como as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional.	<a href="http://www.anp.gov.br/">http://www.anp.gov.br/</a>
141	Resolução CONSEMA 13/2012	Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA (SC)	Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental passíveis de licenciamento ambiental no Estado de Santa Catarina e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento. Enquadra empreendimentos cujas atividades são Produção de gás e biogás, assim como, Sistema de coleta e tratamento de esgotos sanitários.	<a href="http://www.sema.rs.gov.br/">http://www.sema.rs.gov.br/</a>
142	Resolução Homologatória 1.807/2014	Agência Nacional De Energia Elétrica – ANEEL	Aprova o Edital do Leilão nº 08/2014-ANEEL e seus Anexos, denominado LER de 2014 ou 6º LER, o qual se destina à contratação de energia de reserva proveniente de empreendimentos de geração a partir de fontes solar fotovoltaica, eólica e biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto, para início de suprimento em 1º de outubro de 2017, e estabelece as TUST e as TUSDg de referência para as centrais geradoras que participarem do aludido certame.	<a href="http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/REH_1807_2014.pdf">http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/editais_geracao/documentos/REH_1807_2014.pdf</a>
143	Resolução INEA 31/2011	Instituto Estadual do Ambiente – INEA (RJ)	Estabelece códigos de atividades adotados pelo INEA para enquadramento de empreendimentos que estão sujeitos ao licenciamento ambiental. Enquadra empreendimentos que coletam ou tratam esgoto sanitário, assim como, utilizam biogás para a geração de energia elétrica.	<a href="http://www.inea.rj.gov.br/">http://www.inea.rj.gov.br/</a>
144	Resolução INEA 32/2011	Instituto Estadual do Ambiente – INEA (RJ)	Estabelece os critérios para determinação do porte e do potencial poluidor dos empreendimentos e atividades, para seu enquadramento nas classes do sistema de licenciamento ambiental (SLAM).	<a href="http://www.inea.rj.gov.br/">http://www.inea.rj.gov.br/</a>
145	Resolução INEA/PRES 64/2012	Instituto Estadual do Ambiente – INEA (RJ)	Dispõe sobre a apresentação de inventário de emissões de gases de efeito estufa para fins de licenciamento ambiental no Estado do Rio de Janeiro.	<a href="http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1925947/DLFE-69832.pdf/ResolucaoInea64.pdf">http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1925947/DLFE-69832.pdf/ResolucaoInea64.pdf</a>
146	Resolução INEA/PRES 65/2012	Instituto Estadual do Ambiente – INEA (RJ)	Dispõe sobre a apresentação de plano de mitigação de emissões de gases de efeito estufa para fins de licenciamento ambiental no Estado do Rio de Janeiro.	<a href="http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1403799/DLFE-58445.pdf/ResolucaoInean65.pdf">http://download.rj.gov.br/documentos/10112/1403799/DLFE-58445.pdf/ResolucaoInean65.pdf</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
147	Resolução Normativa ANEEL 167/2005	Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL	Estabelece as condições para a comercialização de energia proveniente de Geração Distribuída.	<a href="http://www.aneel.gov.br/">http://www.aneel.gov.br/</a>
148	Resolução Normativa ANEEL 390/2009	Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL	Estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para a exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas e de outras fontes alternativas de energia, os procedimentos para registro de centrais geradoras com capacidade instalada reduzida e dá outras providências.	<a href="http://www.aneel.gov.br/">http://www.aneel.gov.br/</a>
149	Resolução Normativa ANEEL 482/2012	Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL	Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.	<a href="http://www.aneel.gov.br">http://www.aneel.gov.br</a>
150	Sistemas de tratamento de esgotos sanitários projeto, implantação e operação da ETE – roteiro do estudo	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB (SP)	Roteiro de estudo para elaboração do projeto de implantação e operação da ETE.	<a href="http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/unificado/pdf/ete_projeto_implantacao_operacao.pdf">http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/unificado/pdf/ete_projeto_implantacao_operacao.pdf</a>
151	Termo de referência para apresentação de estudo de impacto ambiental (EIA) e relatório de impacto ambiental (RIMA) sistema de biometanização de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais – SEMAD	Visa orientar a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) em atividades que são gerados em estações de tratamento biológico de efluentes líquidos compatíveis com os esgotos sanitários.	<a href="http://www.meioambiente.mg.gov.br/">http://www.meioambiente.mg.gov.br/</a>
152	Termo de referência para apresentação de relatório de controle ambiental (RCA) de sistema de biometanização de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica	Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (MG)	Visa orientar a elaboração de Relatório de Controle Ambiental (RCA) do processo de Licença Prévia, para instruir o licenciamento de empreendimentos de biometanização de resíduos sólidos urbanos (RSU) e outros resíduos compatíveis, com capacidade de produção de biogás igual ou inferior a 20.000Nm <sup>3</sup> /d.	<a href="http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/termos_referencia/outubro2010/tr-rca-biometanizacao.pdf">http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/termos_referencia/outubro2010/tr-rca-biometanizacao.pdf</a>

TABELA 1 – LEGISLAÇÕES RELACIONADAS À IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO DE USINAS DE BIOGÁS NO BRASIL

Nº	Identificação	Órgão	Resumo da tratativa	Site
153	Termo de referência para elaboração de estudo de impacto ambiental [EIA] e respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA) para projetos de aproveitamento de biogás de aterro sanitário com geração de energia elétrica	Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (MG)	Visa orientar a elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), em cumprimento às Resoluções CONAMA 001/86, 006/87 e 279/01, Decreto Estadual 44.844/2008 e à Deliberação Normativa COPAM 74/2004, a serem apresentados pelos empreendedores ao Sistema Estadual de Meio Ambiente – SISEMA – para instruir o processo de licenciamento prévio de projetos de recuperação de biogás de aterro sanitário, com aproveitamento energético em planta com capacidade instalada superior a 10MW.	<a href="http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/termos_referencia/outubro2010/tr-eia-biogas.pdf">http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/termos_referencia/outubro2010/tr-eia-biogas.pdf</a>
154	Termo de referência para elaboração de plano de controle ambiental [PCA] para projetos de aproveitamento de biogás de aterro sanitário com ou sem geração de energia elétrica	Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (MG)	Visa orientar a elaboração de Plano de Controle Ambiental [PCA] para instruir o processo de Licença de Instalação de empreendimentos de recuperação e queima de biogás de aterro sanitário com ou sem geração de energia elétrica.	<a href="http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/termos_referencia/outubro2010/tr-pca-biogas.pdf">http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/termos_referencia/outubro2010/tr-pca-biogas.pdf</a>
155	Termo de referência para elaboração de relatório de controle ambiental [RCA] para projetos de aproveitamento de biogás de aterro sanitário com ou sem geração de energia elétrica	Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (MG)	Visa orientar a elaboração Relatório de Controle Ambiental [RCA], em cumprimento à Deliberação Normativa COPAM 74/2004, a ser apresentado pelos empreendedores ao Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SISEMA – para instruir os processos de licenciamento prévio de projetos de recuperação e queima de biogás de aterro sanitário, com ou sem aproveitamento energético.	<a href="http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/termos_referencia/outubro2010/tr-rca-biogas.pdf">http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/termos_referencia/outubro2010/tr-rca-biogas.pdf</a>
156	Termo de referência para elaboração do plano de controle ambiental [PCA] de sistema de biometanização de resíduos sólidos urbanos com geração de energia elétrica	Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM (MG)	Visa orientar a elaboração de Plano de Controle Ambiental [PCA] do processo de Licença de Instalação, para instruir o licenciamento de empreendimentos de biometanização de resíduos sólidos urbanos (RSU) e outros resíduos compatíveis.	<a href="http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/termos_referencia/2012/tr-pca-biometanizacao-versao-2.0.pdf">http://www.meioambiente.mg.gov.br/images/stories/termos_referencia/2012/tr-pca-biometanizacao-versao-2.0.pdf</a>



Por meio da:



MINISTÉRIO DAS  
CIDADES



Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7958-057-4



9 788579 580574

