



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E DESENVOLVIMENTO**  
**SUSTENTÁVEL**

**JUÇARA DE JESUS MONTEIRO DE GALIZA**

**ANÁLISE TÉCNICA E REGULATÓRIA DA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR**  
**DO BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS NO ESPÍRITO SANTO**

**VITÓRIA - ES**

**2016**

**JUÇARA DE JESUS MONTEIRO DE GALIZA**

**ANÁLISE TÉCNICA E REGULATÓRIA DA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR  
DO BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS NO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável.

Orientador: Prof. D.Sc. Adriana Fiorotti Campos

Co-orientador: Prof. Dr. Renato Ribeiro Siman.

**VITÓRIA - ES**

**2016**

## FICHA CATALOGRÁFICA

## ATA DE APROVAÇÃO

## DEDICATÓRIA

*Aos meus amados pais, Léa e Carlinhos (in memorian)*

*Ao meu amor, Fabio.*

*Aos meus irmãos, alicerces da minha vida, Moema, Luana e Junior*

*Ao anjo da minha vida, Kalena.*

*A todos aqueles que partilham da mesma consciência ambiental e sentem o profundo desejo de contribuir para a regeneração do nosso planeta.*

## AGRADECIMENTOS

Ao maior mestre de todos os tempos, Jesus. Imensa gratidão por me confiar este propósito. Aos trabalhadores de tua seara, por me intuírem e guiarem nesta jornada.

Ao meu companheiro, amigo e amor, Fabio, por vivenciar comigo cada fase desta escolha. Obrigada por suportar meu cansaço, choro, ansiedade e todas as coisas terríveis que uma mestranda pode viver nesse período. Sua paciência e amor são parte desta vitória.

A minha família, ampliada à família Dazzi, imensa gratidão pela força, incentivo, compreensão, amparo e amor de sempre.

Aos meus amigos, por compreenderem minha ausência em momentos importantes. Sou muito grata a todos os amigos que acompanharam esta jornada. Alguns, em especial, sentiram mais de perto esta falta e sempre me deram muita força. Por isso, ousou incluir o nome de vocês, quais sejam: Li, Pill, Marcy, Mike, Gustavo, Aline, David, Mona, Leig, Paulinha, Cinthya, Gareth e Marcelinada. Vocês estão no meu coração!

A minha orientadora, Adriana Fiorotti Campos, por acreditar na minha capacidade até quando eu mesma duvidava. Profunda gratidão pelo incansável trabalho de orientação, cujo resultado transcende para além das bases tradicionais da educação.

Ao meu co-orientador, Renato Ribeiro Siman, pela confiança, acompanhamento, disponibilidade, profissionalismo e amizade. Muito obrigada pelos encontros, reflexões e questionamentos que me fizeram enredar pelos campos da engenharia para enriquecer este trabalho.

Ao Dr. Luciano Basto Oliveira, como integrante da Equipe Técnica da EPE, pelas elucidações, acompanhamento e motivação durante a pesquisa. Me sinto honrada por sua participação.

À banca de defesa e qualificação, em especial professora Glícia Vieira, pela disponibilidade, profissionalismo e por todas as contribuições. Muito grata pela honra da sua participação.

Aos professores do programa de mestrado por todo apoio e aprendizado, em especial ao professor Ednilson Felipe, pelas considerações e apoio nos estudos.

Ao professor Arlindo Villaschi do Programa de Pós-graduação em Economia e professora Sônia Dalcomuni do Programa de Pós-graduação em Gestão Pública, ambos por terem me recebido, respectivamente, em suas turmas de Economia Brasileira e Desenvolvimento Sustentável. Sou muito grata pela contribuição e aprendizado.

Ao professor Élcio Alexandre, pelo apoio ao iniciar o curso.

Aos colegas da Equipe Técnica, Eneias Oliveira e Talliana Cardoso, pela contribuição, apoio e principalmente por terem aceitado o desafio de pesquisar sobre o biogás.

Ao grupo Vip (Simone Barni, Giulliana Calmon, Maria Elisa de Freitas, Daniella Amorim, Lygia Wilken e Luciano Fasolo), que além de ajuda inteligente na madrugada me proporcionaram momentos de muitas risadas, companheirismo e força. Imensa gratidão por compartilharem da dor e do prazer de se tornar mestre.

A todos os colegas do mestrado, especialmente Juliana Botelho pela amizade, Luiz Guilherme pelos diversos momentos em que prontamente me socorreu nas dúvidas, Guilherme Fiorot, Fernanda Passamani, Marcos Dalvi Garcia, Gisele Gavazza, Alexandre Araújo e Gustavo Ferreira pelo apoio e amizade.

Aos integrantes do grupo de pesquisa em Regulação do Setor Energético, coordenado pela professora Adriana, do qual também estou inserida, Victor Hugo Alves, Luan dos Santos, Uonis Pagel e Cynthia Scarpati pelas trocas e incentivos.

Aos colegas do Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental (Lagesa) da UFES, em especial Renato Dutra, pela disponibilidade, apoio e auxílio.

À Thaynara dos Santos e demais colaboradores do PPGES, por toda presteza e paciência empregadas no atendimento das minhas solicitações.

Ao Alexandre de Mello Delpupo, servidor da ASPE (agora ARSP), por considerar as nossas horas de estudos, diálogos e reflexões, em reuniões presenciais e por telefone, na ASPE, na AGERH e na UFES, para a dissertação e demais Pesquisadores da Equipe, embora sem a formalização de um termo de Cooperação Institucional entre a UFES e a ARSP. Gratidão por compartilhar seus conhecimentos sob o ângulo de visão de um cientista em física, pela disponibilidade e contribuição.

Ao Claudio Guedes Coelho, colaborador da Marca Ambiental, cujo profissionalismo e amizade foram fundamentais à concretização deste trabalho. Obrigada pelas reuniões, visitas técnicas e, principalmente, por me apresentar na prática todo o conhecimento que estava somente na teoria. A você, minha gratidão.

Ao Sr. Paulo Costa, meu mentor, por me ajudar a descobrir que seria capaz de conquistar este título e qualquer outro mais que queira conseguir. Eterna gratidão.

À Cláudia Pacheco, minha mentora, por me ajudar a ir sempre além e redescobrir meu lugar.

À Luzi, minha gratidão pelo cuidado e carinho que me fizeram fortificar.

À Evellyn Zorzanelli, porque tudo isso começou com você. Que este trabalho também te inspire a buscar a realização que o conhecimento proporciona.

À todos que participaram e contribuíram, de alguma forma, com este trabalho.



## RESUMO

A utilização de biogás proveniente de digestão anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em aterros sanitários para a geração de energia apresenta-se como uma importante opção para diversificar a matriz energética brasileira, além de contribuir para reduzir o impacto dos resíduos sólidos no meio ambiente. Assim, este estudo objetivou estimar o potencial de geração de biogás proveniente dos aterros sanitários do Estado do Espírito Santo a fim de avaliar seu potencial energético para geração de energia elétrica. Adicionalmente, foram analisadas as possibilidades regulatórias de comercialização e uso deste recurso no Brasil e, especialmente, no Espírito Santo e suas macro regiões. Esta pesquisa empregou em sua fase quantitativa a coleta de informações em aterros sanitários em operação e projeção de geração de resíduos para o Espírito Santo para inserção em modelo LandGEM recomendado pela USEPA (2005) para previsão de potencial de geração de biogás. Em sua fase qualitativa de análises regulatórias de comercialização de energia a partir do biogás, utilizou-se pesquisa documental e bibliográfica. Também foram realizadas entrevistas com representantes do setor energético e usinas. Os resultados indicam que a energia disponível para abastecimento no período de 2016 a 2035 é de aproximadamente  $3,17 \times 10^9$  kWh (média anual de 158.687 MWh/ano capaz de atender até 72.996 residências). Pela análise regulatória, percebe-se que este potencial também encontra viabilidade para aplicação em caráter experimental e industrial, assim como para uso dedicado e combustível veicular em frotas cativas. Entretanto, atualmente o marco regulatório nacional inviabiliza a utilização deste recurso para injeção na rede de gás natural (GN).

Palavras-chave: Biogás, Biometano, Recuperação Energética, Regulação.

## **ABSTRACT**

The use of biogas generated from anaerobic digestion of Solid Urban Waste (SUW) in landfills for energy creation reveals itself as an important option for diversifying the Brazilian energetic sources plus reducing the impact of solid waste on the environment. So, this study tried to estimate the potential for biogas generation in the landfills in the state of Espírito Santo aiming to evaluate its energetic potential in the creation of electric energy.

In addition the analysis of regulatory possibilities for commercialization and the use of this resource in Brazil and especially in Espírito Santo and its macro regions. This research used in its quantitative phase the gathering of information on operational landfills and a projection for waste generation for Espírito Santo to be included in Model Land GEM recommended by USEPA (2005) for prevision of biogas generation potential. In its qualitative phase of energy commercialization regulation analysis, was used bibliographical and documental research. We also used interviews with representatives of the energy sector and plants. The results indicate that the available energy for supply in the period from 2016 to 2035 is approximately  $3.17 \times 10^9$  kWh, an annual average of 158,687 mwh/year, capable to attend to 88.160 households. Based on regulatory analysis was noted the feasibility for use in experimental and industrial forms as well as for dedicated use and vehicular fuel in captive fleets. However, in the present time national regulations make it unfeasible the use of this resource in the natural gas (NG) network.

**Keywords:** Biogas, Biomethane, Energetic Recovery, Regulation.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Oferta interna de energia no mundo .....	12
Figura 2 - Oferta interna de energia no Brasil .....	14
Figura 3 - Oferta interna bruta de energia do Espírito Santo.....	15
Figura 4 - Tipos de Biomassa.....	18
Figura 5 - Proporção de energia renovável no consumo final mundial em 2013.....	20
Figura 6 - Proporção da biomassa na matriz elétrica brasileira.....	21
Figura 7 - Caracterização e classificação dos resíduos conforme NBR 10004:2004	28
Figura 8 - Destinação final de RSU no Estado do Espírito Santo (t/dia) .....	34
Figura 9 - Fases de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos .....	41
Figura 10 - Rotas de conversão da biomassa em energia .....	47
Figura 11 - Diagrama com as alternativas de reaproveitamento do biogás .....	48
Figura 12 - Rotas para utilização do biogás de RSU.....	50
Figura 13 - Desenho esquemático do funcionamento de um motor ciclo Otto e ciclo Diesel .....	56
Figura 14 - Desenho esquemático do funcionamento de uma turbina a gás .....	58
Figura 15 - Componentes do sistema da microturbina.....	59
Figura 16 - Governança Regulatória, Eficiência e Desempenho Setorial.....	92
Figura 17 - Estrutura dos setores de energia, saneamento e gás natural .....	98
Figura 18 – Configuração do saneamento básico conforme a LNSB.....	99
Figura 19 - Objetivo da PNRS (2010) e Hierarquia na Gestão dos Resíduos .....	108
Figura 20 - Organograma da ARSP .....	112
Figura 21 - Reforma do Setor Elétrico Brasileiro (Década de 2000) .....	118
Figura 22 – Síntese dos principais mecanismos de comercialização de energias renováveis em alguns países .....	125
Figura 23 - Geração de energia elétrica convencional x Geração Distribuída .....	129

Figura 24 - Possibilidades regulatórias de aproveitamento energético dos RSU ....	132
Figura 25 - Sistema de Compensação de Energia Elétrica.....	139
Figura 26 - Nova configuração estrutural da indústria brasileira de gás natural.....	145
Figura 27 - Comparação da estrutura física de energia elétrica com a de gás no Brasil .....	147
Figura 28 - Competências regulatórias do setor de gás natural .....	148
Figura 29 - Recorte metodológico do objeto de estudo .....	159
Figura 30 – Fluxograma esquemático das fases e atividades propostas para a dissertação .....	160
Figura 31 - Descrição das etapas iniciais da parte técnica .....	161
Figura 32 - Distribuição Municipal do programa Espírito Santo sem Lixão .....	162
Figura 33 - Metodologia da pesquisa quantitativa .....	164
Figura 34 - Sequência de execução metodológica da fase regulatória .....	174
Figura 35 - Metodologia da pesquisa qualitativa .....	176
Figura 36 - Sequência de execução da pesquisa realizada com as UTEs.....	178
Figura 37 - Evolução típica da produção de biogás em aterro sanitário.....	189
Figura 38 – Marcos regulatórios para o biogás de RSU.....	197
Figura 39 – UTEs de RSU beneficiadas com incentivo .....	202

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conceitos de biomassa .....	18
Quadro 2 - Classificação das fontes de biomassa segundo ANEEL .....	19
Quadro 3 - Usinas Termelétricas operando com biogás de RSU no Brasil .....	24
Quadro 4 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem, conforme a PNRS. .....	29
Quadro 5 - Fatores que interferem na migração do gás de aterro .....	42
Quadro 6 - Modelos teóricos para geração de biogás.....	62
Quadro 7 - Planilhas do LandGEM e suas funções.....	67
Quadro 8 - Parâmetros utilizados para estimar a geração de metano em aterros sanitários.....	68
Quadro 9 - Conceitos e objetivos da regulação.....	78
Quadro 10 - Tipos de assimetria no ambiente regulatório.....	89
Quadro 11 - Critérios para o bom desempenho da regulação .....	91
Quadro 12 - Mudanças no Setor Elétrico Brasileiro .....	114
Quadro 13 – Diferenças entre ACL e ACR.....	121
Quadro 14 – Agentes do mercado de energia elétrica .....	122
Quadro 15 - Mudanças ocorridas no setor de gás natural no Brasil.....	142
Quadro 16 - Municípios integrantes da divisão regional do Programa ES sem Lixão .....	163
Quadro 17 – Resumo das informações coletadas na pesquisa <i>Survey</i> .....	177
Quadro 18 – Arcabouço legal para o uso energético a partir de RSU no Brasil.....	196
Quadro 19 - Legislação Estadual do Espírito Santo aplicada aos RSU <i>versus</i> Energia .....	197
Quadro 20 – Possibilidades de aproveitamento do biogás de RSU para geração de energia elétrica.....	200

Quadro 21 – Possibilidades de aproveitamento do biogás de RSU como gás natural	
.....	208

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usinas Termelétricas por tipo.....	22
Tabela 2 - Energia e Potencial por tipo de biomassa no ES (2001 a 2010).....	26
Tabela 3 - Quantidade de RSU gerado por região do Brasil .....	32
Tabela 4 - Quantidade de RSU coletados por regiões do Brasil .....	32
Tabela 5 - Destinação Final de RSU por unidade de destino no Brasil (%) .....	33
Tabela 6 - Coleta e Geração de RSU no Estado do Espírito Santo .....	34
Tabela 7 - Composição gravimétrica estimada dos RSU coletados no Brasil .....	36
Tabela 8 - Composição típica de biogás gerado em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico, aterros sanitários na fase metanogênica e digestores de lodo....	45
Tabela 9 - Tecnologias de conversão .....	52
Tabela 10 - Valores de k sugeridos pelo Banco Mundial conforme precipitação anual. ....	63
Tabela 11 - Valores de $L_0$ em função da degradabilidade do resíduo.....	64
Tabela 12 - Valores de $L_0$ determinantes do potencial de geração de metano .....	70
Tabela 13 - Valores da constante de decaimento k .....	71
Tabela 14 - Valores de k obtido por Ensinas (2003) .....	74
Tabela 15 - Características de aterros sanitários em alguns países .....	76
Tabela 16 - Conceito de consumidor livre em determinadas agências Estaduais...	149
Tabela 17 - RSU dispostos nos aterros sanitários existentes no ES até 2014 em Mg/ano. ....	165
Tabela 18 - Projeção populacional do Espírito Santo calculada com progressão aritmética.....	167
Tabela 19 - Estimativa de geração anual de resíduos em Mg/ano a serem coletados pelos aterros previstos pelo ES sem Lixão.....	168

Tabela 20 - Valores de k e $L_0$ utilizados no LandGEM para a estimativa de geração estadual de biogás e metano. ....	170
Tabela 21 - Valores de poder calorífico de metano.....	171
Tabela 22 - Valores de eficiências (%) e custo (R\$/KW) dos motores, conforme sua potência.....	172
Tabela 23 – Resumo dos parâmetros adotados para o cálculo de geração de energia elétrica.....	173
Tabela 24 - Vazão de metano gerada e possível de ser recuperada, em m <sup>3</sup> /ano. ...	187
Tabela 25 – Energia disponível a partir da geração gás metano estimado.....	190
Tabela 26 - Geração de energia por tonelada de resíduos. ....	191
Tabela 27 - Metano/ano e energia/ano para as Regiões do Espírito Santo Sem Lixão.....	192
Tabela 28 – Objetivos da produção de energia nas UTEs de RSU.....	201



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
1.1	APRESENTAÇÃO .....	7
1.2	OBJETIVOS .....	9
1.2.1	<i>Objetivo Geral.....</i>	9
1.2.2	<i>Objetivos Específicos .....</i>	9
<b>2</b>	<b>PANORAMA ENERGÉTICO.....</b>	<b>10</b>
2.1	ENERGIA: MUNDO, BRASIL E ESPÍRITO SANTO .....	10
2.2	A BIOMASSA DE RSU COMO FONTE RENOVÁVEL NA MATRIZ ENERGÉTICA.....	17
2.3	ENERGIA E POTENCIAL DA BIOMASSA DE RSU NO ESPÍRITO SANTO	25
<b>3</b>	<b>RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU).....</b>	<b>27</b>
3.1	DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO .....	27
3.2	GERAÇÃO DE RESÍDUOS: MUNDO, BRASIL E ESPÍRITO SANTO	31
3.3	COMPOSIÇÃO DOS RSU NO BRASIL .....	35
<b>4</b>	<b>A GERAÇÃO DE ENERGIA COM O BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS.....</b>	<b>37</b>
4.1	ESTADO DA ARTE SOBRE O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS .....	37
4.2	O BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO.....	39
4.2.1	<i>Perda de gás na superfície do aterro .....</i>	42
4.2.2	<i>Composição do biogás de aterro sanitário .....</i>	45
4.3	RECUPERAÇÃO E CONVERSÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS .....	46
4.3.1	<i>Alternativas energéticas .....</i>	47

4.3.2	<i>Energia Elétrica</i> .....	51
4.3.3	<i>Energia Veicular (Biometano)</i> .....	53
4.4	TECNOLOGIAS DO BIOGÁS APLICADAS NO ESTUDO .....	55
4.4.1	<i>Motores de Combustão Interna</i> .....	55
4.4.2	<i>Turbinas</i> .....	57
4.4.3	<i>Microturbinas a gás</i> .....	58
4.5	MODELOS TÉCNICOS PARA PREVISÃO DA GERAÇÃO DE GÁS	60
4.5.1	<i>Metodologia do Banco Mundial</i> .....	63
4.5.2	<i>Metodologia do IPCC</i> .....	64
4.5.3	<i>Metodologia LandGEM (USEPA)</i> .....	65
4.5.3.1	Descrição do Modelo LandGEM.....	66
4.5.3.2	Potencial de geração de metano: Parâmetro L0 .....	69
4.5.3.3	Constante de decaimento: Parâmetro k .....	70
4.5.3.4	Resultados do LandGEM em literatura científica.....	71
<b>5</b>	<b>A REGULAÇÃO ECONÔMICA DOS SETORES DE</b>	
	<b>SANEAMENTO, ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL</b> .....	<b>77</b>
5.1.	ASPECTOS GERAIS DA REGULAÇÃO.....	77
5.1.1.	<i>Monopólio x Monopólio Natural</i> .....	80
5.2.	PRINCIPAIS MOTIVOS DA REGULAÇÃO .....	82
5.3.	ASPECTOS ECONÔMICOS DA REGULAÇÃO .....	84
5.3.1.	<i>Formas de regulação econômica</i> .....	84
5.3.1.1.	<i>Regulação por preço</i> .....	85
5.3.1.2.	<i>Regulação por quantidade</i> .....	87
5.3.1.3.	<i>Regulação por controle de entrada e saída de firmas do mercado</i> .	87
5.3.1.4.	<i>Regulação por qualidade</i> .....	87
5.3.2.	<i>Problemas da regulação</i> .....	88

5.3.3.	<i>Possibilidades de resolução dos problemas da regulação</i> .....	91
5.4.	A REGULAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE INFRAESTRUTURA APLICADOS NO ESTUDO .....	93
5.5.	A REGULAÇÃO NO SETOR DE SANEAMENTO E OS RSU.....	99
5.5.1.	<i>Contexto histórico do setor de saneamento no Brasil</i> .....	101
5.5.2.	<i>Regulação dos RSU por meio da Lei 11.445/2007 e Decreto 7.217/2010</i> .....	103
5.5.3.	<i>Regulação e gestão de resíduos por meio da Lei 12.305/2010</i> ....	106
5.5.4.	<i>Aproveitamento energético dos RSU com base na Lei n° 12.305/2010</i> .....	110
5.5.5.	<i>Regulação no Estado do Espírito Santo</i> .....	111
5.6.	A REGULAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO .....	114
5.6.1.	<i>Principais mudanças regulatórias do Setor Elétrico</i> .....	118
5.6.1.1.	<i>Ambientes de comercialização de energia elétrica no Brasil</i> .....	120
5.6.2.	<i>Comercialização de Energias Renováveis</i> .....	123
5.6.3.	<i>O biogás como fonte de energia elétrica não convencional</i> .....	127
5.6.4.	<i>Regulação e aproveitamento do biogás de RSU para geração de energia elétrica</i> .....	131
5.6.5.	<i>Comercialização no mercado livre e a geração distribuída</i> .....	133
5.6.6.	<i>Comercialização por meio da Autoprodução e Produção Independente</i> .....	135
5.6.7.	<i>O sistema de compensação de energia elétrica</i> .....	137
5.6.8.	<i>O ICMS no sistema de compensação de energia elétrica</i> .....	140
5.7.	A REGULAÇÃO DO SETOR DE GÁS .....	141
5.7.1.	<i>Principais mudanças regulatórias do setor de gás natural</i> .....	144
5.7.2.	<i>Regulação do biogás e biometano no Brasil</i> .....	151
5.7.3.	<i>Regulação do biogás e biometano no Espírito Santo</i> .....	155

<b>6</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>158</b>
6.1	APRESENTAÇÃO GERAL .....	158
6.2	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DA FASE TÉCNICA .....	160
6.2.1	<i>Dados de entrada do modelo matemático.....</i>	<i>164</i>
6.2.1.1	Dados de Entrada 1.....	164
6.2.1.2	Estimativa de coleta municipal de RSU a partir de 2015.....	166
6.2.1.2.1	<i>Projeção populacional .....</i>	<i>166</i>
6.2.2	<i>Geração teórica de biogás .....</i>	<i>169</i>
6.2.3	<i>Conversão de biogás em energia elétrica .....</i>	<i>171</i>
6.3	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DA FASE REGULATÓRIA.....	173
6.3.1	<i>Questionários e entrevistas .....</i>	<i>177</i>
6.4	PREMISSAS E LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	179
<b>7</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>182</b>
7.1	RESULTADOS DA FASE TÉCNICA.....	182
7.1.1	<i>Estimativa de geração de metano até 2015 .....</i>	<i>182</i>
7.1.2	<i>Estimativa de geração de metano a partir do ano 2015 .....</i>	<i>185</i>
7.1.3	<i>Elaboração de cenário com média ponderada de k e L<sub>0</sub>.....</i>	<i>187</i>
7.1.3.1	Vazão de metano em m <sup>3</sup> /h .....	187
7.1.3.2	Geração de energia elétrica .....	189
7.1.3.3	Gerações regionais de metano e energia elétrica .....	192
7.2	RESULTADOS DA FASE REGULATÓRIA.....	195
7.2.1	<i>Viabilidade regulatória de comercialização do biogás de RSU .....</i>	<i>198</i>
7.2.1.1	Aproveitamento do biogás de RSU para geração de energia elétrica 198	
7.2.1.2	Possibilidades de comercialização de energia elétrica no Espírito Santo 205	
7.2.1.3	Aproveitamento do biogás de RSU como gás natural.....	207

7.2.1.4	Possibilidades de comercialização de gás no Espírito Santo .....	210
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>212</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>218</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>237</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>238</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 APRESENTAÇÃO

O Brasil caracteriza-se por apresentar uma matriz energética “limpa” e com capacidade natural para a produção de energia a partir de fontes renováveis não convencionais, como a biomassa de resíduos. A utilização de tais fontes envolve dois objetivos estratégicos principais: incentivar a busca de soluções “limpas” e sustentáveis e diminuir os custos de produção de energia (POTTMAIER et al., 2013; GUERRA et al., 2015). Nesse aspecto, a utilização de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) para a geração de energia apresenta-se como uma importante opção para diversificar a matriz energética brasileira, além de contribuir para reduzir o problema dos RSU (EPE, 2016d).

A inserção deste potencial energético no Planejamento Nacional por meio da nota técnica DEA 13/14 da EPE (2014c) foi o marco para a introdução efetiva do biogás e biometano no Brasil. Este estudo indica que, em decorrência da limitação atual da demanda energética a tendência é o crescimento da participação descentralizada de energia, que inclui o biogás. Em relação ao gás natural, conforme nota técnica citada anteriormente, a expansão das redes de gás, além do aumento do rigor das legislações de forma geral, indicam a estrutura de um cenário que considera um maior aproveitamento energético de resíduos orgânicos, principalmente gasosos.

Neste cenário, o biogás se destaca por ser um recurso energético amplamente flexível no uso, pois pode ser convertido em eletricidade, injetado na rede de gás após tratamento ou usado como combustível. Além disso, também pode ser produzido a partir de vários tipos de resíduos (rurais, industriais, urbanos, etc.), além daqueles resíduos urbanos, objetos deste estudo (OLIVEIRA, HENRIQUES e PEREIRA; 2010; GE et. al.; 2014).

Essa versatilidade na aplicação do biogás indica um grau de descentralização na produção e uso de combustíveis vantajosos, além de ser fator de inovação no setor energético brasileiro. Prova disso é que nos últimos cinco anos, 11 unidades termelétricas que utilizam RSU entraram em operação no Brasil. De acordo com o banco de informações gerenciais da ANEEL (BIG, 2016), as usinas termelétricas que utilizam a biomassa de resíduos para produzir energia somam um total de 15 usinas

no país com capacidade para gerar 113.246 kW. Estas variadas formas de utilização da energia a partir do biogás de RSU já apresentam tecnologias consolidadas, embora ainda pouco empregadas de fato no Brasil e ainda ausentes no Espírito Santo.

Dessa forma, o presente estudo tem a intenção de analisar as variáveis técnicas, bem como aquelas sob influência de regulação específica, tanto em âmbito federal como Estadual, que envolvem a questão, de modo a identificar o potencial de biogás no Espírito Santo e as barreiras e oportunidades regulatórias que indiquem viabilidade no aproveitamento do biogás de RSU, tanto para geração de energia elétrica como para uso como gás natural. Para tal, coube discorrer sobre a regulação e os setores envolvidos na cadeia produtiva do biogás, os quais são: saneamento (RSU), energia elétrica e gás natural.

Assim, este estudo está organizado em oito capítulos, a saber: o Capítulo 1 apresenta a introdução, a justificativa e os objetivos, enquanto o Capítulo 2 apresenta um breve panorama energético que contextualiza a energia proveniente da biomassa de RSU como fonte renovável. O Capítulo 3 apresenta uma revisão bibliográfica sobre os RSU de modo a embasar o início deste estudo. Já o Capítulo 4 apresenta a geração de energia com o biogás de aterros sanitários, de forma a contribuir para o estudo técnico deste energético. O Capítulo 5 inclui a revisão bibliográfica sobre as bases regulatórias que sustentam as argumentações de aproveitamento do biogás de RSU para energia elétrica e sua utilização como gás natural. No Capítulo 6 apresenta-se a metodologia proposta, dividida em duas fases: técnica e regulatória, com as quais se pretende chegar aos objetivos estipulados. Por sua vez, no Capítulo 7 apresentam-se os resultados e discussões deste estudo, os quais correspondem às análises de possibilidades regulatórias de comercialização energética de biogás (nacional e nas macro regiões do Espírito Santo). Por fim, no Capítulo 8 apresentam-se as conclusões e sugestões para estudos futuros.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Apresentar as principais questões (projeções de geração e regulatórias) referentes ao aproveitamento energético do biogás gerado a partir da disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em aterros sanitários no Espírito Santo levando-se em consideração as intervenções propostas no programa *Espírito Santo sem Lixão*.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral supramencionado serão adotados os seguintes objetivos específicos:

- Estimar o potencial Espírito Santense de geração de biogás de RSU dispostos em aterros sanitários empregando modelo LandGEM;
- Estimar o potencial Espírito Santense de geração de energia elétrica a partir de biogás para os RSU em dispostos em aterros sanitários;
- Analisar viabilidade regulatória Espírito Santense para aproveitamento energético do biogás proveniente de aterros sanitários, tanto para geração de energia elétrica como para seu uso como gás natural.



## 2 PANORAMA ENERGÉTICO

Este capítulo aborda conceitos básicos a respeito da energia, tendo como base as matrizes energética e elétrica. Na sequência apresenta-se a definição e classificação da biomassa, inclusive sua importância como fonte de energia renovável. Neste cenário destaca-se a biomassa de RSU, especialmente sua fração orgânica, necessária para geração de biogás, objeto de estudo desta pesquisa. Dentro desse contexto, o biogás de RSU foi destacado como fonte de energia renovável não convencional. O texto também procurou contextualizar brevemente a geração de energia elétrica a partir da biomassa no mundo, apresentando também aplicações práticas, tecnologias, usinas no Brasil e um breve resumo deste recurso no Espírito Santo. A revisão de literatura apresentada neste e nos capítulos subsequentes tem como função dar suporte à compreensão do tema estudado neste trabalho. Tal conhecimento torna-se fundamental para embasar as análises relativas ao aproveitamento do biogás, realizadas mais adiante.

### 2.1 ENERGIA: MUNDO, BRASIL E ESPÍRITO SANTO

O avanço do uso da energia passou por transformações significativas até chegar ao estágio atual. O que norteou essas mudanças foi basicamente a capacidade de transformar e utilizar a energia de forma sistemática. A partir da Revolução Industrial, descobriu-se os benefícios da produção em série e a massificação do consumo de bens, e para tal, a energia foi extremamente necessária para consolidar esse modelo de desenvolvimento (CARAPETO; ALVES; CAEIRO, 1998; CAMPOS, 2016d).

De forma geral, os modelos de crescimento têm a energia como ferramenta estruturante, viabilizadora e propulsora do futuro. A diversidade de fontes energéticas empregadas para sustentar o modelo é denominada de matriz energética (POTTMAIER et al., 2013; KILEBER; PARENTE, 2015).

No contexto energético, devido à diversidade de fontes, costuma-se confundir a ideia de fonte renovável e fonte alternativa. Embora essas terminologias sejam adotadas

como sinônimos possuem diferenças importantes. Assim, cabe estabelecer brevemente alguns conceitos.

A energia, para ser conceituada como renovável, deve ser procedente de fontes naturais cuja capacidade de regeneração a curto e médio prazo seja constante. Do contrário, não são renováveis. Campos e Moraes (2012) afirmam que as fontes renováveis são aquelas que não sofrem alterações perceptíveis (mensuráveis) com a contínua utilização humana, tais como a energia hidráulica, eólica, solar e as biomassas.

As fontes energéticas ainda podem ser consideradas como convencionais ou alternativas. Para Campos e Moraes (2012), a definição de fonte convencional depende do contexto (local, regional, continental ou mundial) no qual está inserida. Todavia, pode-se afirmar que são aquelas utilizadas pela sociedade e inseridas numa estrutura técnica e econômica. Como exemplo de fontes convencionais e não renováveis pode-se mencionar o carvão, o petróleo e o gás natural (de natureza fóssil). No caso da hidroeletricidade, apesar de ser uma fonte renovável, é considerada como convencional no Brasil por ser utilizada em larga escala.

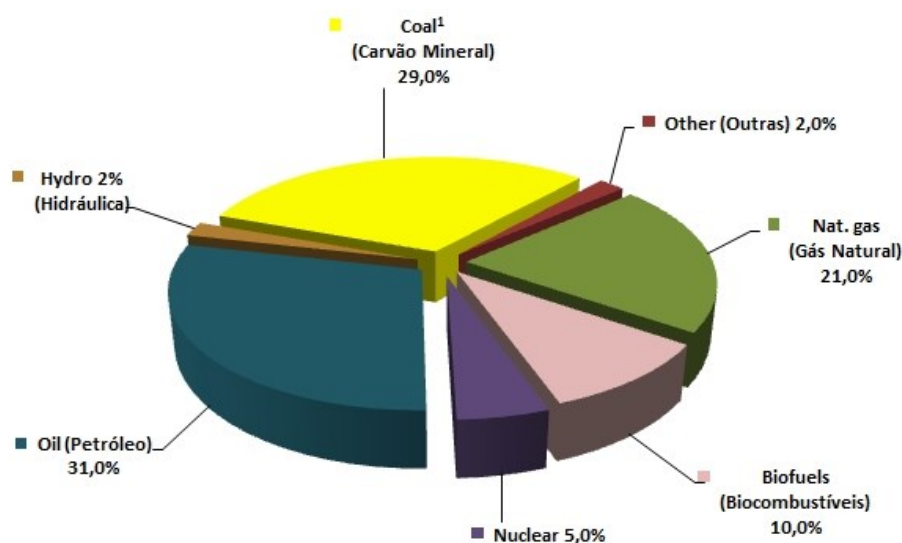
As fontes alternativas são assim denominadas porque podem ser adotadas em substituição a uma fonte convencional. Além disso, a participação destas no mercado costuma ser em pequena escala e possuem uma logística de distribuição mais adequada à geração elétrica de forma descentralizada. Assim, sua utilização se dá de forma complementar às convencionais, uma vez que também são intermitentes e possuem pequena participação na matriz energética (CAMPOS; MOARES; 2012). Dentro desse contexto, o biogás de RSU é um exemplo de fonte de energia renovável não convencional.

Por sua vez, a matriz energética pode ser conceituada como toda a energia que é disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos diversos processos produtivos. Consiste, portanto, numa representação quantitativa da oferta de energia, mais especificamente, da quantidade de recursos energéticos oferecidos por um país (ANEEL, 2008).

O resultado quantitativo relativo à oferta e ao consumo de energia é apresentado nos balanços energéticos, que envolvem as atividades e operações ligadas à exploração e produção de recursos energéticos primários, à conversão em formas

secundárias, às contas de importação e exportação, à distribuição e ao uso final de energia (CAMPOS, 2016d). Como exemplo, o Brasil possui o Balanço Energético Nacional (BEN) e cada Estado também possui o seu balanço correspondente. No Espírito Santo tem-se o Balanço Energético do Estado do Espírito Santo (BEES). Ambos são documentos fundamentais para as atividades de planejamento e acompanhamento do setor energético. Na Figura 1 apresenta-se a matriz energética mundial.

Figura 1 - Oferta interna de energia no mundo



Fonte: Traduzido a partir de IEA (2016a).

Nota: (1) Inclui turfa e xisto betuminoso.

A partir da Figura 1, observa-se que a matriz energética mundial é amplamente dependente de combustíveis fósseis como o petróleo, carvão e gás natural, que juntos representam 81% do total das fontes de energia (IEA, 2016a). Juntamente com a energia nuclear, constituem-se como fontes energéticas primárias. No entanto, não são renováveis e possuem reservas limitadas. A energia proveniente das fontes hidrelétricas, embora seja renovável, encontra-se atualmente em quantidade limitada e de forma concentrada em determinado países. Além disso, de acordo com ANEEL (2008), os maiores potenciais hidráulicos remanescentes localizam-se em regiões com fortes restrições ambientais e distantes de centros consumidores. Nesse aspecto, o uso de fontes renováveis não convencionais tem sido cada vez mais estimulado.

Nesse contexto, a biomassa de resíduos possui um papel importante, pois além de contribuir com aspectos ambientais, é possível produzir energia de forma descentralizada próxima aos centros consumidores e até mesmo em locais onde antes eram desprovidos de energia elétrica. Menciona-se como exemplo um estudo de caso desenvolvido por Pinheiro e outros (2012) em uma comunidade isolada situada em Santo Antônio, no Estado do Pará. A partir do aproveitamento dos recursos naturais existentes na região, como a biomassa de resíduos, constatou-se a possibilidade para implantação de uma pequena usina adequada às condições locais.

Cabe reforçar que o uso de fontes renováveis alternativas também auxilia a reduzir a dependência de combustíveis fósseis, além de prover mais limpeza e segurança das matrizes energéticas. Quanto a isso, para Goldemberg, Coelho e Rei (2002) assim como para Lucon e Goldemberg (2009), a segurança energética desempenha um papel essencial para o desenvolvimento de fontes alternativas de energia. A incerteza relativa às reservas petrolíferas somada ao aumento do preço do petróleo, bem como questões ambientais e sociais, determinam a urgência de se modificar as bases do desenvolvimento econômico e assim alterar a matriz energética mundial.

Nesse cenário, o Brasil se destaca mundialmente porque possui uma das matrizes energéticas mais privilegiadas do planeta. O país conta com mais de 40% da Oferta Interna de Energia (OIE) oriunda de fontes renováveis, enquanto a média mundial é de 13,5%. Nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE)<sup>1</sup> a OIE oriunda de fontes renováveis representa apenas 9,4% (EPE, 2016d). Por esse motivo pode-se considerar que o Brasil possui uma matriz energética “limpa”<sup>2</sup>.

De acordo com as macroaplicações de energia no Brasil, pode-se constatar dois grandes sistemas de energia: o de mobilidade (transporte) de cargas e pessoas e o de fornecimento de energia elétrica para diversos fins. No primeiro sistema predominam os combustíveis líquidos, os derivados de petróleo e uma fração

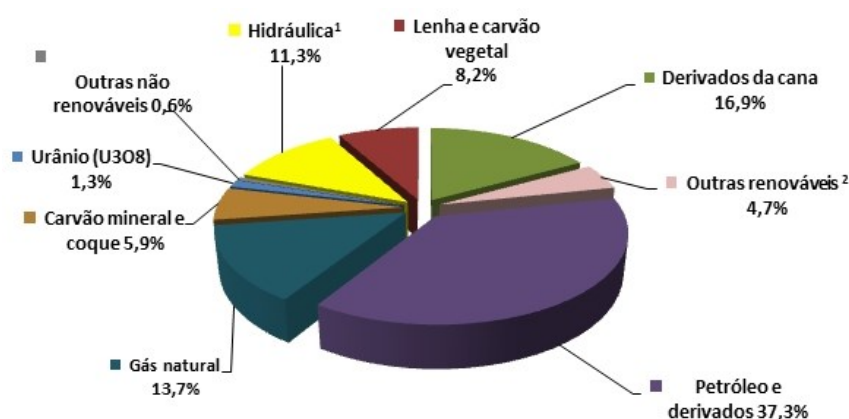
---

<sup>1</sup> Países membros da OCDE: Áustria, Austrália, Alemanha, Bélgica, Chile, Canadá, Coreia, Dinamarca, Estônia, Espanha, Eslovênia, Estados Unidos, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Israel, Itália, Japão, Letônia, Luxemburgo, México, Nova Zelândia, Noruega, Países Baixos, Polônia, Portugal, Suécia, Suíça, República Eslovaca, República Tcheca, Reino Unido, Turquia (OCDE, acesso em 28 out.2016).

<sup>2</sup> O termo "limpa", quando associado à energia, refere-se às fontes de origem renováveis e não poluentes da atmosfera (FOGAÇA, Acesso em 12 de janeiro de 2017).

renovável representada pelo etanol, com recente participação do gás natural. No segundo sistema destaca-se a hidroeletricidade. A soma de ambos os sistemas gera o resultado quantitativo da energia geral consumida no país, ou seja, a matriz energética geral brasileira (KILEBER; PARENTE, 2015; EPE, 2016d). Na Figura 2 pode-se verificar a composição da matriz energética brasileira, conforme apresentado pelo BEN (2016d).

Figura 2 - Oferta interna de energia no Brasil



Fonte: Elaborado a partir de EPE (2016d).

Nota: (1) Inclui importação de eletricidade; (2) Inclui energia eólica, energia solar, geotérmica, residual e outras.

De acordo com Ministério de Minas e Energia do Brasil (MME), a matriz elétrica do Brasil é considerada um subconjunto da matriz energética e apresenta a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) do ano de 2015 em 581,5 TWh (EPE, 2016d). Desse total a fonte hidráulica correspondeu a 64,0% da matriz (EPE, 2016d). Segundo apontado por Silva, Neto e Seifert (2016), a energia hidrelétrica é a espinha dorsal do setor brasileiro de geração de eletricidade. Embora seja uma energia “limpa” em termos de emissões poluentes de gases de efeito estufa, as severas secas dos últimos anos expuseram a fragilidade do país em relação à fonte hídrica. O sistema brasileiro de fornecimento de eletricidade mostrou-se vulnerável à escassez de eletricidade por esta fonte e tal situação tem levado o governo brasileiro a buscar alternativas em outras fontes renováveis a fim superar este desafio.

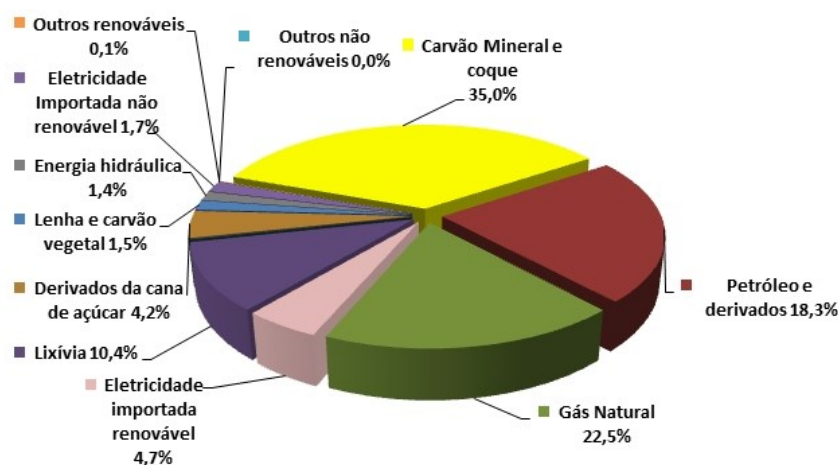
Kileber e Parente (2015) afirmam que apesar de haver diversificação das fontes de energia elétrica no Brasil, o *mix* de eletricidade atual não é necessariamente mais renovável e mais limpo. Para garantir a segurança energética, a termoeletricidade vem suprimindo a hidroeletricidade (em momentos de insuficiência) e com isso surgem

novas preocupações. Se antes os impactos ambientais eram concentrados ao longo de sistemas fluviais, áreas represadas, reservatórios, incluindo fauna e flora e a população ribeirinha, hoje o crescimento da termoelectricidade traz preocupações com a poluição e gases de efeito estufa (GEE).

Neste cenário relativo aos GEE o país até se destaca com índices de emissão favoráveis. Guerra e outros. (2015) inferem que no ano de 2007 o Brasil já estava em uma posição privilegiada na comparação com outros países em termos de índices internacionais de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e). Atualmente, 1,5% das emissões de gases de efeito estufa provêm do setor elétrico no Brasil, sendo que essa percentagem atinge 24% a nível global. Mesmo com índices favoráveis relativos às emissões de CO<sub>2</sub>e, o planejamento energético brasileiro se preocupa em manter uma matriz mais “limpa” e diversificada com o uso de fontes renováveis de energia. Assim, essa prerrogativa estratégica de planejamento também deve estender-se a nível Estadual.

Com relação ao Espírito Santo, a Matriz Energética Estadual apresenta elevada dependência de fontes não renováveis de energia (94%)<sup>3</sup>. O Balanço Energético do Estado do Espírito Santo (BEES), elaborado de acordo com Balanço Energético Nacional (BEN) a partir de metodologia recomendada pela EPE, permite uma visualização da oferta interna de energia na região (ASPE, 2016). A partir da Figura 3, visualiza-se o quadro relativo à matriz local.

Figura 3 - Oferta interna bruta de energia do Espírito Santo



Fonte: ASPE (2016).

<sup>3</sup> Dado disponível no Balanço Energético do Estado do Espírito Santo de 2016, ano base 2015 (ASPE, 2016).

Um estudo sobre as políticas energéticas e climáticas do Espírito Santo realizado por Fiorot (2016) mostrou que ainda existe incoerência entre as estratégias energéticas em níveis federal e estaduais. Segundo o autor, de forma geral, não há estratégia para uma gestão mais sustentável dos recursos a longo prazo. Ao contrário disso, percebe-se que as principais variáveis de decisão do setor estão mais atreladas à parte econômica, associadas a preços de mercado e à disponibilidade de produção. Até mesmo porque a exploração dos recursos na região capixaba é realizada principalmente por empresas privadas, o que limita o controle do Estado à imposição de impostos e recebimento de *royalties*. Fato esse que, segundo Campos (2016d), justifica a urgente necessidade de políticas públicas que incentivem o crescimento de fontes renováveis de energia, a eficiência energética e a conservação de energia no Espírito Santo.

Nesse sentido, Pottmaier e outros (2013) afirmam que o Brasil vem utilizando duas estratégias relacionadas ao setor energético: a primeira é manter a matriz “limpa” e renovável, preservando seu potencial hidráulico; a segunda é promover, conservar e utilizar o uso eficiente da energia, por meio de vários programas governamentais como o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), CONPET (Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados de Petróleo e do Gás Natural), PBE (Programa Brasileiro de Etiquetagem), PNMC (Plano Nacional sobre Mudança do Clima), etc.

Relativo ao Espírito Santo, segundo Campos (2016d), a matriz energética é menos “limpa” se comparada a nacional. Quanto a isso, questões relacionadas aos incentivos a fontes renováveis por meio de políticas públicas foram ampliadas, principalmente com a criação de programas como o ES Energia (Programa Capixaba de Eficiência Energética e Energias Renováveis) e PROENERGIA (Programa Estadual de Eficiência Energética e de Incentivo ao uso de Energias Renováveis). Soma-se a isso a implementação de legislações que demonstram preocupação com as Mudanças Climáticas Globais<sup>4</sup>, a gestão de Resíduos Sólidos<sup>5</sup>, dentre outras.

Tanto para Guerra e outros (2015) como para Rovere e outros (2010), para cumprir essas estratégias e incentivar a geração de energia “limpa”, investimentos

---

<sup>4</sup> Lei nº 9.531/2010, que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas – PEMC.

<sup>5</sup> Lei nº 9.264/2009, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências.

direcionados à energia hidrelétrica e outras fontes renováveis foram intensificados, como por exemplo, a energia proveniente da biomassa.

Historicamente, a utilização da biomassa como fonte de energia foi essencial para a evolução humana, assim como as práticas para a sua obtenção e uso, que também evoluíram simultaneamente, desde a lenha catada para cocção, proteção e aquecimento, até as modernas práticas de produção silvo-agropecuárias e industriais, de transformação e uso de biocombustíveis para geração de calor, força motriz e eletricidade (EPE, 2016b).

Assim, cabe expor a representatividade da biomassa na matriz nacional, em especial a de resíduos sólidos urbanos (RSU) por compor o presente estudo.

## 2.2 A BIOMASSA DE RSU COMO FONTE RENOVÁVEL NA MATRIZ ENERGÉTICA

Alguns pesquisadores como Juárez e outros (2014), Guerra e outros (2015), Sorrell (2015), Shariatzadeh, Mandal e Srivastava (2015), embora apresentem diferentes visões sobre o uso da energia, são unânimes em evidenciar a tendência de crescimento de seu consumo energético. Até mesmo porque a disponibilidade energética traz progresso para a economia e eleva o bem-estar social, sendo, portanto, um insumo indispensável para a humanidade (IDDRISU; BHATTACHARYYA, 2015).

Assim, visando garantir o suprimento da demanda energética, principalmente em grandes centros urbanos, os governos têm buscado diferentes alternativas. Em função disso, a redução da dependência de combustíveis fósseis, assim como a manutenção de sua sustentabilidade, tornaram-se objetivos estratégicos da maioria das cidades no mundo (PINCETL, 2012; SCHELL; CLARO; FISCHBECK, 2015). Deste modo, a geração de energia a partir de fontes renováveis, em especial da fonte biomassa, tornou-se amplamente difundida (ZHENG; PAN, 2014).

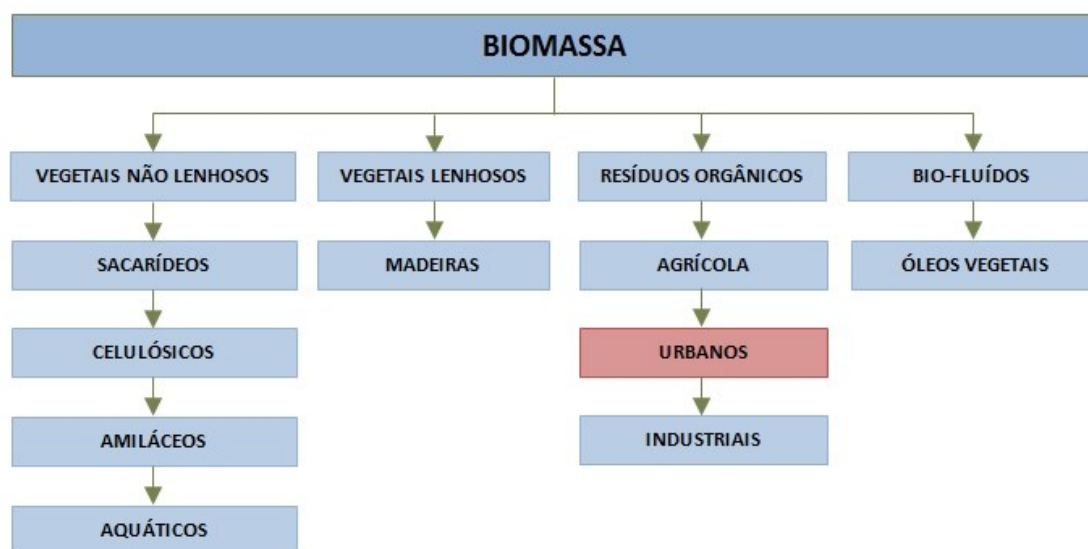
Ao contrário dos recursos energéticos de origem mineral, como o carvão, o petróleo, o gás natural e o urânio, que constituem reservas físicas limitadas, o emprego da biomassa como combustível ocorre devido às diversas atividades urbanas e rurais



como: agricultura, pecuária, atividades florestais e industriais (EPE, 2016a; FORBES et al., 2016; KILPELAINEN et al., 2016; PINHEIRO et al., 2012; SALOMON; LORA, 2009; CHEN; HO, 2015). Assim, decorrentes dessas atividades, pode-se perceber distintos tipos de biomassa, conforme apresentado na Figura 4.

A variedade dos tipos de biomassa também amplia a diversidade de conceitos. No Quadro 1 apresentam-se alguns dos conceitos encontrados.

Figura 4 - Tipos de Biomassa



Fonte: Elaborado a partir de MME (2014).

Quadro 1 - Conceitos de biomassa

CONCEITO	FONTE
Biomassa é todo material orgânico oriundo de plantas, que abrange desde a vegetação na terra (árvores, colheitas) como à base de água (algas), bem como todos os resíduos orgânicos.	(CHEN; HO, 2015)
Biomassa é a energia solar recolhida pelas plantas durante o processo de fotossíntese. Esse processo consiste basicamente na captação do dióxido de carbono e conversão em materiais celulósicos.	(BILGILI; OZTURK, 2015)
Biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, seja de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizado para produção de energia.	(CENBIO, 2016)
Biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica.	(ANEEL, 2008)

Fonte: Elaboração própria.

Hoogwijk e outros (2003) classificam os resíduos de biomassa em: 1) primários, gerados na agricultura e silvicultura; 2) secundários, produzidos em indústrias de alimentos, bebidas, papéis, etc. durante o processo produtivo; 3) terciários, aqueles

resultantes após o uso dos resíduos secundários e correspondem a fração orgânica dos RSU. Assim, como esta pesquisa evidencia os resíduos terciários, no caso os RSU como fonte de energia, obviamente, os assuntos aqui tratados serão aqueles que utilizam esse tipo de biomassa.

Como para este trabalho será adotado o conceito de biomassa utilizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), a classificação das fontes desse recurso também será aquela adotada por esse órgão. No Quadro 2 apresenta-se a classificação das fontes de biomassa segundo a ANEEL.

Quadro 2 - Classificação das fontes de biomassa segundo ANEEL

ORIGEM	FONTE NÍVEL 1	FONTE NÍVEL 2
<b>BIOMASSA</b>	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar; Biogás-AGR; Capim Elefante; Casca de Arroz.
	Florestas	Lixívia; Lenha; Gás de Alto Forno; Biomassa Resíduos Florestais; Carvão Vegetal; Biogás - Floresta.
	<b>Resíduos Sólidos Urbanos</b>	<b>Biogás - RU</b>
	Resíduos Animais	Biogás - RA
	Biocombustíveis Líquidos	Etanol; Óleos Vegetais.

Legenda: RU (Resíduos Urbanos); RA (Resíduos Animais).

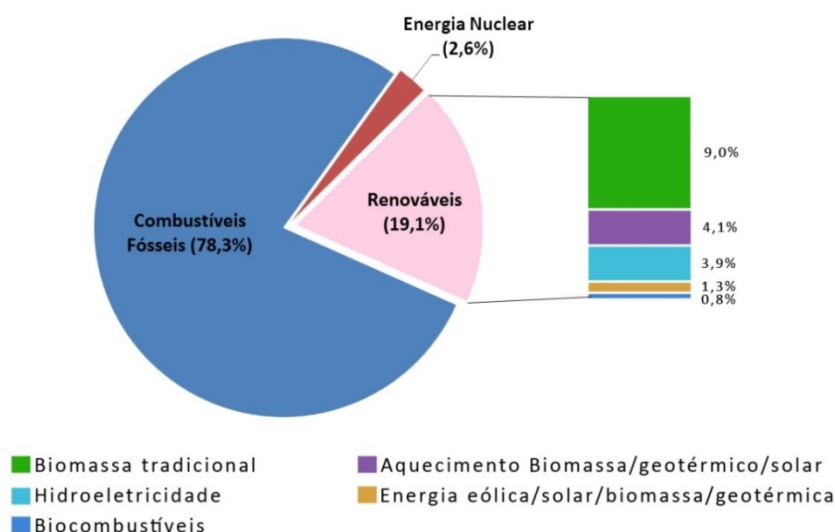
Fonte: ANEEL – BIG (2016).

Dentre as fontes apresentadas no quadro 2 destacou-se para esta pesquisa o grupo de resíduos sólidos urbanos (RSU), aqui considerada a partir dos rejeitos orgânicos dispostos em aterros sanitários, pela geração de biogás.

Diversos pesquisadores como Hoogwijk e outros (2003), Faaij (2006), Smeets e outros (2007), Dutra e Szklo (2008), Sikkema e outros (2014), Bilgili e Ozturk (2015), Chen e Ho (2015), Ahmed, Uddin e Sohag (2016), Forbes e outros (2016), confirmam que a energia da biomassa, pelo fato de ser renovável, tem sido aceita como uma fonte alternativa de energia promotora do crescimento e do desenvolvimento sustentável em todo o mundo.

Nesse aspecto, a intensificação no desenvolvimento e implementação de fontes alternativas de energia provocou uma alteração na matriz energética mundial, a qual passou a inserir de maneira mais significativa as fontes renováveis. No ano de 2013, as fontes renováveis correspondiam a 19,1% do consumo final de energia mundial, dos quais a biomassa tradicional representou 9% e os biocombustíveis representaram 0,8%, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 - Proporção de energia renovável no consumo final mundial em 2013



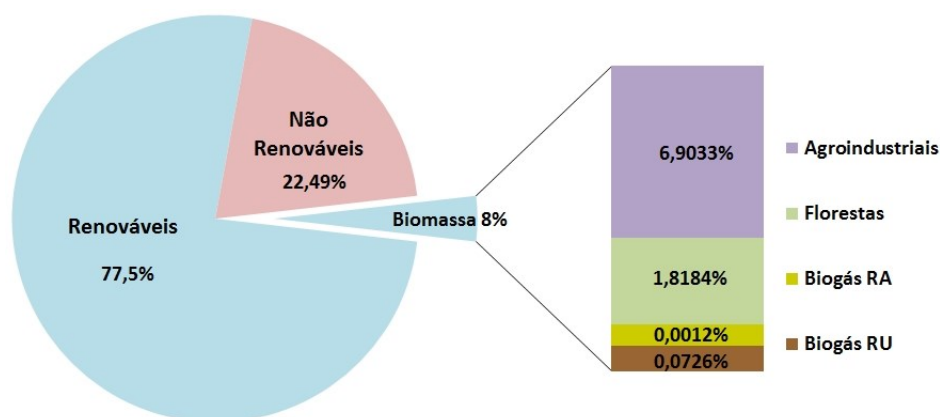
Fonte: Elaborado a partir de VEIGA (2016).

Faij (2006) afirma que a biomassa é uma das fontes de energias renováveis capaz de realizar uma grande contribuição para o abastecimento de energia mundial. Embora o real papel da bioenergia dependa de competitividade com os combustíveis fósseis e fatores políticos em todo o mundo, espera-se que sua contribuição evolua cada vez mais neste século. Para Lebre e outros (2010), do ponto de vista socioeconômico, a exploração de fontes renováveis de energia possui o objetivo de fazer o melhor uso da energia local, utilizando as principais características da região. Para Oliveira, Henriques e Pereira (2010), assim como para Ge e outros (2014), a abundância de biomassa em ambientes favoráveis como no Brasil torna esta fonte renovável extremamente promissora. Segundo o BEN (2016), considerando-se como referência a energia elétrica no Brasil, cuja base sustenta o modelo de crescimento atual, o indicador de fontes renováveis do país é bem elevado, correspondente a 75,5% da oferta interna de eletricidade. Desse total, a biomassa é responsável por cerca de 8% da energia elétrica nacional e de acordo com a EPE (2016b) vem apresentando grande potencial prospectivo<sup>6</sup>. Neste trabalho, evidenciou-se a

<sup>6</sup> O cálculo de sua oferta potencial relacionado à geração centralizada (modelo convencional de produção de energia a partir de grandes centrais) pode atingir 380 TWh, o que representa 51.000 MW de capacidade. Na forma de geração distribuída (produção de energia por meio de pequenas centrais situadas junto ou próximas dos consumidores) a capacidade pode chegar a 67 TWh, o que significa 9.000 MW de capacidade (com fator de capacidade de 85%) até o ano de 2050 (EPE, 2016b).

biomassa de RSU, caracterizada pela sua fração orgânica, que uma vez disposta em aterros torna-se geradora do biogás, um combustível amplamente versátil para fins energéticos. Na Figura 6 destaca-se a representatividade da biomassa na matriz elétrica brasileira, na qual o biogás de RSU é responsável por 0,0726%.

Figura 6 - Proporção da biomassa na matriz elétrica brasileira



Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL/BIG (2016).

Nota: RU (Resíduos Urbanos); RA (Resíduos Agroindustriais).

De acordo com a EPE (2016a), a principal biomassa empregada para geração elétrica no Brasil é o bagaço de cana. Por isso nota-se a grande proporção na matriz elétrica (6,90%)<sup>7</sup>.

No caso do Biogás, Bley Jr. (2015) aponta que os setores de produção de alimentos e sucroalcooleiro juntos, possuem um potencial de produção de 20 bilhões de m<sup>3</sup>/ano de biogás. Neste campo, a Abiogás (2015) realizou um estudo para levantar a estimativa de potencial energético do biogás e biometano no Brasil, cujo resultado foi de 23 bilhões de m<sup>3</sup>/ano. Desse total, 12 bilhões de m<sup>3</sup>/ano provém de cana-de-açúcar, 8 bilhões de m<sup>3</sup>/ano de alimentos e 3 bilhões de m<sup>3</sup>/ano de resíduos. Esse montante equivale a cerca de 11 milhões de tep<sup>8</sup> ao ano, ou 12 bilhões de litros equivalente de diesel ao ano (ABILOGÁS, 2015). Godoi (2016) acrescenta que esse potencial estimado de biogás poderia suprir 12% da matriz energética do Brasil, o que representa a produção de 37 milhões de MWh. Nesse aspecto, a biomassa é considerada "uma fonte renovável de energia que pode ser produzida em escala

<sup>7</sup> A quantidade de energia elétrica gerada com a utilização de outras fontes de biomassa agroindustriais é menos representativa. Verificar na Tabela 2 a casca de arroz (0,0290%) e o capim elefante (0,0421%) como exemplo.

<sup>8</sup> Tonelada equivalente de petróleo (tep).

suficiente para desempenhar um papel expressivo na matriz energética nacional" (EPE, 2016b, p.189).

Em 2016, o biogás proveniente da biomassa de RSU reuniu um total de 15 usinas termelétricas, com capacidade instalada de 113.246 kW. Neste setor, a produção de energia em usinas agroindustriais com o bagaço da cana lideraram em quantidade, com 395 plantas e potência instalada de 10.756.760 kW. Na Tabela 1, apresenta-se a Matriz de Energia Elétrica brasileira, com evidencia nas usinas termelétricas por tipo de fonte.

Apesar do biogás de RSU apresentar-se com uma pequena parte do total de produção de energia elétrica (0,0726%), atualmente representa uma importante fonte para diversificar a matriz energética brasileira. Embora ainda incipiente, esse potencial tem crescido<sup>9</sup> cada vez mais, principalmente pela importância da bioenergia na matriz energética nacional. Além disso, Salomon e Lora (2009) reforçam que a recuperação do biogás de RSU, além de prover o aumento da geração de energia, também reduz impactos ambientais e contribui para melhorar as condições do sistema de saneamento como um todo no país.

Tabela 1 - Usinas Termelétricas por tipo

(Continua)

Tipo			Usinas Termelétricas		
			Nº Usinas	Capacidade Instalada (kW)	%
Origem	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2			
Biomassa	Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	395	10.756.760	6,9033%
		Biogás - AGR	3	1.822	0,0011%
		Capim Elefante	3	65.700	0,0421%
		Casca de Arroz	12	45.333	0,0290%
	Biocombustíveis Líquidos	Óleos vegetais	2	4.350	0,0027%
		Carvão Vegetal	8	54.097	0,0347%
	Florestas	Gás de Alto Forno - Biomassa	10	114.265	0,0733%
		Lenha	2	14.650	0,0094%

<sup>9</sup> Ao considerar uma produção de 141.700 toneladas por dia de resíduos sólidos urbanos e uma taxa de 50 Nm<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> por tonelada de RSU enviado para aterros sanitários regulamentados, é possível estimar que o Brasil possua um potencial de cerca de 660 MW de energia elétrica, considerando 30% de eficiência na conversão de energia (LEME et al., 2014).

Tabela 1 - Usinas Termelétricas por tipo

(Conclusão)

			Usinas Termelétricas <sup>1</sup>			
Tipo			Nº Usinas	Capacidade Instalada (KW) <sup>2</sup>	%	
Origem	Fonte Nível 1	Fonte Nível 2				
<b>Biomassa</b>	Resíduos Animais	Biogás - RA	10	1.924	0,0012%	
	<b>Resíduos Sólidos Urbanos</b>	<b>Biogás - RU</b>	<b>15</b>	<b>113.246</b>	<b>0,0726%</b>	
<b>Fóssil</b>	Carvão Mineral	Calor de Processo - CM	1	24.400	0,0156%	
		Carvão Mineral	13	3.389.465	2,1752%	
		Gás de Alto Forno - CM	9	199.130	0,1277%	
	Gás Natural	Calor de Processo - GN	1	40.000	0,0256%	
		Gás Natural	152	12.998.611	8,3420%	
	Outros Fósseis	Petróleo	Calor de Processo - OF	1	147.300	0,0945%
			Gás de Refinaria	7	339.960	0,2181%
		Óleo Combustível	40	4.055.973	2,6029%	
		Óleo Diesel	2.149	4.672.803	2,9988%	
		Outros Energéticos do Petróleo	17	955.928	0,6134%	
<b>Hídrica</b>	Potencial Hidráulico	Potencial Hidráulico	1224	95.622.078	61,366%	
<b>Nuclear</b>	Urânio	Urânio	2	1.990.000	1,2771%	
<b>Solar</b>	Radiação Solar	Radiação Solar	40	22.962	0,0147%	
<b>Eólica</b>	Cinética do Vento	Cinética do Vento	384	9.368.830	6,0125%	
<b>Importação</b>				8.170.000	5,2455%	
<b>Total</b>			<b>4568</b>	<b>155.820.248</b>	<b>100,0%</b>	

Fonte: ANEEL – BIG (2016).

Nesse aspecto, alguns empreendimentos no Brasil apresentam-se como uma opção viável e confirmam ganhos econômicos e ambientais, associados à visão de sustentabilidade e valorização dos resíduos. Até o final de 2016, das 15 Usinas Termelétricas (UTES) presentes na Tabela 1, sete estão localizadas no Estado de São Paulo, quatro em Minas Gerais e as demais estão situadas na Bahia, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. A maior parte dessas usinas começou a operar recentemente. Só nos últimos cinco anos 11 unidades entraram em operação. O Quadro 3 apresenta as usinas mencionadas, organizadas em ordem crescente por potência instalada.

Quadro 3 - Usinas Termelétricas operando com biogás de RSU no Brasil

USINA	PROPRIETÁRIO	LOCAL	ANO DE OPERAÇÃO	POTÊNCIA (kW)	DESTINO
Sao Joao Biogás	Sao Joao Energia Ambiental S.A.	São Paulo - SP	2008	24.640 kW	PIE
Termoverde Caieiras	Termoverde Caieiras Ltda	Caieiras - SP	2016	29.547	PIE
Termoverde	Termoverde Salvador S.A.	Salvador - BA	2010	19.730	PIE
Biotérmica Recreio	BioTérmica Energia S.A	Minas do Leão - RS	2015	8.556	PIE
Guatapar	Guatapar Energia S.A	Guatapar - SP	2014	5.704	PIE
Bandeirantes	Biogas Energia Ambiental S.A	São Paulo - SP	2014	4.624	REG
Asja BH	Consortio Horizonte Asja	Belo Horizonte - MG	2010	4.278	REG
CTR Juiz de Fora	Valorgas - Energia e Biogas Ltda	Juiz de Fora - MG	2013	4.278	REG
Curitiba Energia	Curitiba Energia SPE Ltda	Fazenda Rio Grande - PR	2016	4.278	REG
Tecipar	Tecipar Engenharia e Meio Ambiente LTDA	Santana - SP	2015	4.278	REG
Uberlândia	Energas Gerao de Energia Ltda	Uberlândia - MG	2011	2.852	REG
Arrudas	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	Belo Horizonte - MG	2011	2.400	REG
Ambient	Ambient Serviços Ambientais de Ribeirão Preto S.A	Ribeirão Preto - SP	2011	1.500	REG
Itajaí Biogás	Itajaí Biogás e Energia S.A.	Itajaí - SC	2013	1.065	REG
Energ-Biog	Biomass Users Network do Brasil	Barueri - SP	2002	30	REG

Fonte: Elaborado a partir de ANEEL – BIG (2016).

Nota: PIE (Produtor Independente de Energia); REG (usinas sujeitas a Registro).

Conforme pode ser percebido no Quadro 3, das UTEs atuais cadastradas no BIG (Banco de Informaoes de Gerao) da ANEEL, 66,66% estão como REG, reunindo um total de dez usinas nesta categoria. De acordo com a EPE (2016b), esta divisão “REG” indica que são usinas sujeitas  Registro, com capacidade reduzida de produo, ou seja, até 1MW para hidráulicas e até 5MW para as demais fontes, incluindo o biogás de RSU. Assim, a usina pode gerar energia para consumo próprio ou pode vender no mercado livre, conforme seu interesse e possibilidade. O percentual de 33,33% restantes, corresponde  categoria PIE (Produtor

Independente de Energia Elétrica), que representa um total de cinco empreendimentos cadastrados. Nesta divisão, a pessoa jurídica ou um conjunto de empresas reunidas em consórcio recebem concessão ou autorização do poder concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco.

Os benefícios desse processo vão muito além do aspecto de tratamento adequado dos resíduos, uma vez que eles tornam-se matéria prima para as usinas termoelétricas (ZGLOBISZ et al., 2010). Assim aplicado, é possível obter ganhos econômicos, ambientais e sociais. Até mesmo porque, na visão de Piechota, Ski e Buczkowski (2013), os preços ainda elevados e os recursos limitados de combustíveis fósseis, em conjunto com o progresso tecnológico, tornam a utilização do biogás como uma boa maneira de produzir energia verde, barata e “limpa”.

Desta forma, o estudo atual contemplará dois tipos de aplicações do biogás de RSU, tanto para geração de energia elétrica como combustível. Assim, embora o viés econômico também seja importante, buscar-se-á enfatizar mais adiante as questões técnicas e regulatórias que envolvem o setor. Optou-se por esta forma porque mesmo quando há viabilidade econômica de um empreendimento do tipo, tanto o viés técnico quanto o regulatório podem inviabilizar o negócio e, portanto, são imprescindíveis nas decisões de investimento.

Com relação à biomassa no Estado do Espírito Santo, há que se evidenciar o interessante potencial energético, especialmente a partir de RSU. Na sequência, apresenta-se brevemente o potencial capixaba da biomassa na região.

### 2.3 ENERGIA E POTENCIAL DA BIOMASSA DE RSU NO ESPÍRITO SANTO

Com o intuito de incentivar a utilização da biomassa para fins energéticos, a Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo (ASPE)<sup>10</sup>, elaborou no ano de 2013, o Atlas de Bioenergia do Espírito Santo, o qual aponta os recursos mais importantes para reaproveitamento energético da biomassa local. Segundo a

---

<sup>10</sup> Conforme a Lei Complementar nº 827/2016, a ASPE agora é ARSP (Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo) responsável por regular e fiscalizar tanto os serviços de energia elétrica e gás natural como de abastecimento, esgotamento sanitário e infraestrutura viária.



agência, o potencial de toda essa biomassa foi calculado e estimado em 540 MW. Existem alguns exemplos de sucesso dessa atividade no Espírito Santo, localizados em pequenas centrais onde o biogás é produzido por meio do tratamento de dejetos de animais das fazendas, o qual é utilizado para gerar energia elétrica e aquecer as granjas. Na Tabela 2 estão apresentados os resultados dessa pesquisa sobre o potencial da biomassa no Estado do Espírito Santo.

Tabela 2 - Energia e Potencial por tipo de biomassa no ES (2001 a 2010)

<b>Tipo de Biomassa</b>	<b>Quantidade produzida em [toneladas]</b>	<b>Energia por tipo de biomassa em [MWh]</b>	<b>Potencial por tipo de biomassa em [MWh]</b>	<b>Energia por tipo de biomassa em %</b>	<b>Potencial por tipo de biomassa em %</b>
Lavoura Temporária	4.312.179	139.827	24	3,20%	4,40%
Lavoura Permanente	854.202	110.941	13,1	2,60%	2,40%
Silviculturas	1.851.203	755.922	90,8	17,40%	16,80%
Efluentes animais * (cabeças)	17.604.726	3.104.371	373	71,50%	69,10%
Efluentes domésticos e comerciais (habitantes)	3.392.775	64.310	18,5	1,50%	3,40%
<b>RSU* (habitantes)</b>	<b>3.392.775</b>	<b>168.237</b>	<b>20,2</b>	<b>3,90%</b>	<b>3,70%</b>
<b>Biomassa total</b>		<b>4.343.608</b>	<b>539,7</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Fonte: Adaptado a partir de ASPE (2013).

Nota: \* dados IBGE 2000 a 2009; RSU (Resíduos Sólidos Urbanos).

De acordo com dados da ASPE (2013), “o Espírito Santo possui uma estimativa de emissão de metano em 20 MW” (ASPE, 2013, p. 60). As regiões com o maior potencial de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos são: Vila Velha, Serra, Cariacica e Vitória, com potencial de 1.079 a 2.347 KW. A partir da Tabela 2 é possível perceber que os resíduos sólidos urbanos possuem um percentual significativo para geração de energia. A representatividade de 3,70% do potencial da biomassa de RSU equivale ao abastecimento de 12.518 residências consumindo 280 kWh/mês. Cabe salientar que o presente estudo irá contribuir na atualização desses dados a partir do cálculo do potencial atual, que será apresentado mais adiante.

### 3 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Este capítulo apresenta a definição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), bem como sua classificação e aplicação dos conceitos relacionados no presente estudo. O texto também aborda brevemente a geração de resíduos no mundo, contextualizando com a geração no Brasil e Espírito Santo. Além disso, o capítulo também discorre sobre a recuperação energética do biogás de RSU, evidenciando os produtos alcançados a partir desta atividade assim como alguns usos no país.

#### 3.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

A Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em seu artigo 3º, inciso XVI, define resíduos sólidos como:

[...] material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010c, p. 1).

Dutra (2016) explica que, devido à grande variedade de resíduos sólidos existentes, fez-se necessária sua classificação agrupando os resíduos com características afins, de forma a tornar mais fácil a sua gestão e seu gerenciamento. A NBR nº10.004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classifica os resíduos em duas classes (perigosos e não perigosos) considerando os seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. A PNRS, além de classificar quanto à periculosidade, também classifica os resíduos sólidos quanto a sua origem, segundo artigo 13 da PNRS (BRASIL, 2010c).

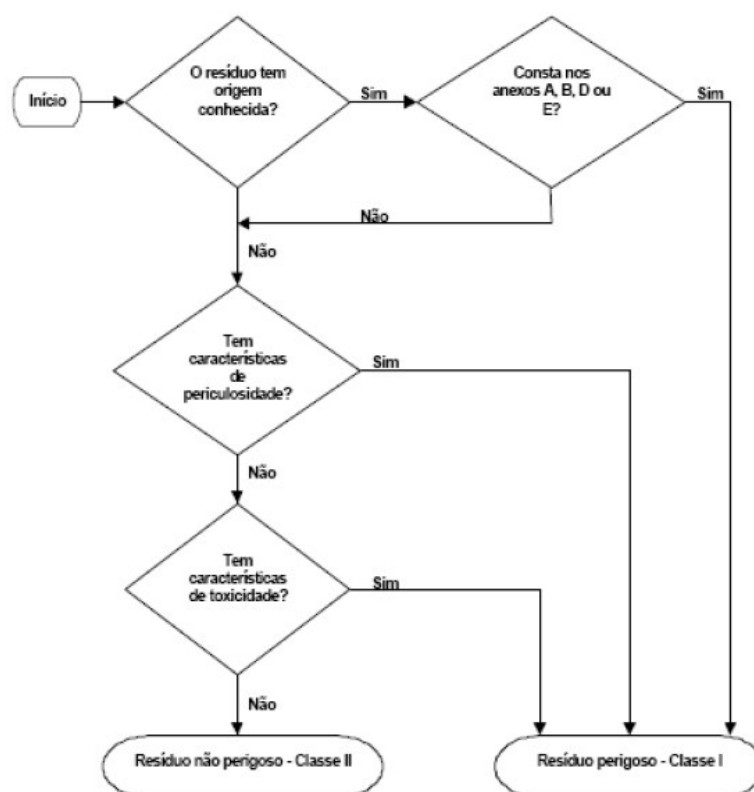
Os resíduos não perigosos são subdivididos ainda em duas categorias: inertes e não inertes. Figueiredo (2011) comenta que esta classificação é importante porque auxilia na determinação do tipo de aterro que receberá cada tipo de resíduo. Desta forma, são denominados:

a) Resíduos Classe I (Perigosos): inserem-se nesta categoria os resíduos que, conforme suas características, podem apresentar riscos à saúde da comunidade e/ou ao meio ambiente em geral, caso sua disposição seja inadequada. O que confere periculosidade a esses resíduos são características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade (contaminantes).

a) Resíduos Classe II (não Perigosos): nesta classificação os resíduos podem ser II A (não inertes) e II B (inertes). O primeiro compreende os resíduos não enquadrados nas classificações Classe I ou II B e possuem características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. O segundo são os resíduos que, quando submetidos a uma amostra representativa e um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não possuem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspectos de cor, turbidez, dureza e sabor, tais como metais, vidros, terra, cinzas e restos destes materiais.

Esta classificação mencionada está representada na Figura 7.

Figura 7 - Caracterização e classificação dos resíduos conforme NBR 10004:2004



Fonte: ABNT (2004); FIGUEIREDO (2011).

Cabe inferir que quando menciona-se sobre biogás de aterros sanitários, comumente refere-se aos resíduos não perigosos da Classe II A, uma vez que são estes inseridos nas unidades de disposição final constituídas por células impermeabilizadas. Quanto à origem, os resíduos classificados segundo artigo 13 da PNRS (2010c) são distribuídos em 11 tipos conforme apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Classificação dos resíduos sólidos quanto à origem, conforme a PNRS.

TIPOS		CARACTERÍSTICAS
a)	Resíduos domiciliares	Oriundos de atividades domésticas em residências urbanas;
b)	Resíduos de limpeza urbana	Oriundos da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
c)	Resíduos sólidos urbanos	Junção dos resíduos domiciliares e resíduos de limpeza urbana;
d)	Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços	Aqueles gerados nessas atividades, exceto os resíduos de limpeza urbana, de serviços públicos de saneamento básico, de serviços de saúde, construção civil e serviços de transportes;
e)	Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico	Aqueles gerados nessas atividades, exceto os classificados como resíduos sólidos urbanos;
f)	Resíduos industriais	Aqueles gerados nos processos de produções e instalações industriais;
g)	Resíduos de serviços de saúde	Aqueles gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
h)	Resíduos da construção civil	Aqueles gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
i)	Resíduos agrossilvopastoris	Aqueles gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, inclusive os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
j)	Resíduos de serviços de transportes	Aqueles originários dos portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários além de passagens de fronteiras;
k)	Resíduos de mineração	Aqueles gerados em atividades de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

Fonte: BRASIL (2010c).

Ressalta-se que os RSU, composto pelos resíduos sólidos domiciliares (RSD) e de Limpeza Urbana (RLU), possuem maior relevância nesta pesquisa. Assim, cabe explicitar melhor estas denominações. Os RSD incluem os resíduos domiciliares oriundos de ações domésticas em residências localizadas no meio urbano. Os RLU são originários dos serviços de varrição, limpeza de vias públicas, limpeza de logradouros e outros serviços gerais de limpeza urbana (BRASIL, 2010c).

Os RSD gerados nas atividades residenciais do meio urbano são compostos tanto por resíduos secos como por resíduos úmidos. Consideram-se como resíduos secos os constituídos por embalagens fabricadas com papéis, plásticos, vidros e metais. No caso dos resíduos úmidos, estes são constituídos, sobretudo, por restos de alimentos, podendo conter também em sua composição outros elementos como folhas, cascas e sementes, restos de alimentos industrializados e outros úmidos em geral (BRASIL, 2012).

Cabe salientar que, tanto os RSD como os RLU, estão incluídos na categoria de rejeitos quando referidos às parcelas contaminadas destes, como por exemplo, embalagens que não se conservaram secas, resíduos úmidos que não puderam ser aproveitados em conjunto com os demais, resíduos de atividades de higiene e outros tipos de resíduos que não foram utilizados (BRASIL, 2012).

Assim, embasado na Lei nº 12.305/2010, artigo 3º, inciso XV, entende-se por rejeito os resíduos sólidos que, quando esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra alternativa que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010c). Desta forma, por meio da aplicação desta lei, espera-se que futuramente apenas os rejeitos sejam enviados para os aterros sanitários.

Com relação à quantificação, cabe reforçar que neste estudo a taxionomia dos RSU abrange tanto os RSD e RLU como também os resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços. Estes últimos, conforme explicado por Dutra (2016), são similares aos resíduos domésticos e geralmente são dispostos junto aos resíduos domiciliares e assim também são coletados pelo poder público, principalmente quando estão em menores quantidades. Como na prática não há diferenciação na coleta, este estudo abarca os RSD, RLU e os resíduos comerciais. Assim, inclui especificamente a fração úmida destes, aqui denominada de resíduos orgânicos, devido ao seu elevado potencial para a produção de biogás quando dispostos em aterros.

### 3.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS: MUNDO, BRASIL E ESPÍRITO SANTO

Os dados do World Bank, citado em documento elaborado por Hoornweg e Bhada-Tata (2012), demonstram que as médias de geração de resíduos globais são amplas e as taxas de produção variam conforme a região, país e cidade. Segundo o documento, a variação ocorre devido à influência de fatores econômicos, grau de industrialização, hábitos e clima local. Geralmente, quanto maior o desenvolvimento urbano e econômico da região, maior será a geração de resíduos sólidos.

Por outro lado, Khan, Kumar e Sammadder (2016) acrescentam que a geração de resíduos sólidos está relacionada diretamente com o crescimento demográfico, além de estar associada a fatores socioeconômicos como Produto Interno Bruto (PIB), educação, ocupação, renda, quantidade de pessoas na família, entre outros fatores como a diversificação de bens e serviços e da intensificação do consumo.

Esta elevada geração de resíduos sólidos tem afetado várias cidades no mundo e promovido preocupações relativas às alternativas de como lidar com os problemas relacionados aos resíduos. Até mesmo porque nas cidades, principalmente localizadas no meio urbano, concentram-se os maiores índices de geração de resíduos, além das principais fontes de consumo e renda e elevados índices de desigualdade socioeconômica (VOJNOVIC, 2014).

Assuntos relacionados à geração de resíduos, inclusive sobre sua destinação adequada, têm sido discutidos mundialmente, tanto por preocupações econômicas como por fatores ambientais, sociais, ou de saúde pública. A escassez dos recursos naturais, a degradação de solos, de águas superficiais e subterrâneas, além da contaminação dos habitantes por contato direto ou indireto com o resíduo, têm atingido os países desenvolvidos e em desenvolvimento, cada qual com suas peculiaridades (DUTRA, 2016).

Essas disparidades relacionadas à geração de resíduos no mundo são sentidas profundamente nos países mais pobres ou em desenvolvimento, que também vivenciam extremas dificuldades urbanas, ambientais e de saúde, que é o caso do Brasil. De acordo com pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2014), a geração de RSU no Brasil foi de aproximadamente 78,6 milhões de toneladas no ano de 2014. Esse

número representou um crescimento de 2,9% quando comparado com o ano de 2013.

Na Tabela 3, mostra-se a quantidade de RSU gerado no Brasil com índices de kg/hab/dia referentes aos anos de 2013 e 2014 ABRELPE (2014). Nota-se que a quantidade de resíduos gerados é mais elevada na região Sudeste, obviamente, por conter a maior parcela do total de habitantes.

É possível observar que locais com alta concentração populacional são responsáveis pelas maiores quantidades de resíduos gerados. E como a tendência de crescimento populacional é constante, conclui-se que o desafio dos resíduos também só tende a aumentar, necessitando da busca urgente pelas novas formas de gestão e tratamento, por vezes não tradicionais, como a recuperação energética. Na Tabela 3 pode-se verificar a quantidade de RSU gerado no Brasil em cada região.

Tabela 3 - Quantidade de RSU gerado por região do Brasil

Regiões	2013		2014	
	RSU Gerado (t/dia)/Índice (kg/hab/dia)	População Total (hab.)	RSU Gerado (t/dia)	Índice (kg/hab/dia)
NORTE	15.169 / 0,892	17.261.983	15.413	0,893
NORDESTE	53.465 / 0,958	56.186.190	55.177	0,982
CENTRO-OESTE	16.636 / 1,110	15.219.608	16.948	1,114
SUDESTE	102.088 / 1,209	85.115.623	105.431	1,239
SUL	21.922 / 0,761	29.016.114	22.328	0,770
<b>BRASIL</b>	<b>209.280 / 1,041</b>	<b>202.799.518</b>	<b>215.297</b>	<b>1,062</b>

Fonte: ABRELPE (2014).

Na Tabela 4 apresenta-se a quantidade de RSU coletados por regiões do Brasil.

Tabela 4 - Quantidade de RSU coletados por regiões do Brasil

Regiões	2013	2014
	RSU Total (t/dia)	RSU Total (t/dia)
NORTE	12.178	12.458
NORDESTE	41.820	43.330
CENTRO-OESTE	15.480	15.826
SUDESTE	99.119	102.572
SUL	20.622	21.047
<b>BRASIL</b>	<b>189.219</b>	<b>195.233</b>

Fonte: ABRELPE (2014).

A análise dos dados da Tabela 4 permite perceber que ao comparar a quantidade de RSU gerada e a coletada, existem mais de vinte mil toneladas de resíduos que, provavelmente, tiveram destinação desconhecida. Todavia, a cobertura de coleta dos RSU chegou a 90,68% em 2014, ou seja, quase total. Uma porcentagem importante, uma vez que esses dados revelam que houve certo avanço na coleta de um ano para outro.

O Relatório Técnico Único BRA/OEA/08/001 do Ministério do Meio Ambiente (MMA) em parceria com a Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (SRHU) (2012), referente à Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil, apresenta na Tabela 5 os percentuais sobre a destinação final de RSU no Brasil por unidade de destino de resíduos para os anos de 1989, 2000 e 2008. Os dados relativos aos anos de 2013 e 2014 são da ABRELPE (2014) e foram acrescentados para comparação.

Tabela 5 - Destinação Final de RSU por unidade de destino no Brasil (%)

<b>Ano</b>	<b>Vazadouro a céu aberto (Lixão)</b>	<b>Aterro Controlado</b>	<b>Aterro Sanitário</b>
1989	88,2	9,6	1,1
2000	72,3	22,3	17,3
2008	60,8	22,6	27,7
2013	17,4	24,3	58,3
2014	17,4	24,2	58,4

Fonte: Elaborado a partir de IBGE (2008) / MMA/SRHU (2012), ABRELPE (2014).

Observa-se que a destinação final por unidade de destino de RSU na Tabela 5 se refere a Vazadouro a Céu Aberto, popularmente conhecido como “lixão”. A partir desses dados pode-se ter uma noção de como a destinação final de RSU está mudando no país, principalmente pela diminuição de resíduos enviados para vazadouros (“lixões”) e pelo aumento dos resíduos enviados para aterros. Nota-se que após o ano de 2008, o aterro sanitário tornou-se a opção mais utilizada para a destinação final dos RSU no Brasil. Segundo a ABRELPE (2014) 58,4% dos resíduos urbanos coletados foram para aterro sanitário, os demais para aterros controlados (24,2%) e “lixões” (17,4%). Embora tenha ocorrido certa melhora relativa a destinação final dos RSU no país, percebe-se que uma boa parte ainda possui destino impróprio. Apesar dos avanços já alcançados, a disposição final adequada



dos resíduos urbanos ainda é um desafio a ser superado por grande parte dos Estados no Brasil, inclusive do Espírito Santo.

O panorama dos resíduos sólidos urbanos no Espírito Santo (ABRELPE, 2014), revelou que o Estado chegou a produzir cerca de 3.291 toneladas de RSU por dia. Segundo a fonte consultada, mais da metade desses resíduos seguiu para aterros sanitários, enquanto que o restante seguiu para aterros controlados e “lixões”. A Tabela 6 exemplifica o total de coleta e geração de RSU no Estado.

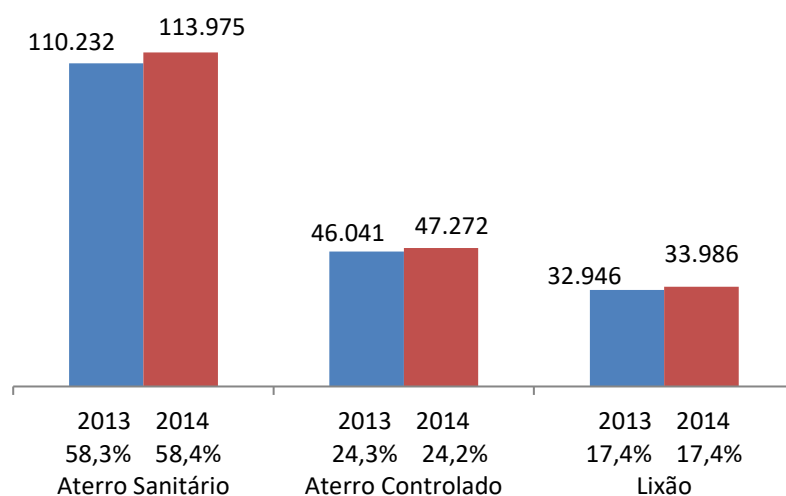
Tabela 6 - Coleta e Geração de RSU no Estado do Espírito Santo

População Total		RSU Coletado				RSU Gerado (t/dia)	
		kg/hab./dia		(t/dia)			
2013	2014	2013	2014	2013	2014	2013	2014
<b>3.839.366</b>	3.839.366	0,763	0,777	2.931	3.019	3.197	3.291

Fonte: ABRELPE (2014).

A partir dos dados apresentados na Tabela 6 e Figura 8, é possível perceber um tímido avanço na área, principalmente após a implantação da Lei nº 12.305/2010, (PNRS). Mas a dificuldade persiste até mesmo nas cidades que utilizam aterros sanitários, pois os depósitos de resíduos possuem vida útil limitada. É nesse sentido que a PNRS direciona metas estratégicas para readequar o volume de resíduos depositados, dentre outras. Todavia, este assunto será enfatizado mais adiante.

Figura 8 - Destinação final de RSU no Estado do Espírito Santo (t/dia)



Fonte: ABRELPE (2014).

Segundo informações contidas no Relatório Técnico Único BRA/OEA/08/001 do

MMA/SRHU (2012), observa-se uma grande dificuldade dos Municípios em gerenciar soluções adequadas para os resíduos sólidos nas cidades, seja por meio individual ou consórcio. Um dos maiores problemas enfrentados é a disposição final desses resíduos em “lixões”.

Com a intenção de eliminar definitivamente os “lixões” e se adequar à Lei nº 12.305/2010, o governo do Estado lançou o programa *Espírito Santo sem Lixão*, no ano de 2008, com o intuito de destinar de forma correta todo o lixo gerado no Estado. Nesse cenário, o Estado do Espírito Santo se destaca por iniciativas importantes na área de planejamento dos serviços públicos de resíduos sólidos por meio da Lei nº 9.264/2009, da elaboração do Plano Estadual de Resíduos Sólidos<sup>11</sup>, do Comitê Gestor de Resíduos Sólidos (COGERES), do Conselho Metropolitano de Desenvolvimento da Grande Vitória (COMDEVIT), do Programa Capixaba de Materiais Reaproveitáveis, da rede Ecociência e das associações de catadores (MMA/SRHU, 2012).

### 3.3 COMPOSIÇÃO DOS RSU NO BRASIL

Nesta pesquisa, cabe comentar as principais características dos RSU no Brasil, que se diferenciam de alguns países principalmente pela quantidade de matéria orgânica presente. Um estudo publicado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (1998) sobre a composição dos RSU brasileiros, apresentado também pela EPE (2014), revela que a composição inicial considera nos resíduos a presença de 60% de fração orgânica, 5% de inertes e 35% de recicláveis (18% de papéis, 12% de plásticos, 3% de vidros e 2% de metais).

Assim, projeções foram realizadas a partir destes valores, considerando também o crescimento populacional e o aumento da renda per capita, incluindo o fato que a partir do aumento da renda per capita, ocorre também mudanças na composição dos resíduos gerados, como sucede hoje em países de maior renda, explicado anteriormente. Quanto ao teor de umidade no lixo brasileiro, as projeções mantiveram-se na faixa de 60% sobre a parcela de restos alimentares. Quanto à

---

<sup>11</sup> Encontra-se em processo de licitação.

produção, utilizou-se um fator de produção per capita para o ano base de 2010 de 0,89 kg/dia (EPE, 2014).

O “Caderno de Diagnóstico: Resíduos Sólidos Urbanos”, parte constitutiva da Minuta do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (IPEA, 2011), apresenta a composição gravimétrica presente nos resíduos urbanos brasileiros no ano de 2011. De acordo com Dutra (2016), este caderno de diagnóstico dos RSU tem sido uma das fontes mais utilizadas para dimensionar os sistemas urbanos de coleta de resíduos no Brasil. Para o cálculo desse levantamento foram utilizados dados de 93 estudos de caracterização física realizados no período de 1995 a 2008 (IPEA, 2011). Na Tabela 7 pode-se visualizar tanto os dados relativos às projeções da EPE (2014) quanto a do Caderno de Diagnósticos (IPEA, 2011).

Tabela 7 - Composição gravimétrica estimada dos RSU coletados no Brasil

MATERIAIS	PARTICIPAÇÃO (%)	
	2011	2014
Metais	2,90	2,10
Papel, papelão e tetrapark	13,10	18,50
Plástico Total	13,50	12,30
Vidro	2,40	3,10
Total de Material Reciclável	31,90	36,00
<b>Total de Matéria Orgânica</b>	<b>51,40</b>	<b>59,00</b>
Outros	16,70	5,00
<b>TOTAL COLETADO</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborado a partir de IPEA (2011); EPE (2014).

Na Tabela 7 nota-se que a matéria orgânica é o integrante de maior proporcionalidade nos resíduos brasileiros (entre 50% e 60% em massa). De 2011 a 2014 houve tanto um aumento do total de recicláveis quanto de matéria orgânica. Como a maior parte do destino final desses materiais ainda são os aterros sanitários, cabe aproveitá-los como instrumentos que vão além da questão do saneamento ambiental, uma vez que também é possível obter benefícios econômicos com a produção energética destes. Especialmente por conter elevada fração de matéria orgânica, geradora do biogás, que o interesse na sua recuperação para geração de energia tem despertado atenção (OLIVEIRA; ROSA, 2003; OLIVEIRA et al., 2008; CHO; MOON; KIM, 2012; MAIER; OLIVEIRA, 2014). Assunto este que será tratado em detalhes no próximo capítulo.

## 4 A GERAÇÃO DE ENERGIA COM O BIOGÁS DE ATERROS SANITÁRIOS

Este capítulo versa especialmente sobre o aproveitamento energético do biogás, com ênfase no biogás de aterros sanitários. Em seguida, apresenta as tecnologias utilizadas para a conversão deste energético, destacando as tecnologias mais empregadas para a geração de energia elétrica e combustível, uma vez que são objetos de estudo do presente trabalho. Por fim, menciona-se como o emprego dessas tecnologias pode contribuir para reduzir a emissão de gases de efeito estufa.

### 4.1 ESTADO DA ARTE SOBRE O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS

Segundo Bley Jr (2015), em 1970 o biogás foi integrante do modelo chamado de “Revolução Verde”, movimento que disseminou em todo o mundo novas formas de agricultura. No entanto, o biogás não seguiu um caminho naturalmente próspero, especialmente pelo fato de estar vinculado ao valor dos derivados de petróleo e possuir experiências mal sucedidas em seu histórico. Cabe destacar as centenas de biodigestores que foram instalados, depois abandonados porque continham ferro em sua composição e foram corroídos pelo gás sulfídrico, constituinte do biogás. Neste período, logo na primeira crise, o biogás desapareceu. Assim, passaram-se 40 anos sem que o biogás tivesse relevância (PROBIOGÁS, 2016; BLEY Jr, 2015).

Em 1990, a questão ambiental teve maior proeminência devido à Conferência Rio-92, que reforçou a necessidade de redução das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Soma-se a esse pano de fundo, a perspectiva de rendas com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). As metodologias do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), orientadas pelo Protocolo de Kyoto, estabeleceram que a destruição do gás metano poderia ocorrer em duas situações: a primeira por simples queima do biogás e a segunda permitia aplicações para a sua conversão energética. Mas devido à complexidade da segunda opção, priorizou-se como solução a simples queima do metano em *industrial flare*. Assim, os projetos que surgiram nesta época incluíam apenas a queima do biogás e não o seu aproveitamento energético. Logo,

com a diminuição dos preços internacionais dos certificados de redução de emissões, decorrentes da crise econômica dos países compradores, o biogás sumiu novamente do mercado (CIBIOGÁS, 2016).

Bley Jr (2015) explica ainda que, se a prática inicialmente adotada para o biogás fosse diferente, os setores atrelados a esse processo poderiam encontrar reais possibilidades de geração de renda e cobertura de seus custos em investimentos ambientais.

Por volta do ano 2000, o biogás retorna ao cenário e volta a ser visto como um combustível utilizável para geração de energia. Desta forma, deixa de ser um passivo ambiental para tornar-se um ativo energético. O biogás volta a ser uma matéria prima para geração de biometano, um produto combustível gerado a partir da purificação do biogás, considerado como fonte renovável de energia, modificando completamente os insucessos do passado (CIBIOGÁS, 2016).

Ao longo desse período, verifica-se por meio da literatura, que a matriz energética brasileira precisou de mais de 40 anos para atentar especificamente para a energia gerada com a aplicação do biogás produzido em processos de biodigestão anaeróbia<sup>12</sup>, seja de resíduos orgânicos, agrícolas, urbanos ou industriais (CIBIOGÁS, 2016).

Maier e Oliveira (2014) acrescentam que existe um potencial significativo de fontes de produção deste tipo de gás, ainda a ser explorado. O aproveitamento desses resíduos mencionados apresenta muitas vantagens socioambientais e, por esse motivo, existe interesse em viabilizar o seu aproveitamento energético no Brasil. De acordo com a EPE (2016), a produção de energia elétrica, por exemplo, já apresenta opções tecnológicas maduras para esse tipo de atividade.

Assim, esta pesquisa procurou evidenciar a opção do biogás oriundo dos RSU, condicionados em aterros sanitários e que, por esta razão, apresenta uma descrição mais detalhada para este estudo.

---

<sup>12</sup> Os RSU, uma vez inseridos em ambientes confinados como em aterros sanitários, sob condições anaeróbias, sofrem decomposição e, a partir de sua parcela orgânica, inicia-se a liberação do biogás (THOMPSON et al., 2009; ZHOU, 2014).

## 4.2 O BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO

De acordo com Pavan (2010), o aterramento de resíduo sólido como forma de destino final é uma prática antiga. Os povos nabateus, na Mesopotâmia (2.500 anos a.C.), já enterravam os resíduos domiciliares e agrícolas em trincheiras escavadas no solo. Passado um período de tempo, essas trincheiras eram abertas e a matéria decomposta era retirada e utilizada como fertilizante orgânico na produção de cereais.

Embora se tenha observado recentes exigências relativas às novas alternativas para a disposição dos resíduos em todo o mundo, principalmente por causa de problemas ambientais de aterros antigos e menor disponibilidade de áreas para aterramento, os aterros ainda têm sido uma das práticas mais utilizadas para a disposição dos resíduos sólidos urbanos (ZANETTE, 2009; FAAIJ, 2006).

No Brasil, conforme exposto no capítulo anterior, os tipos de disposição de resíduos existentes são os vazadouros a céu aberto (“lixões”), os aterros controlados e os aterros sanitários<sup>13</sup>. Conforme o IPEA (2012), essas três formas de destinação dos RSU recebem praticamente 97% da quantidade total de resíduos coletados no Brasil no ano de 2008. Dentre essas opções, observou-se a tendência de redução dos resíduos enviados para “lixões” e um progressivo aumento dos resíduos enviados para aterros (Rever Tabela 5). Tal fato pode ser associado ao cumprimento de exigências legais por parte dos Municípios brasileiros, principalmente pelo aterro sanitário ser a opção mais adequada ambientalmente, uma vez que é fundamentada em critérios de engenharia e normas específicas que visam garantir a proteção do meio ambiente e da saúde pública.

Assim, os resíduos sólidos, quando dispostos em aterros sanitários, são compactados e cobertos diariamente com terra, organizados em células diárias, dispostas lado a lado, de forma a permitir a formação de camadas de resíduos sobre o solo (PAVAN, 2010). De acordo com Zanette (2009), nos aterros, os resíduos são isolados da água para evitar a geração de chorume e causar a poluição do solo.

---

<sup>13</sup> O aterro controlado, apesar de também utilizar métodos de engenharia, não possui confinamento seguro, coleta e tratamento de lixiviado de aterro e biogás. No caso do vazadouro ou “lixão”, o despejo dos resíduos é feito diretamente sobre o solo sem o uso de qualquer técnica ou medida de proteção. Por esse motivo esta prática está proibida no Brasil.

Neste caso, o objetivo principal é isolar o resíduo do ambiente em um invólucro de solo compactado e plástico. Essa cobertura plástica normalmente é uma camada fina de polietileno de alta densidade (PEAD), combinada com uma camada de solo para formar a capa.

Santos (2011) menciona que, uma vez inserido neste ambiente, o resíduo passará por transformações físico-químicas denominadas de “processo de decomposição”. Durante esse processo, o resíduo reduzirá sua massa inicial basicamente devido a duas transformações na sua composição: primeiro a matéria orgânica presente irá produzir um gás, o chamado biogás, composto basicamente de metano ( $\text{CH}_4$ )<sup>14</sup> e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). Em seguida, a segunda transformação será a combinação da umidade ( $\text{H}_2\text{O}$ ) naturalmente presente nesses resíduos com a matéria orgânica restante, gerando o chorume, um percolato com altas concentrações de matéria orgânica e de outros compostos com elevado potencial poluente. Após a decomposição de toda fração orgânica, a matéria inorgânica remanescente no resíduo permanecerá por um período mais longo na célula, até a sua total decomposição. Este tempo pode variar conforme a composição deste material de origem inorgânica.

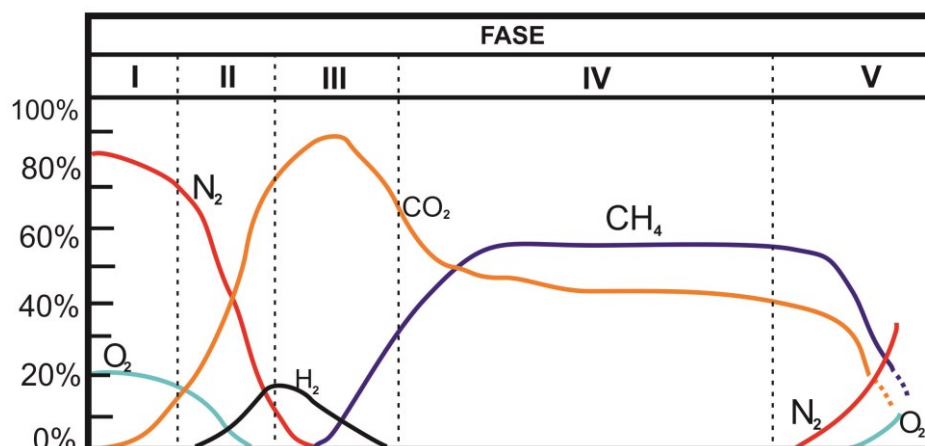
Nogueira (2013) acrescenta que a fração orgânica de cada tipo de resíduo possui diferentes velocidades de decomposição. Por isso esse processo biológico é composto por fases variadas, que podem ocorrer de forma simultânea, e relaciona-se com o volume da célula do aterro. A duração das fases e a concentração de produtos dependem de diversos fatores como as características físicas, químicas e biológicas dos resíduos e do aterro. Neste caso, o aterro funciona como um reator biológico, promovendo a decomposição em dois processos, inicialmente o aeróbio e por fim o anaeróbio, responsável pela geração de metano, que confere o potencial energético ao biogás.

Tchobanoglous e outros (1994), citado por Borba (2006), afirmam que a geração de gás em aterros pode ocorrer num processo que passa por quatro ou cinco fases, dependendo da descrição de cada autor. Nesse aspecto, a EPE (2014) admite quatro fases, já a USEPA, citada por Filho (2005), admite cinco fases. A Figura 9 apresenta as cinco fases mencionadas.

---

<sup>14</sup> Tanto para Chakraborty (2013) como para Qdais e outros (2010), a composição do metano pode variar de 50% a 60% (CHAKRABORTY, 2013).

Figura 9 - Fases de geração de biogás em aterros de resíduos sólidos



Fonte: Elaborado a partir de BORBA (2006).

Notas: Fase I - Ajuste inicial; Fase II - Transição; Fase III - Ácida; Fase IV - Metanogênica; Fase V - Maturação.

A geração de metano em volume significativo inicia-se de seis meses a dois anos após a disposição dos resíduos na célula e pode durar até décadas dependendo das condições do local, das características dos resíduos e da quantidade de resíduos no aterro. O metano produzido migra do seu local de origem no aterro e, por meio de regiões de baixa pressão no solo, consegue atingir a atmosfera. Neste processo, o solo oxida aproximadamente 10% do metano gerado no aterro a dióxido de carbono, e os 90% restantes são emitidos como metano, caso não seja recuperado em um sistema de recuperação de gases e então utilizado ou queimado (ZANETTE, 2009).

A ocorrência de emissão de metano pela superfície do aterro se dá por vários fatores, tais como a grossura e material de cobertura, o tipo de projeto implantado e forma de operação do sistema de coleta de gás, composição dos resíduos e clima (AMINI; REINHART; NISKANENC, 2013). Além desses fatores mencionados, Filho (2005) acrescenta os caminhos naturais e não naturais percorridos pelo gás no aterro, a velocidade e direção do vento no local, umidade, os níveis de água, assim como também a temperatura e a pressão do gás no solo. Tais fatores são mencionados mais especificamente a seguir.



#### 4.2.1 Perda de gás na superfície do aterro

Tanto para Karanjekar (2015) como para Filho (2005) existem perdas significativas de metano na superfície do aterro. De forma geral, presume-se que relativo à quantidade total de metano, somente uma parte é recuperada por meio do sistema de recuperação de biogás. Nas condições normais, os gases produzidos no solo escapam para a atmosfera por difusão molecular<sup>15</sup>. No caso de um aterro em operação, a pressão interna ainda é maior que a pressão atmosférica, o que força os gases para fora do solo por difusão e fluxo convectivo, ou seja, o gás é conduzido por pressão. No Quadro 5 apresentam-se os principais fatores que influenciam no processo de migração do gás de aterro.

Quadro 5 - Fatores que interferem na migração do gás de aterro

(Continua)

FATORES	DESCRIÇÃO
TIPO DE COBERTURA	No caso da cobertura do aterro ser constituída de material razoavelmente permeável como cascalho ou areia, o gás tende a migrar através desta camada. Do contrário, se a cobertura do aterro for de siltes e argilas, a permeabilidade é reduzida, assim o gás pode migrar horizontalmente pelo subsolo.
CAMINHOS (NATURAIS E NÃO NATURAIS)	O uso de drenos, trincheiras e passagens aterradas como túneis e dutos, agem como condutores para a movimentação do gás.
DIREÇÃO E VELOCIDADE DO VENTO	O gás de aterro tende a escapar pela superfície e é direcionado pelo vento. O vento dissipa o gás com ar conduzindo-o para outras áreas do aterro. A velocidade e a direção do vento determinam a concentração do gás no ar, que sofre variações diárias e/ou horárias.
UMIDADE	A umidade superficial do solo pode impedir a fuga do gás. Tanto a chuva quanto a umidade também podem infiltrar nos caminhos vazios do aterro forçando a saída dos gases destes locais;
NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO	A direção do gás é influenciada pelas variações apresentadas no nível de água do solo. Se a água contida no ambiente segue na direção de uma área, o gás de aterro também segue no mesmo caminho.

<sup>15</sup> Gobbi (2015) conceitua difusão molecular como parte do transporte de um soluto em um fluido devido à agitação (movimento browniano) das moléculas que o compõem. Resume-se em um fenômeno físico de transporte de matéria (líquido ou gás).

Quadro 5 - Fatores que interferem na migração do gás de aterro

(Conclusão)

FATORES	DESCRIÇÃO
TEMPERATURA	Elevações de temperaturas induzem o movimento da partícula de gás e podem aumentar sua difusão. Assim, o gás pode se dispersar mais rapidamente em condições de elevadas temperatura. A ocorrência de ciclos de esfriamento e aquecimento podem gerar a ruptura na superfície do solo e causar a migração do gás de aterro para cima ou horizontalmente;
PRESSÃO DE GÁS NO SOLO E BAROMÉTRICA	A redução da pressão atmosférica induz o gás a migrar para fora do aterro. Com o aumento da pressão o gás poderá permanecer retido temporariamente no local até que ocorra um novo balanço de pressão.

Fonte: Elaborado a partir de Filho (2005).

Desta forma, todos esses parâmetros apresentados no Quadro 5 devem ser considerados quando se pretende recuperar o biogás de aterro. Algumas medidas são empregadas para reduzir perdas de gás. Um dos métodos mais comuns, segundo Filho (2005), é reduzir a pressão do gás dentro do aterro. Para tal, chaminés podem ser instaladas através da cobertura final da massa de resíduos sólidos. Neste caso, se o metano no gás fugitivo possuir concentração suficiente, várias chaminés podem ser conectadas e equipadas com um queimador de gás<sup>16</sup>.

Abichou e outros (2015) inferem que a vegetação também pode auxiliar na redução das emissões fugitivas de gás no aterro, uma vez que melhora a aglomeração, o isolamento térmico contra a variação de temperatura e a estabilização mecânica. Acrescenta ainda que solos como a argila e sedimento são ricos em partículas de grãos mais finos que podem selar a camada superficial do solo quando úmido. Este processo pode ocasionar o bloqueio de poros e limitar a difusividade do ar do solo, além de reduzir a oxidação do metano devido à baixa concentração de oxigênio. Neste caso, uma zona de vegetação pode neutralizar este tipo de erosão vertical e estabilizar as partículas. As raízes das plantas favorecem a aeração do solo ao criar macroporos maiores, que propiciam a difusão de oxigênio, assim como o

---

<sup>16</sup> Todavia, Filho (2005) ressalta certo cuidado com esta utilização porque pode ocorrer das chaminés passivas com queimadores não destruírem totalmente os Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e os odores. Assim, torna-se difícil o cumprimento de exigências dos órgãos ambientais para o controle da qualidade do ar.

fornecimento de metano a bactérias. Assim, espera-se um aumento do potencial de oxidação do metano de solos vegetativos (ABICHOU et al., 2015).

Deste modo, reitera-se que a oxidação de metano também pode sofrer influências de processos de estruturação de vegetação do solo. Soma-se a isso as condições ambientais de temperatura e precipitação, que também podem influenciar no desempenho do processo de oxidação de metano dos solos que cobrem os aterros.

Amini, Reinhart e Niskanenc (2013) indicam que uma fração de oxidação padrão é de 0,10, conforme recomendado pela USEPA (2004) e IPCC (2000). Nesse aspecto, Broun e Sattler (2016) utilizam um valor padrão de 10% para a oxidação do metano na cobertura de aterros, conforme sugerido pelo banco de dados AP-42 da USEPA e inventário de US GHG. Justificam esta porcentagem devido às incertezas e ausência de uma metodologia padronizada para determinação da taxa de oxidação do metano por meio do solo de cobertura do aterro.

Barlaz, Chanton e Green (2009) enfatizam que, mesmo num típico aterro construído com padrões de engenharia, o caminho dos gases muda com o passar do tempo. Após a disposição do resíduo no local, antes da coleta do gás, existe um período de tempo em que o gás é emitido para a atmosfera por meio de oxidação parcial em coberturas do solo. Uma vez instalado um sistema de coleta, uma parte do gás é coletada por uma rede de poços e/ou trincheiras mantidas sob pressão negativa. Porém, embora recupere-se uma fração destes, até os sistemas de controle de gases mais eficientes não coletam todos os gases gerados em aterros sanitários.

As estimativas da USEPA (2015) contemplam eficiências de coleta de biogás em aterros nos Estados Unidos na média de 75%. O IPCC (2006) assume a recuperação de gás de aterros sanitários na faixa de 10 a 90%. Yang e outros (2013) consideram uma eficiência de coleta de 50% em alguns aterros sanitários da China. Por outro lado, os estudos de Broun e Sattler (2016) indicam que a partir do encerramento da célula e inserção da cobertura do solo, a eficiência da coleta pode chegar a 75%. Todavia, após aplicação da cobertura final no solo, a eficiência de coleta pode elevar-se para 95%. De acordo com os autores, constata-se esse padrão de eficiência pelo menos após 20 anos do início da operação da célula.

#### 4.2.2 Composição do biogás de aterro sanitário

De acordo com Lobato (2011), os constituintes usualmente encontrados no biogás gerado em aterros sanitários, digestores de lodo e em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico são o metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ), conforme exposto na Tabela 8.

Dentre esses gases, Filho (2005) acrescenta ainda o amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Chernicharo e Stuetz (2008) reiteram ainda que, em alguns casos, principalmente se oriundo de aterro sanitário, o biogás pode conter siloxanos, constituídos a partir da degradação anaeróbia de materiais geralmente encontrados em cosméticos, desodorantes, aditivos de alimentos e sabão.

Tabela 8 - Composição típica de biogás gerado em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico, aterros sanitários na fase metanogênica e digestores de lodo

Parâmetro	Unidade	Composição volumétrica típica		
		Biogás de reatores anaeróbios	Biogás de aterro sanitário	Digestores de lodo
Metano – $\text{CH}_4$	%	60 a 85	45 a 50	60 a 70
Gás carbônico – $\text{CO}_2$	%	5 a 15	30 a 45	20 a 40
Monóxido de carbono – $\text{CO}$	%	0 a 0,3	0 a 0,2	-
Nitrogênio – $\text{N}_2$	%	10 a 25*	0 a 15	< 2
Hidrogênio – $\text{H}_2$	%	0 a 3	Traços a > 1	-
Sulfeto de hidrogênio – $\text{H}_2\text{S}$	ppm	1000 a 2000	10 a 200	até 1000
Oxigênio – $\text{O}_2$	%	traços	0,8	-

(\*) a elevada fração de nitrogênio no biogás de reatores anaeróbios deve-se ao  $\text{N}_2$  dissolvido no esgoto doméstico.

Fonte: LOBATO (2011).

Lobato (2011) enfatiza ainda que o metano é o principal constituinte do biogás, além de ser um gás inodoro, incolor e mais leve que o ar (com densidade igual a 0,55 em relação ao ar). Sua molécula é tetraédrica, apolar ( $\text{CH}_4$ ) e possui pouca solubilidade em água. É considerado o mais simples dos hidrocarbonetos e tem alto valor combustível.

No caso do metano ( $\text{CH}_4$ ) ser o principal componente do biogás, cabe informar que este é mais poluente que o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) em se tratando de efeito

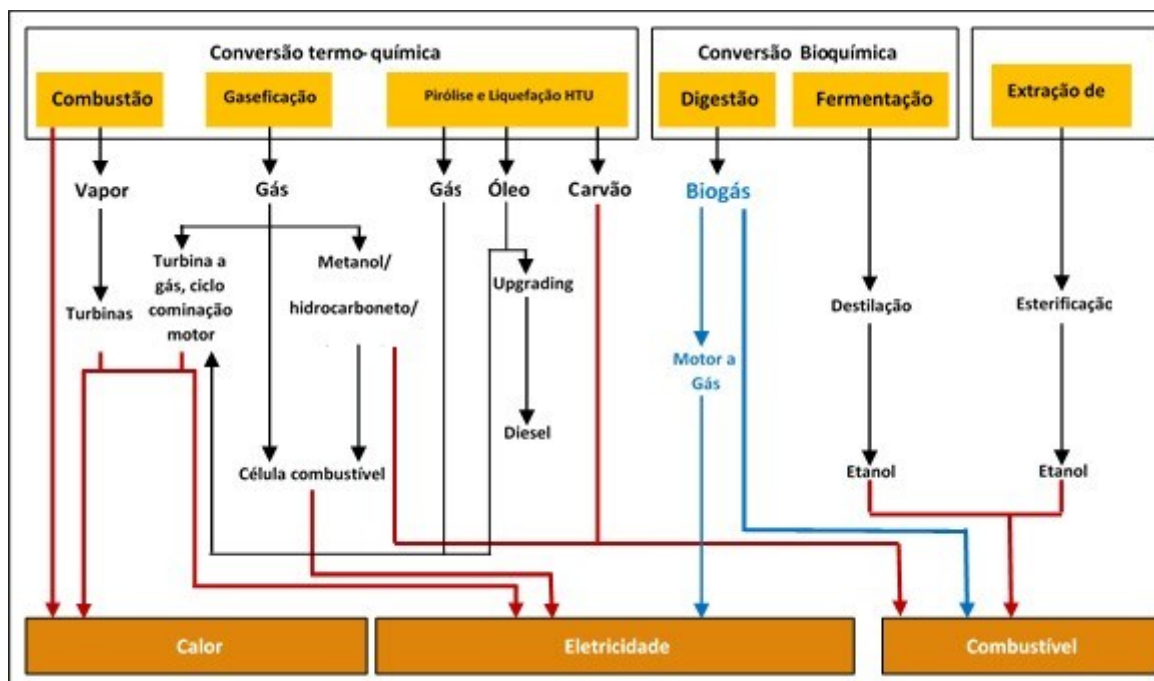
estufa. Por esse motivo, só a queima desse gás já representa um benefício para o meio ambiente. Conforme mencionado, este procedimento geralmente ocorre em queimadores (*flares*), um sistema por onde o gás é conduzido para ser queimado, cujo procedimento evita explosões e emissão direta de metano para a atmosfera (EPE, 2014). Broun e Sattler (2016) afirmam que esse processo de queima tem sido a principal forma de minimizar as emissões de metano oriundas de aterros. Nesse aspecto, cabe reforçar que, embora a queima gere benefícios por causa da redução das emissões de gases poluentes, perde-se a oportunidade de se utilizar o biogás de aterro como uma fonte de energia considerada “limpa” e renovável. Assim, o aproveitamento energético deste deve ser incentivado, uma vez que permite um destino mais nobre para o gás.

#### 4.3 RECUPERAÇÃO E CONVERSÃO ENERGÉTICA DO BIOGÁS

A busca pela segurança energética, o aumento dos preços da energia, os mercados mundiais cada vez mais competitivos, a pressão relativa a emissões ambientais e rigorosos regulamentos são forças motrizes primárias na busca por tecnologias sustentáveis e economicamente viáveis para abordagens eficientes e “limpas” para a conversão e utilização de energia (SRINIVASAN; MAGO; KRISHNAN, 2010).

Nesse aspecto, para gerar energia a partir da biomassa podem ser usados vários sistemas, com diversas alternativas para sua aplicação. A escolha dessas alternativas é fundamentada em diversas variáveis, tais como: institucionais, econômicas, ambientais, técnicas e regulatórias (MMA/SRHU, 2012). Estas duas últimas recebem maior enfoque neste estudo. Para fundamentação técnica torna-se essencial a compreensão das rotas de conversão da biomassa em energia, apresentada na Figura 10. A rota do biogás foi selecionada na cor azul para melhor compreensão do processo de conversão.

Figura 10 - Rotas de conversão da biomassa em energia



Fonte: Adaptado de TURKENBURG (2000).

Dentre as rotas apresentadas por Turkenburg (2000) na Figura 10, as mais utilizadas para o processo de conversão de RSU em energia são a digestão anaeróbia (em aterros sanitários) e a combustão (tratamento térmico). Faaij (2006) afirma que o motivo da digestão anaeróbia ser muito praticada é porque esta tecnologia é desenvolvida há bastante tempo e que, por isso, encontra-se numa fase tecnicamente estável. Além disso, pode ser aplicada tanto no caso de resíduos orgânicos úmidos homogêneos quanto no caso de heterogêneos, como os RSU. Soma-se a isso outros fatores como a difusão da tecnologia, o aterro sanitário ser a opção mais utilizada mundialmente para o tratamento de resíduos, atratividade financeira e mitigação de gases de efeito estufa. Razões estas que motivaram o estudo do biogás de aterros nesta pesquisa.

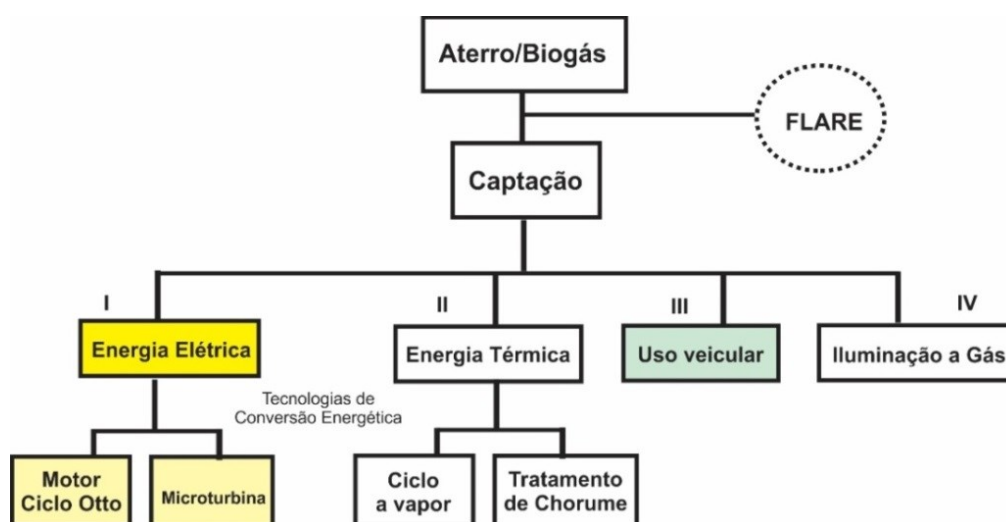
#### 4.3.1 Alternativas energéticas

Conforme apresentado, a biomassa pode produzir energia de diversas maneiras. As tecnologias empregadas para a conversão desses recursos em energia dependem das características e objetivos destes. Em função disso, a conversão energética foi

conceituada como o processo que transforma um tipo de energia em outro. E com base nesse conceito, o biogás apresenta-se como um gás versátil e fonte energética renovável, uma vez que a sua energia pode ser: 1) convertida em energia mecânica por meio de processos de combustão controlada em motores, que por sua vez movem geradores e promovem a conversão direta em energia elétrica; 2) utilizada para a cogeração de energia térmica, empregada para geração de água quente e vapor produzido com as elevadas temperaturas do motor; 3) queimada, aplicada como fonte de energia térmica em caldeiras; 4) combustível, utilizada como Gás Veicular purificado em motores automotivos e estacionários, como energia veicular (CIBIOGÁS, 2016; SALOMON; LORA, 2009; COIMBRA-ARAÚJO et al., 2014). Recentemente começaram a surgir outras aplicações, como a reforma do biogás para obtenção de hidrogênio (VALENTE, 2015; BLEY JR, 2015; RASI, 2009); Todavia, esta última aplicação não será tratada nesta pesquisa pelo motivo de ainda estar incipiente e carecer de mais estudos.

Para ICLEI (2009), após sua captação, além da geração de energia elétrica, térmica e combustível, o biogás também pode ser utilizado para iluminação. Quando não aproveitado para esses fins o biogás é queimado em *flare*, cujo procedimento evita emissão direta do metano para a atmosfera conforme já mencionado. Na Figura 11, apresenta-se um resumo das soluções mencionadas.

Figura 11 - Diagrama com as alternativas de reaproveitamento do biogás



Fonte: Adaptado de ICLEI (2009).

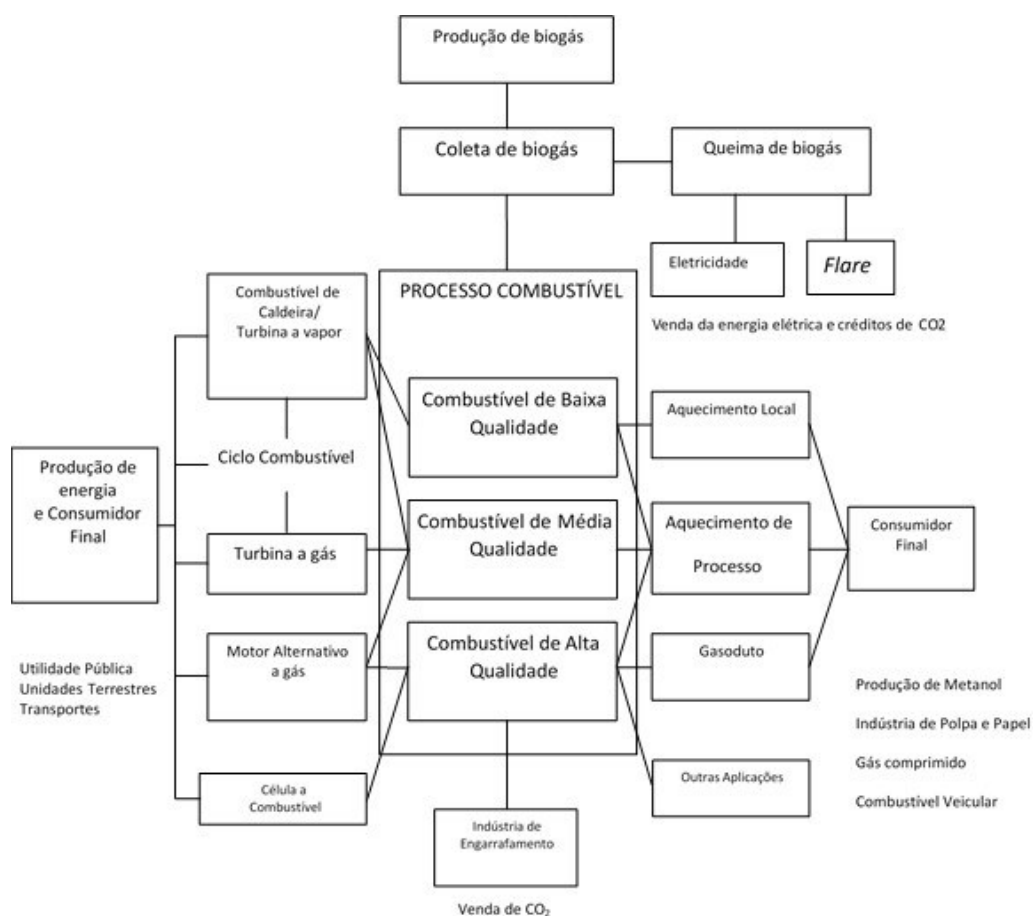
Para Santos (2011), independente do uso energético dado ao biogás, o mais importante para o sucesso de qualquer empreendimento do tipo é a utilização de um bom sistema de extração e de tratamento do biogás. Este sistema permitirá determinar tanto a quantidade quanto a qualidade do combustível que será recuperado destes gases. A EPE (2014) salienta que, tanto para geração de energia elétrica como para produção de combustível, a infraestrutura necessária para a recuperação do biogás dependerá de um custo de implantação e operação que deverá ser avaliado para cada aterro. Embora este estudo não contemple a avaliação econômica, por motivo de desviar-se dos objetivos desta pesquisa, cabe ressaltar que a viabilidade de um projeto de recuperação de biogás também está associada à quantidade de gás gerado no aterro.

A escolha da melhor opção para um sistema de conversão energética a partir do biogás de aterro dependerá de vários fatores, inclusive da viabilidade de um mercado de energia, de análises de custos dos projetos, das fontes de receita, além de determinadas considerações técnicas e regulatórias, conforme já mencionado (EPE, 2014).

Todavia, qualquer que seja o destino objetivado para o biogás, Lobato (2011) ressalta que sempre haverá a necessidade de algum tipo de tratamento. Esse requisito poderá ser mínimo, a exemplo da simples remoção de condensado para usos menos nobres como a combustão direta, ou de forma completa, quando se quer a injeção na linha de gás natural ou a utilização como combustível veicular. Na Figura 12, exemplificam-se as rotas para utilização do biogás de RSU.



Figura 12 - Rotas para utilização do biogás de RSU



Fonte: Elaborado a partir de EPE (2014).

Embora o biogás abarque os propósitos apresentados, esta pesquisa concentrará atenção apenas nas alternativas de reaproveitamento para geração de energia elétrica e combustível, este último com foco no biometano.

A escolha por essas alternativas baseia-se, essencialmente, na premissa de que os biocombustíveis são indicados como principais substitutos de combustíveis fósseis e a eletricidade proveniente de RSU ser uma energia sustentável (GUZIANA, et al., 2014). Assim, cabe apresentar detalhadamente os processos selecionados neste estudo.

### 4.3.2 Energia Elétrica

De acordo com Santos (2011), para gerar energia elétrica a partir do biogás são utilizados dispositivos que inicialmente convertem a energia química presente no combustível, no caso o metano, em energia cinética de rotação, por meio dos motores. Em seguida, o motor é conectado a um gerador, que transformará esta energia cinética de rotação em energia elétrica. Segundo o autor, qualquer que seja o dispositivo de conversão da energia química do metano em energia cinética de rotação, este deverá estar conectado a um gerador para a geração de energia elétrica.

A EPE (2014) explica que o biogás é comumente utilizado na alimentação de grupos motor-gerador de combustão interna de pequena potência, adequados à queima de gás pobre. No entanto, "mesmo alimentados com combustível de baixo poder calorífico, o rendimento desses geradores pode superar 35%" (EPE, 2014, p.18).

Aydi e outros (2015) afirmam que os motores de combustão interna representam a tecnologia mais empregada para a conversão do biogás em eletricidade. Além disso, apresentam uma eficiência de geração de energia elétrica de 33%. Para Yang e outros (2013), esta eficiência situa-se na faixa de 25 a 35%.

Para Nogueira (2013), além dos motores a combustão interna, as turbinas a gás e as microturbinas também são utilizadas para produzir energia. Para a conversão, os motores de combustão interna possuem mais eficiência e custo de aquisição mais acessível. De acordo com o autor, no caso das turbinas a gás, estas possuem maior eficiência global de conversão quando operadas em cogeração (calor e eletricidade simultaneamente), mas o valor do equipamento e seus custos de operação e manutenção são mais elevados. Além disso, as microturbinas necessitam do gás combustível com propriedades mais controladas que os motores convencionais (NOGUEIRA, 2013).

Dentre as tecnologias convencionais para a conversão energética do biogás já mencionadas por Santos (2011) e Nogueira (2013), Abreu, Avelino e Mônaco (2011), assim como a USEPA (2015), também destacam as turbinas a gás e os motores de combustão interna (ciclos Otto e Diesel). Argumentam que os motores a combustão interna são indicados para gerar energia à pequenas e médias capacidades, uma vez que são mais adequados devido ao seu

menor custo e maior eficiência nesta faixa. No caso das turbinas, estas são mais indicadas para altas capacidades a fim de obterem viabilidade, com possibilidade de melhorar quando operadas em ciclos combinados.

Segundo a USEPA (2015), as turbinas a gás são recomendadas para utilização em projetos a partir de 5MW, uma vez que assim é possível obter maiores ganhos de escala. Tanto o custo por kW de capacidade de geração como a eficiência são menores quando se aumenta o tamanho da turbina. Assim, em projetos de energia com o biogás geralmente a eficiência fica em torno de 20% a 28% em processos de operação com plena carga. Já em ciclo combinado, em processos de recuperação do calor perdido nos gases de escape da turbina para capturar eletricidade adicional, a eficiência pode chegar a 40% em comparação com os motores de combustão interna.

Nos estudos de Abreu, Avelino e Mônaco (2011) os motores a combustão interna de ciclos Otto ou Diesel revelaram maior eficiência. No caso dos Motores de ciclo Diesel, os autores trabalharam com taxas de compressão mais elevadas, com necessidade de operar nestes com o biogás misturado ao diesel ou biodiesel, o que representou um insumo adicional para o aterro sanitário.

A Tabela 9 apresenta a comparação da potência e rendimento para as tecnologias mencionadas.

Tabela 9 - Tecnologias de conversão

TECNOLOGIA	POTÊNCIA INSTALADA	RENDIMENTO ELÉTRICO
Motores a gás (Ciclo Diesel)	30 kW – 1 MW	30% - 40%
Motores a gás (Ciclo Otto)	30 kW – 20 MW	25% - 40%
Turbina a gás (Médio Porte)	500 kW – 150 MW	35% - 42%
Microturbinas (Pequeno Porte)	30 kW – 100 kW	24% - 28%

Fonte: Elaborado a partir de PECORA et al.(2008); ABREU, AVELINO, MONÂCO (2011); PAVAN (2010); LOBATO (2011); BARROS, FILHO, SILVA (2014); VALENTE (2015);

Segundo Pecora e outros (2008), o mercado brasileiro já dispõe de motores Otto adaptados para operar com o biogás, além de técnicos especializados, favorecendo a viabilidade de instalação desses equipamentos nos aterros sanitários do Brasil.

Srinivasan, Mago e Krishnan (2010) também argumentam que os motores de combustão interna são as principais escolhas quando altas densidades de energia e eficiências são desejáveis. Devido à disponibilidade de combustível relativamente barato em décadas passadas, os motores de combustão interna haviam sido

otimizados para altas densidades de energia e baixas emissões. No entanto, nos últimos anos, com a escalada dos preços dos combustíveis e preocupações com a sustentabilidade, a eficiência do motor assumiu maior importância (SRINIVASAN; MAGO; KRISHNAN, 2010). Para melhorar a eficiência do motor e preservar o seu funcionamento, cabe reforçar a necessidade de tratamento do biogás, principalmente para uso veicular.

### **4.3.3 Energia Veicular (Biometano)**

A resolução ANP Nº 8, de 30 de janeiro de 2015, em seu artigo 3º, conceitua biometano como "biocombustível gasoso constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do biogás" (BRASIL, 2015). Para efeitos desta resolução, o biogás difere-se do biometano por ser um gás bruto e, quando purificado para atender as especificações do gás natural, transforma-se em biometano e pode ser utilizado nos veículos adaptados para utilizar o gás natural veicular (GNV) como combustível.

Para Rasi (2009), o biogás é considerado um biocombustível de dióxido de carbono neutro e, se for utilizado como combustível veicular emite menores quantidades de óxido de nitrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono que os motores a gasolina ou diesel. Rasi (2009) reforça ainda que o interesse no uso de biogás como combustível para veículos e em células de combustível é crescente, mas se for utilizado para esses fins precisa passar por um processo exigente de purificação para remover principalmente o sulfureto de hidrogênio e os compostos halogenados, comumente encontrados, que podem causar corrosão nos motores ou turbinas, além de reduzir a eficiência do sistema.

Dentre os compostos já mencionados por Rasi (2009), Chernicharo e Stuetz (2008) acrescentam que o siloxano, material presente em cosméticos, desodorantes, aditivos de alimentos e sabão, merece atenção. Durante o processo de combustão do biogás contendo este elemento, pode ocorrer a formação de depósitos contendo sílica ( $\text{SiO}_2$ ) ou silicatos ( $\text{Si}_x\text{O}_y$ ), além de cálcio, enxofre, zinco e fósforo. Esses depósitos minerais provocam incrustações com espessuras variadas e precisam ser removidos por meio de métodos químicos ou mecânicos a fim de não causarem

prejuízos físicos às instalações por onde passa o biogás (CHERNICHARO; STUETZ, 2008).

De acordo com exigências da ANP, a purificação do biogás proveniente de um sistema de biodigestão anaeróbia precisa remover ou reduzir principalmente compostos como o gás sulfídrico ( $H_2S$ ), o dióxido de carbono ( $CO_2$ ), e água ( $H_2O$ ), a fim de promover o aumento do seu poder calorífico e elevar o potencial de metano.

Henriques (2004) complementa que, dependendo da aplicação particular, além de necessitar de ajustes de modo que não contenha esses elementos prejudiciais, é preciso uma série de filtros para remover os compostos citados.

A remoção desses componentes inclui a retirada do  $CO_2$  até que a porcentagem de metano se aproxime à do gás natural, para assim ser utilizado para os mesmos fins. De acordo com a ANP, por meio da Portaria 128, de 28 de agosto de 2001, a porcentagem mínima de metano no gás natural para uso veicular deve ser de 86% e máxima de  $CO_2$  de 5% (ICLEI, 2009). Atualmente, esta Portaria foi substituída pela Resolução ANP N° 8/2015, a qual estabelece que a porcentagem mínima de metano seja de 96,5 % e máxima de  $CO_2$  de 3 %<sup>17</sup>.

A retirada do dióxido de carbono ( $CO_2$ ) do biogás é uma operação unitária em que um integrante da mistura é dissolvido em um líquido com carbonato de potássio, hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio, entre outros. Dentre os métodos físicos podem-se destacar os crivos moleculares, a separação por membranas e colunas de absorção. Esses métodos são muito utilizados por causa da facilidade de regeneração dos reagentes utilizados no processo de absorção (WONG; BIOLETTI, 2002, apud ICLEI, 2009).

Segundo Iclei (2009), os processos de remoção dos contaminantes do biogás são cada vez mais estudados a fim de promover sua utilização. A aplicação para abastecimento da frota veicular de aterros sanitários é bem comum na Alemanha. No Brasil esse tipo de aplicação começou no ano de 1985, quando a Comlurb (Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro) utilizou o biogás como combustível veicular chegando a possuir uma frota de aproximadamente 150 veículos movidos a biogás, além do abastecimento de táxis.

---

<sup>17</sup> Exceto Região Norte (ANP, 2015).

Cunha (2016) acrescenta que, recentemente, empresários do setor de biogás começaram a abrir postos para abastecimento de frotas particulares com o biometano. A fundação Parque Tecnológico de Itaipu, localizada em Foz do Iguaçu, possui um projeto com biometano produzido em uma granja, desenvolvido pelo CIBiogás (Centro Internacional de Biogás) e que abastece mais de 40 veículos da Itaipu Binacional. Esse tipo de aplicação também ocorre em ônibus de uma montadora ligada a esse projeto. No caso do biometano produzido em aterro, pode-se citar o combustível produzido na usina do Aterro Sanitário Dois Arcos, no Rio de Janeiro, cuja injeção ocorre em caminhões de coleta de lixo.

#### 4.4 TECNOLOGIAS DO BIOGÁS APLICADAS NO ESTUDO

Conforme exposto nos itens anteriores, o objetivo de um projeto que visa a recuperação energética do gás metano gerado em aterros sanitários é a sua conversão em energia útil, tais como vapor, aquecimento, combustível para caldeiras ou fogões, combustível para veículos ou geração de eletricidade. As tecnologias mais empregadas nesses processos são as de geração de eletricidade em cogeração ou uso direto.

Geração e cogeração de energia podem ser conceituadas como a geração simultânea de duas ou mais formas de prover energia útil a partir de uma única fonte (SZKLO; TOLMASQUIM, 2001). As tecnologias empregadas nesses processos já se desenvolveram e se consolidaram no mercado atual, permitindo uma diversidade de sistemas e potências com o uso de diferentes combustíveis, inclusive com o biogás (VALENTE, 2015; EPE, 2014).

As principais tecnologias são: os motores de combustão interna, as turbinas e microturbinas (PAVAN, 2010; LOBATO, 2011; VALENTE, 2015). Por essa razão essas tecnologias serão descritas em detalhes a seguir.

##### 4.4.1 Motores de Combustão Interna

De acordo com Valente (2015), os motores de combustão interna (MCI) são máquinas que convertem a energia térmica de um combustível líquido ou gasoso em energia mecânica por meio do acionamento de pistões confinados em cilindros. Esses motores geralmente baseiam-se em dois tipos de ciclos: Otto e Diesel, ou, motores de ignição por centelha e de ignição por compressão, respectivamente.

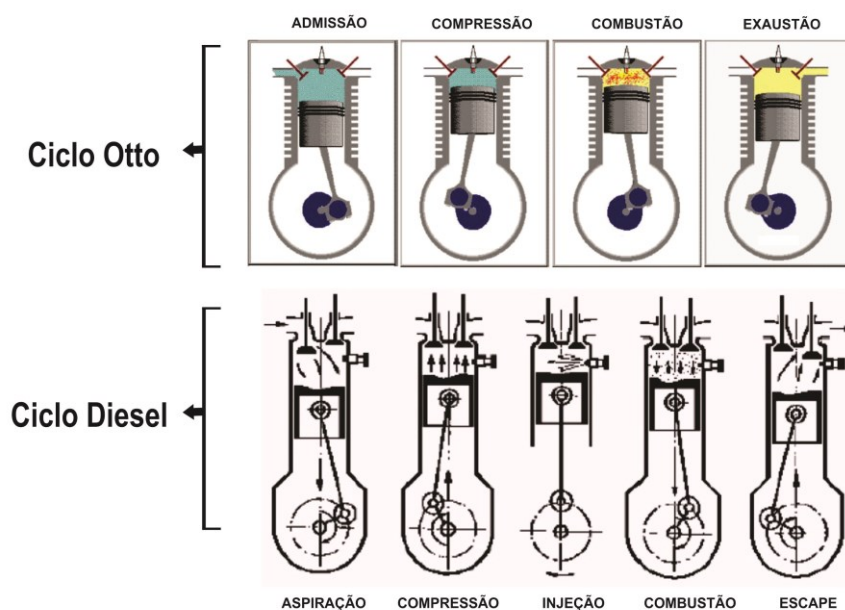
Os MCI podem utilizar diversos combustíveis gasosos, tais como gás natural, propano, butano, biogás, gás de síntese, nafta química, etc.; combustíveis líquidos como álcool, gasolina, diesel, biodiesel, etc. e também admitem a mistura de ambos, por meio da mistura de combustíveis gasosos com líquidos numa proporção que permita a auto-ignição, chamados de bi-combustíveis (VALENTE, 2015).

Para Lobato (2011) a cogeração consiste em aproveitar o calor residual originado nos processos termodinâmicos de produção de energia elétrica, que de outra forma seria desperdiçado. Para uma aplicação secundária esse aproveitamento pode se dar sob a forma de vapor (água quente e/ou fria).

Por mais eficiente que seja a transformação da energia de um combustível em energia elétrica, a maior parte dessa energia é transformada em calor e perdida para o meio ambiente. Assim, por meio da cogeração, pode-se aproveitar esse calor antes perdido, elevando a eficiência energética do processo. Os moto-geradores, seja de ciclo Otto seja de Diesel, possuem eficiência de rendimento entorno de 30 a 40%, conforme já apresentado na Tabela 09. Geralmente atingem eficiências globais de 70 a 80% nas aplicações de cogeração de calor e eletricidade (LOBATO, 2011).

A principal diferença entre os ciclo Otto e Diesel consiste na forma de combustão. No ciclo Otto, a combustão acontece devido a explosão do combustível por meio de uma fagulha na câmara de combustão, enquanto que no ciclo Diesel a combustão ocorre por meio da compressão do combustível na câmara de combustão (PECORA, 2006). A Figura 13 exemplifica ambos processos.

Figura 13 - Desenho esquemático do funcionamento de um motor ciclo Otto e ciclo Diesel



Fonte: Elaborado a partir de PECORA (2006).

Mendes (2005) afirma que a vantagem desses motores (MCI) é a flexibilidade para implantar o sistema de geração, uma vez que pode ser de pequeno porte e ampliado conforme o crescimento da quantidade de gás gerado durante o período de vida útil do aterro.

Pavan (2010) complementa que o uso de MCI é a alternativa mais aplicada no aproveitamento de gases de aterro pelo seu baixo custo, facilidade de operação e manutenção e elevada eficiências quando aplicados em cogeração.

#### 4.4.2 Turbinas

As turbinas a gás geralmente são utilizadas para geração de eletricidade quando existe um maior fluxo de gás de aterro, o que a torna ideal para grandes locais de disposição, com projetos de no mínimo 3 a 4 MW (USEPA, 2002, apud PAVAN, 2010). Neste caso, a economia na produção elétrica e a eficiência do sistema crescem conforme a escala do projeto.

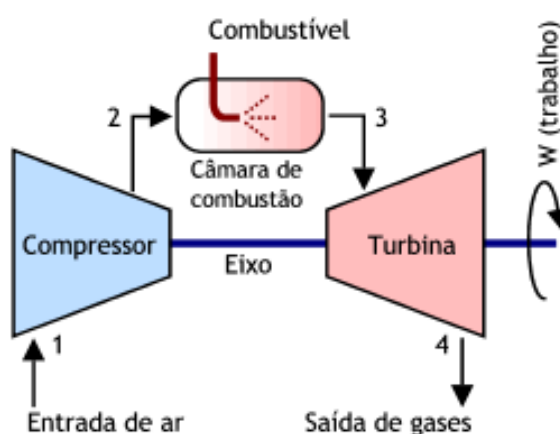
As turbinas a gás tendem a apresentar menos problemas de corrosão, no entanto possuem maiores custos quando comparadas aos motores de combustão interna. Além disso, necessitam de gás com maior qualidade. O fato de exigirem pressões



muito maiores de gás na entrada ocorre pela necessidade de compressores de gás, com elevados custos de instalação e de operação (USEPA, 1996, apud MENDES, 2005; LOBATO, 2011).

Apesar de ser mais cara que os MCI, a turbina a gás possui muitas vantagens atrativas, tais como tamanho mais compacto, alta flexibilidade, confiabilidade, rapidez na partida, menos necessidade de mão de obra para operar, além de ter melhor desempenho ambiental quando comparada à turbina a vapor e com os MCI. Cabe ressaltar também que apresenta baixa eficiência, principalmente em carga parcial, mas é uma desvantagem que pode ser superada pela cogeração (GUPTA; REHMAN; SARVIYA, 2010). Na Figura 14 apresenta-se um esquema de como funciona este equipamento.

Figura 14 - Desenho esquemático do funcionamento de uma turbina a gás



Fonte: MSPC (2016).

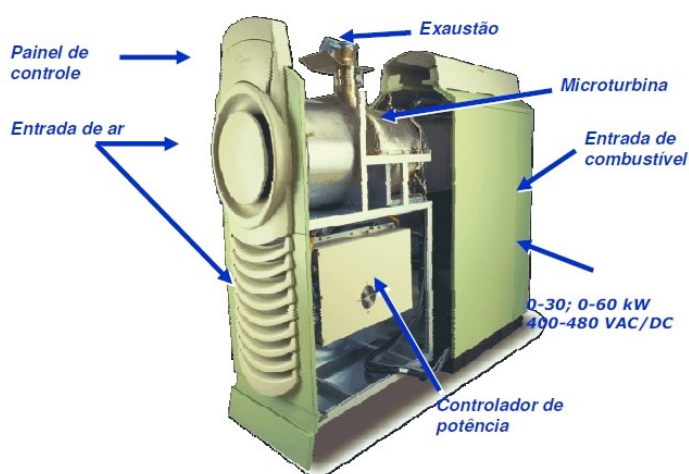
Conforme exposto na Figura 14, o combustível é fornecido para a câmara de combustão a uma pressão bem elevada, entre 6 e 11 atm, onde é queimado junto com o ar. A liberação de calor provoca a expansão dos gases, que, na sequência, movimentam a turbina e esta o gerador, gerando energia. Para a produção combinada de eletricidade e calor, as turbinas a gás devem ser equipadas com uma unidade de recuperação de calor dos gases de exaustão, para permitir a conversão em energia térmica (LOBATO, 2011).

#### 4.4.3 Microturbinas a gás

As microturbinas consistem em pequenas turbinas de combustão operando na faixa de 20 a 250 kW, com maiores velocidades de rotação e versatilidade no uso de diversos tipos de combustível, tais como o gás natural, biogás, GLP (Gás Liquefeito de Petróleo), gás de poços de petróleo e plataformas offshore, diesel/gas oil e querosene (PECORA, 2006).

O processo nas microturbinas ocorre quando o ar é aspirado e forçado a seguir para o interior da turbina em meio a condições de alta velocidade e pressão. Assim, o ar mistura-se ao combustível e é queimado na câmara de combustão, local onde o processo de queima é administrado para obtenção de maior eficiência e menores níveis de emissão. Os gases gerados na queima desse processo são expandidos nas palhetas da turbina, gerando trabalho. Os gases não aproveitados nesse sistema são exauridos para a atmosfera (PECORA, 2006). Na Figura 15 exemplifica-se este processo.

Figura 15 - Componentes do sistema da microturbina



Fonte: PECORA (2006).

Pilavachi (2002) apresenta as características vantajosas da microturbina, que por ser de pequeno porte permite maior flexibilidade operacional, o que favorece a geração de energia em pequenas localidades e com isso a ampliação de regiões com potencial para a recuperação de biogás. Somado a isso, uma outra vantagem é a redução nas emissões, especialmente de óxidos de nitrogênio, quando comparadas

com os motores de combustão interna e turbinas de grande porte<sup>18</sup>. Para Knowles e Lee (2012), recentemente, devido às melhorias técnicas na fabricação de turbinas mais robustas, as turbinas a gás podem atingir eficiência térmica entre 30 e 45% em ciclo simples (Ciclo Brayton), com temperaturas de entrada na turbina superior a 1400 C. A única desvantagem consiste em possuir um custo elevado para pequenas potências, decorrente da pequena escala de produção. No entanto, reforça-se a sua contribuição ambiental para reduzir emissões poluentes. Nesse aspecto, cabe informar que o Brasil assumiu importante compromisso na Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas relacionado a participação dos resíduos.

Segundo a Lei nº 12.187/2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima, juntamente com o seu Decreto Regulamentador nº 7.390/2010, o Brasil assumiu voluntariamente o compromisso de reduzir a emissão de gases de efeito estufa num patamar entre 36,09% e 38,90% até 2020. O artigo 5º deste decreto informa que a projeção base das emissões nacionais de GEE para o ano de 2020 é de 3.236 milhões tonCO<sub>2</sub>eq. Desse total, a redução do setor de Processos Industriais e Tratamento de Resíduos deve ser de 7,23%, ou seja, de 234 milhões de tonCO<sub>2</sub>eq (BRASIL, 2010a). Assim, salienta-se que o emprego das tecnologias mencionadas pode contribuir para auxiliar nesta questão.

#### 4.5 MODELOS TÉCNICOS PARA PREVISÃO DA GERAÇÃO DE GÁS

A previsão de geração de gás é essencial para a avaliação técnica e econômica que determinará a viabilidade da implantação de projetos de aproveitamento de gás de aterros sanitários, mas terminada a fase de projeto, é importante, sobretudo, para auxiliar na gestão e controle das emissões de gases nesses locais (ABREU, 2014).

Para Lamborn (2012), os modelos de previsão de gás mais simples consideram somente o crescimento microbiano e a degradação. Já os modelos de maior complexidade consideram tanto o crescimento microbiano e degradação como o

---

<sup>18</sup> As emissões ficam num patamar abaixo de 9 ppm, enquanto que para turbinas a gás elas são de 50 ppm. No caso de motores de combustão interna as emissões podem atingir até 3.000 ppm (PILAVACHI, 2002).

líquido, o transporte de gás e de calor por meio dos resíduos, a liquidação bem como também as reações químicas ocorridas no interior do aterro.

Segundo Paraskaki e Lazaridis (2005), a literatura científica fornece vários modelos empregados para quantificar a produção de gases em aterros sanitários. Estes modelos incluem estimativas estequiométricas e cinéticas. Os cálculos estequiométricos permitem estimar a máxima produção teórica de biogás, considerando a reação de decomposição anaeróbia da matéria orgânica (cálculos estáticos). Os cálculos cinéticos são realizados por modelos empíricos que, baseados em equações matemáticas, simulam os processos biológicos e físico-químicos primários da produção de biogás no aterro sanitário.

Fernandes (2009) orienta que, para a utilização dos modelos matemáticos, é de fundamental importância a caracterização química dos resíduos. Assim, pode-se obter o potencial de produção teórica do biogás. No caso de ausência desses dados, pode-se ainda utilizar de forma indireta a composição gravimétrica dos resíduos.

Fernandes (2009) salienta ainda que, embora existam diversos modelos para estimar a produção de biogás, todos podem ser utilizados para desenvolver uma curva de geração que prediz a geração de gás por um período de tempo. Tanto a produção total de gás quanto a taxa em que os gases são gerados podem sofrer variações conforme o modelo utilizado, porém a quantidade do resíduo presumido passível de decomposição é o parâmetro de entrada mais importante e comum a todos os modelos.

Para Scharff e Jacobs (2006) os modelos de previsão de geração de gás de aterro mais utilizados são os monofásicos e multifásicos de primeira ordem, os quais descrevem o decaimento de geração de metano durante um período de tempo. Porém, esses modelos necessitam de validação em regiões que possuem diferenças climáticas e de caracterização dos resíduos. Neste caso, a validação dos modelos é necessária e pode ocorrer por meio das medições de gás coletados considerando-se a eficiência na coleta e a oxidação do metano. O Quadro 6 apresenta os principais modelos teóricos de geração de biogás.

Quadro 6 - Modelos teóricos para geração de biogás

Modelos Teóricos	
Modelos Monofásicos	Modelo TNO
	Modelo LandGEM(USEPA)
Modelos Multifásicos	Modelo TNO Multifásico (Afvalzorg)
	Modelo EPER Francês
	Modelo IPCC, 2006 e Banco Mundial

Fonte: ABREU (2014)

Conforme descrito por Abreu (2014), os modelos monofásicos consideram a matéria orgânica contida nos aterros em sua totalidade com uma taxa constante de degradação, obtida a partir da média da quantidade de carbono biodegradável que cada tipo de resíduo contém nessa mistura. Os modelos multifásicos dividem os RSU em diferentes grupos, conforme sua respectiva taxa e potencial de degradação.

Embora este trabalho utilize o Modelo LandGEM em sua metodologia, os modelos recomendados pelo Banco Mundial e pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) também serão apresentados porque utilizam equações cinéticas de primeira ordem e possuem os mesmos parâmetros de entrada, conforme indicado por Borba (2006):

- Massa de resíduos inserida no aterro anualmente;
- Tempo de atividade do aterro e/ou após o fechamento;
- Taxa de geração de metano (k);
- Potencial de geração de metano ( $L_0$ ).

O parâmetro  $L_0$ , relativo à capacidade potencial de geração de metano, depende somente do tipo de resíduos contido nos aterros, e varia entre 5 e 310  $m^3$  CH<sub>4</sub>/ t resíduo. O valor de  $L_0$  é proporcional à quantidade de matéria orgânica presente, ou seja, quanto mais elevado o conteúdo orgânico, maior será também o valor de  $L_0$  (ABREU, 2014).

A taxa de geração de metano, representada pela variável "k", determina a velocidade de geração do biogás e de esgotamento do vazadouro. "É função da umidade do resíduo, tipo de resíduo, disponibilidade de nutrientes para o processo anaeróbico, pH e temperatura" (BORBA, 2006, p. 18). Assim, segundo a EPA (2005), quanto maior o valor de k, mais elevada será a taxa de geração de metano.

Todavia, após a estabilização da matéria orgânica contida nos aterros, essa taxa tende a cair.

Abreu (2014) afirma ainda que as taxas mais rápidas ( $k=0,2$  ou uma meia-vida de aproximadamente 3 anos) associam-se a condições de umidade elevada e materiais rapidamente degradáveis, como restos alimentares. As taxas mais lentas ( $k=0,03$  ou uma meia vida de aproximadamente 23 anos) estão associadas a aterros de resíduos secos e resíduos de degradação lenta, tais como a madeira e o papel.

#### 4.5.1 Metodologia do Banco Mundial

A metodologia do Banco Mundial utiliza o Modelo Scholl Canyon, caracterizado como um modelo cinético de primeira ordem e embasado na premissa de que há uma fração constante de material biodegradável no aterro por unidade de tempo (ABREU, 2014). Este modelo é representado pela Equação 1, conforme segue:

$$Q_{(\text{CH}_4)_i} = k \times L_0 \times m_i \times e^{-k \cdot t} \quad (1)$$

Onde:

$Q_{(\text{CH}_4)_i}$  = Metano produzido no ano  $i$  a partir da seção  $i$  dos resíduos ( $\text{m}^3/\text{ano}$ );

$k$  = Taxa de geração de metano ( $\text{ano}^{-1}$ );

$L_0$  = Potencial de geração de metano ( $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{t}$  resíduos);

$m_i$  = Massa de resíduos despejada no ano  $i$  ( $\text{t}/\text{ano}$ );

$t$  = Anos após o fechamento.

Os valores indicados para a constante de geração de metano ( $k$ ) sofrem variações de acordo com a precipitação anual, conforme elencados na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores de  $k$  sugeridos pelo Banco Mundial conforme precipitação anual.

Precipitação anual	Campo dos valores $k$ ( $\text{ano}^{-1}$ )		
	Relativamente inerte	Moderadamente degradável	Altamente degradável
<250 mm	0,01	0,02	0,03
>250 e <500 mm	0,01	0,03	0,05
>500 e <1000 mm	0,02	0,05	0,08
>1000	0,02	0,06	0,09

Fonte: ABREU (2009).

Tanto para Borba (2006) como para Abreu (2014), o potencial de geração de metano ( $L_0$ ) representa sua produção total por tonelada de resíduo. Valores típicos para este parâmetro podem variar de 125 m<sup>3</sup> a 300 m<sup>3</sup> de metano por tonelada de resíduo.

O Banco mundial sugere ainda o uso de um valor pré-estabelecido de  $L_0$  de 170 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/t de resíduos ou valores conforme apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores de  $L_0$  em função da degradabilidade do resíduo

Categorização do resíduo	Campo dos valores $L_0$ (m <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub> /t RSU)	
	Valor mínimo	Valor máximo
Relativamente inerte	5	25
Moderadamente degradável	140	200
Altamente degradável	225	300

Fonte: Adaptado de ABREU (2009).

Abreu (2014) e Borba (2006) mencionam ainda que a Equação 1 não permite uma representação adequada de aterros de RSU ativos, uma vez que neste caso a exponencial da equação assume o valor um (1), o que fornece para aterros sem grandes inserções anuais de resíduos uma geração constante de metano. Tal situação independe do tempo de atividade do aterro.

#### 4.5.2 Metodologia do IPCC

As instruções do IPCC sugerem dois métodos para estimativa das emissões de metano originadas em aterros: (1) o método simplificado, embasado na suposição de que o total de metano potencial libera-se durante o ano em que se produz a disposição dos resíduos, representado pela Equação 2, e o método de decomposição de primeira ordem, representado pelas Equações 3 e 4. Este último método gera um perfil de emissões que depende do tempo transcorrido e que retrata melhor as legítimas pautas do processo de degradação ao longo do tempo (ABREU 2014; BORBA, 2006).

$$CH_4\text{gerado}[t/\text{ano}] = \sum [(A \times k \times RSU_T(x) \times RSU_F(x) \times L_0(x)) \times e^{-k(t-x)}] \quad (2)$$

$$CH_4\text{emitido} \left[ \frac{t}{\text{ano}} \right] = [CH_4\text{gerado} - R(t)] \times (1 - OX) \quad (3)$$

$$L_0 = FCM(x).COD(x).CODF.F.16/12 \quad (4)$$

Onde:

$t$  = Ano de realização do inventário (ano);

$x$  = Ano de contribuição (desde início de atividade até  $t$  em ano);

$A = \frac{(1-e^{-k})}{k}$  = Fator de normalização para corrigir a soma (adm.);

$k$  = Constante de geração ( $\text{ano}^{-1}$ );

$RSUT(x)$  = Total de RSU gerados no ano  $x$  (t/ano);

$RSUF(x)$  = Fração de RSU depositada no aterro no ano  $x$  (adm.);

$RSUT(x)$  = massa de resíduos despejada no ano  $x$  (t/ano);

$L_0$  = potencial de geração de metano (t  $\text{CH}_4$ /t RSU);

$FCM(x)$  = fator de correção do metano no ano  $x$  (adm.);

$COD(x)$  = fração de carbono orgânico degradável no ano  $x$  (t C/t RSU);

$COD_F$  = fração do carbono orgânico degradável assimilado (adm.);

$F$  = fração de metano no gás do aterro (na ausência de dados 0,5) (adm.);

16/12 = conversão de carbono a metano (adm.);

$R(t)$  = quantidade de metano recuperada no ano  $t$  (t  $\text{CH}_4$ /ano);

$OX$  = fator de oxidação (adm.).

Borba (2006) acrescenta ainda que Equação 2 não permite uma representação pertinente de aterros de RSU fechados, uma vez que a fração exponencial é sempre crescente, o que gera um crescimento constante na geração de biogás. Por outro lado, se o ingresso de resíduos no aterro for considerado como zero, a equação é zerada.

#### 4.5.3 Metodologia LandGEM (USEPA)

Para Scharff e Jacobs (2006) o modelo matemático LandGEM é muito simples e direto. Por isso é amplamente utilizado e indicado como base para outros modelos, como o USEPA, selecionado para este estudo. Felca e outros (2015) afirmam que é um modelo de primeira ordem elaborado pelo *Control Technology Center* (CTC) da *Environmental Protection Agency* (EPA, 2005), empregado para contabilizar a



quantidade e variações na geração de gases em aterros, que calcula, além do metano, a emissão de 49 outros componentes.

De acordo com Thompson e outros (2009), o LandGEM utiliza os mesmos cálculos do modelo *Scholl-Canyon*, porém a massa de resíduos é dividida por dez. A equação utilizada na versão 2.01 do LandGEM considera a geração de metano por ano, de forma semelhante ao *Scholl-Canyon*. Entretanto, a equação da versão 3.02 considera a geração de metano a cada 0.1 incremento de ano, produzindo apenas uma pequena redução na estimativa das emissões se comparada à versão anterior.

Para Emkes, Coulon e Wagland (2015) o modelo LandGEM exige uma pequena quantidade de dados de entrada para gerar uma estimativa da evolução das emissões de gases de aterro cumulativos ao longo do tempo. Do mesmo modo, Felca e outros (2015) realizaram uma análise do LandGEM e do modelo sugerido pelo Banco Mundial. O resultado desse estudo revelou que ambos demonstraram ser eficazes para calcular a produção de biogás, mas o modelo LandGEM destacou-se como mais adequado por conter maior número de variáveis.

Nesse aspecto, após comparar diversos métodos, Mendes (2007) também confirma que o modelo LandGEM é considerado como o mais apropriado para prever a geração de gases em aterros.

Pelos motivos argumentados, justifica-se o uso deste método no presente estudo e, assim, cabe aprofundar os detalhes relativos à sua utilização.

#### 4.5.3.1 Descrição do Modelo LandGEM

O modelo LandGEM é uma ferramenta com interface do software Microsoft Excel® cuja utilização pode estimar as taxas de emissão de gás total em aterros sanitários, sendo estes: metano, dióxido de carbono, gases não metânicos e poluentes atmosféricos específicos de aterros de resíduos sólidos municipais.

O LandGEM compreende nove planilhas contidas em uma planilha eletrônica do software *Microsoft Excel*®. Os nomes das planilhas bem como suas funções estão apresentados no Quadro 7. As planilhas mais importantes para o cálculo da

produção de metano são: “entrada do usuário” (*User Inputs*), “resultados” (*Results*) e “gráficos” (*Graphs*).

Quadro 7 - Planilhas do LandGEM e suas funções

NOME	FUNÇÃO
<b>Introdução</b>	Visão geral do modelo e notas importantes sobre o uso do LandGEM.
<b>Entrada do usuário</b>	Inserção das características do aterro, dos parâmetros do modelo, seleção de até 4 gases/poluentes (gases de aterro total, metano, dióxido de carbono, gases não metânicos e 46 poluentes do ar), e taxas de aceitação de resíduos.
<b>Poluentes</b>	Edição das concentrações de poluentes atmosféricos e dos pesos moleculares existentes, com possibilidade de adicionar até 10 novos poluentes.
<b>Entrada para a revisão</b>	Os usuários podem consultar e imprimir dados utilizados pelo modelo.
<b>Metano</b>	Calcula as estimativas de emissões de metano por meio da equação de primeira ordem da taxa de decomposição.
<b>Resultados</b>	Estimativas de emissões em tabela para até quatro gases/poluentes (selecionados em fase de entrada) em Mg/ano, de m <sup>3</sup> /ano e a escolha do usuário de uma terceira unidade de medida (média de ft <sup>3</sup> /mim e m <sup>3</sup> /ano ou toneladas curtas por ano).
<b>Gráficos</b>	Apresenta estimativas e emissões em forma gráfica para até 4 gases/poluentes (selecionados em fase de entrada) em Mg/ano, de m <sup>3</sup> /ano e a escolha do usuário de uma terceira unidade de medida (selecionada na planilha de resultados).
<b>Inventário</b>	Visualiza-se em tabela as estimativas de emissões para todos os gases/poluentes para um único ano especificado pelo usuário.
<b>Relatório</b>	Permite ao usuário consultar e imprimir entradas e saídas do modelo em um relatório de síntese.

FONTE: Adaptado de USEPA (2015).

Para estimar as emissões dos gases, este modelo pode usar tanto os dados específicos do aterro como também parâmetros padronizados, no caso de ausência de alguns dados. O modelo reúne dois conjuntos padronizados de parâmetros: padrões *Clean Air Act* (CAA) e padrões de inventário (USEPA, 2005).

O primeiro conjunto baseia-se em regulamentos federais norte-americanos para RSU de aterros norte-americanos (USEPA, 2005). Sameer Mustafa, Sameerah Mustafa e Mutlag (2013) indicam que o segundo modelo, relativo aos padrões de inventário, baseia-se na Compilação de Fatores de Emissão de Poluentes do Ar (AP-42) da USEPA, e pode ser utilizado para gerar as estimativas de emissão para uso em inventários de emissões atmosféricas de modo a permitir testes específicos no local na ausência de dados. O modelo LandGEM é representado pela Equação 5.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \cdot \sum_{j=0,1}^1 \cdot k \cdot L_0 \cdot \left(\frac{M_i}{10}\right) \cdot e^{-k \cdot t_{ij}} \quad (5)$$

Onde:

$Q_{CH_4}$  → geração anual de metano no ano de cálculo ( $m^3/ano$ );

$i$  → incremento de tempo de um ano;

$n$  → (ano do cálculo) - (ano inicial de aceitação de resíduos);

$j$  → incremento de tempo de 0,1 ano;

$k$  → taxa de geração de metano ( $ano^{-1}$ );

$L_0$  → potencial de geração de metano ( $m^3/Mg$ );

$M_i$  → massa de resíduos recebida no  $i$  ano ( $Mg$ );

$t_{ij}$  → idade da  $j^a$  seção de massa de resíduos  $M_i$  aceita no  $i$  ano.

Os parâmetros de nomenclatura CAA e AP- 42 são empregados para o cálculo da geração de metano em aterros sanitários, conforme descrito no Quadro 8:

Quadro 8 - Parâmetros utilizados para estimar a geração de metano em aterros sanitários

Nome	Descrição	Utilização
AP-42	<i>Compilation of air pollutant emission factors</i> (Compilação de fatores de emissão de poluentes atmosféricos)	Parâmetros de $L_0 = 100 m^3/Mg$ de resíduos e $k=0,02ano^{-1}$ (regiões áridas < 635 mm/ano) ou $k=0,04 ano^{-1}$ (regiões áridas > 635 mm/ano).
CAA	<i>Clean Air Act</i> (Lei do Ar Limpo)	Parâmetros de $L_0 = 170 m^3/Mg$ de resíduos e $k=0,02 ano^{-1}$ (regiões áridas 635 mm/ano).

Fonte: EPA (2005).

Cabe mencionar que os parâmetros do Quadro 7 foram alcançados a partir de resultados de uma série de dados de monitoramento de aterros, especialmente no início do ano 1990, e a partir de experimentos em laboratório regidos em condições sub ótimas de biodegradação (EPA, 2005).

Segundo Fernandes (2009), o programa LandGEM designa valores pré-estabelecidos para os parâmetros  $L_0$  e  $k$ , a fim de obter uma avaliação prévia conservadora do aterro. Reforça, contudo, que esses parâmetros de entrada precisam ser selecionados com conhecimento das condições específicas do aterro bem como da localização geográfica deste.

Figueiredo (2012) também infere que os parâmetros  $L_0$  e  $k$  consideram as características do ambiente, tais como: clima, tipo de resíduos, etc. e acrescenta que

são os dados mais importantes da Equação 5. De forma teórica, o fator  $k$  varia de 0,003 a 0,21 (ano<sup>-1</sup>). O fator  $L_0$  é proporcional à porcentagem de matéria orgânica presente nos resíduos, e sofre variações de 0 (ausência de material degradável) até 300 m<sup>3</sup>/Mg.

Assim, por meio da quantidade de resíduos aterrados anualmente e das constantes de geração, pode-se incrementar o modelo, considerando-se cada incremento no valor de 1 ano. Desta forma, obtém-se como resultado a taxa de geração de metano em m<sup>3</sup>/ano. Para Fernandes (2009), a fim de se obter uma simulação mais precisa, é necessário calcular  $L_0$  e  $k$  nas condições locais do aterro.

Ressalta-se que existe uma importante característica observada no LandGEM, cuja qual compreende que para uma quantidade de resíduos considerada num determinado ano, a quantidade gerada de gases é contabilizada somente no ano seguinte. Isso significa que, os gases gerados no primeiro ano de deposição de resíduos são apurados apenas no segundo ano. Do mesmo modo, os gases gerados no último ano de deposição de resíduos são considerados exclusivamente no ano seguinte ao encerramento do aterro, o que justifica o pico de geração que ocorre neste ano.

#### 4.5.3.2 Potencial de geração de metano: Parâmetro $L_0$

O potencial de geração de metano, representado pelo parâmetro  $L_0$ , depende somente do tipo e da composição dos resíduos dispostos em aterros. Quanto maior o teor de celulose dos resíduos, maior será o valor deste parâmetro (EPA, 2005).

Os valores padrões de  $L_0$  utilizados pelo LandGEM são representativos dos RSU. O valor desta variável  $L_0$  é medido em unidades métricas de metros cúbicos por megagrama (m<sup>3</sup>/Mg) a fim de ser coerente com a CAA, conforme empregado na equação de taxa de decomposição de primeira ordem (EPA, 2005). A Tabela 12 apresenta os cinco valores de  $L_0$  utilizados no LandGEM.

Tabela 12 - Valores de  $L_0$  determinantes do potencial de geração de metano

<b>Tipo de Emissão</b>	<b>Tipo do Aterro</b>	<b>Valor <math>L_0</math> (m<sup>3</sup>/Mg)</b>
CAA	Convencional	170 (omissão)
CAA	Zona Arida	170
Inventários	Convencional	100
Inventario	Zona Arida	100
Inventario	Úmido (Biorreator)	96

Fonte: EPA (2005).

#### 4.5.3.3 Constante de decaimento: Parâmetro k

Conforme contido no manual LandGEM, versão 3.02, o parâmetro k determina a taxa de geração de metano para a massa de resíduos no aterro. Quanto maior o valor de k, mais rapidamente a taxa de geração de metano aumenta e então decai ao longo do tempo. O valor de k é inicialmente uma função de quatro fatores, sendo eles: (1) teor de umidade da massa de resíduos; (2) disponibilidade de nutrientes para os microorganismos que decompõem os resíduos e geram metano e dióxido de carbono; (3) pH da massa de resíduos; (4) temperatura da massa de resíduos (EPA, 2005).

Ensinas (2003) afirma que a constante de decaimento "k" está associada ao tempo que a fração de carbono orgânico degradável (COD) do resíduo leva para decair para metade de sua massa inicial, podendo ser obtida por processo iterativo quando se tem a vazão de gás metano do aterro, o valor de  $L_0$  e a quantidade e o tempo de deposição dos resíduos no local.

Os valores padronizados da constante k usados no modelo LandGEM estão listados na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores da constante de decaimento k

<b>Tipo padrão</b>	<b>Tipo de Aterro</b>	<b>Valor k (ano<sup>-1</sup>)</b>
CAA	Convencional	0,05 (omissão)
CAA	Zona Arida	0,02
Inventario	Convencional	0,04
Inventario	Zona Arida	0,02
Inventario	Molhado (Bioreator)	0,7

Fonte: EPA (2005).

#### 4.5.3.4 Resultados do LandGEM em literatura científica

De forma geral, a literatura científica apresenta diversos valores para os parâmetros k e  $L_0$ . Esses valores variam conforme o estudo e a metodologia desenvolvida pelos pesquisadores.

Filho (2005) salienta que a U.S.EPA designa valores estabelecidos previamente para cada um dos parâmetros k e  $L_0$  para uma avaliação preliminar conservadora do aterro. Todavia, esses parâmetros de insumo devem ser selecionados com conhecimento das condições específicas do aterro e da sua localização geográfica. Na América Latina e Caribe, por exemplo, o conteúdo orgânico do resíduo, a presença de umidade e o grau de compactação variam e, na maior parte dos casos, aumentam o potencial para a geração de gás em relação ao resíduo tipicamente encontrado na América do Norte e na Europa.

Faour, Reinhart e You (2007) realizaram estudos em aterros nos Estados Unidos da América (EUA) e utilizaram o LandGEM para a regressão de dados e geração de estimativas de parâmetros k e  $L_0$ . Argumentaram que o LandGEM foi selecionado por ser um modelo simples, com bom ajuste de dados e possuir indicação da U.S.EPA como Modelo de Emissões de Gás de Aterro. Assim, os autores utilizaram três formas para determinar os parâmetros do modelo para três diferentes tipos de dados, sendo: (1) análise de dados de longo prazo dos aterros, o que inclui a deposição de resíduos ao longo de um curto período de tempo; (2) análise de dados de longo prazo dos aterros, o que inclui a deposição de resíduos por vários anos; (3) análise de dados de curto prazo, realizada a partir de aterros úmidos. Todavia,

embora sem a disponibilidade dos dados relativos ao teor de umidade específico desses locais os registros indicam a ocorrência de recirculação de chorume e adição de umidade.

Os aterros identificados como SSWMC, ATERRO A e CSWMC, utilizaram a análise de dados dos aterros de longo prazo, a qual inclui deposição de resíduos ao longo de vários anos. Como resultado, foram obtidos para o aterro SSWMC um  $k=0,21$  ( $\text{ano}^{-1}$ ) e  $L_0=115$  ( $\text{m}^3/\text{ton}$ ), para o ATERRO A um  $k=0,11$  ( $\text{ano}^{-1}$ ) e  $L_0=95$  ( $\text{m}^3/\text{ton}$ ) e para o aterro CSWMC um  $k=0,12$  ( $\text{ano}^{-1}$ ) e  $L_0=87$  ( $\text{m}^3/\text{ton}$ ).

Assim, os parâmetros são utilizados de acordo com as condições da região de estudo e características dos aterros nessas localidades. No Brasil destacaram-se para este trabalho as pesquisas de Fernandes (2009) em aterros sanitários de Belo Horizonte (MG) e Gervázio e outros (2010) em aterros localizados no Espírito Santo (ES).

No estudo de Gervázio e outros (2010), o modelo LandGEM foi utilizado para obter a avaliação da produção de metano em três aterros localizados na Região Metropolitana da Grande Vitória, sendo: (1) aterro Brasil Ambiental, em Aracruz; (2) aterro CTRVV, em Vila Velha; e (3) aterro Marca Ambiental, em Cariacica.

No primeiro aterro, a partir de coleta *in loco* e medições realizadas nos drenos e na superfície das células do aterro, Gervázio e outros (2010) calcularam o valor  $L_0 = 79,18$   $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ton}$ . RSU conforme metodologia do IPCC (1996). Em seguida compararam o valor de  $L_0$  calculado com o valor teórico previsto pelo Banco Mundial ( $L_0=140$   $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ton}$ . RSU) em função da degradação dos resíduos. Os resultados obtidos apontaram que o potencial de geração de metano teve seu valor triplicado com  $L_0=140$   $\text{m}^3\text{CH}_4/\text{ton}$ . RSU, elevando conseqüentemente sua produção. A taxa de geração de metano obteve um cálculo com valor de  $k=0,17$ , uma vez que constatou-se a atividade de recirculação de chorume no local, precipitação anual em torno de 1300 mm e massa orgânica em cerca de 60% dos resíduos, o que conferiu a classificação como aterro úmido por parte da administração.

Ainda nesta pesquisa, Gervázio e outros (2010) adotaram um teor de 55% de metano com o objetivo de melhorar a visualização da curva de metano nos gráficos gerados, uma vez que ao considerar uma composição de 50% de metano e 50% de dióxido de carbono essas curvas ficariam sobrepostas. A comparação dos valores

gerados para diferentes  $L_0$  permitiu notar um crescimento significativo da taxa de produção anual de biogás. O ano de 2009 pode ser destacado como exemplo, pois para 109.200 toneladas de resíduos recebidos calculou-se uma produção anual de metano de  $2,594 \times 10^3$  ton equivalente a  $3,889 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, com o emprego de  $L_0 = 79,18$ , sendo que para  $L_0=140$  a produção anual foi de  $6,88 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. Como o  $L_0$  representa o potencial de geração de metano, verificou-se que seu valor foi quase dobrado, justificando portanto, o crescimento da produção.

Nos demais aterros, CTRVV e Marca Ambiental, Gervázio e outros (2010) utilizaram valores teóricos de  $k$  e  $L_0$ . Desta forma, em conformidade com *LandfillControl Technologies*, em *LandfillGas System Engineering Design Seminar* (1994), o valor de  $L_0$  varia de 140 a 180 em climas úmidos. Assim, para o CTRVV foi adotado um  $L_0 = 140$  m<sup>3</sup>/ton de resíduo e  $k = 0,10$  ano<sup>-1</sup> no aterro da CTRVV e um  $L_0 = 164$  m<sup>3</sup>/ton de resíduo e  $k = 0,10$  ano<sup>-1</sup> para o aterro da Marca Ambiental.

Em ambos aterros, adotou-se também como composição dos gases o percentual de 50% para o metano e 50% para o dióxido de carbono, cujo resultado gráfico apresentou-se com as curvas sobrepostas. Relativo à análise volumétrica da geração de biogás, a curva gerada no gráfico da CTRVV se apresentou mais suave. Tal diferença pode ser explicada pelo potencial de geração de metano ( $L_0$ ) adotado pelas empresas e pela quantidade de resíduos depositados anualmente, uma vez que a CTRVV aceita um  $L_0$  menor que a Marca Ambiental, além de também dispor de menor quantidade de resíduos depositados anualmente.

Por outro lado, Fernandes (2009) realizou uma pesquisa em aterro sanitário experimental de Belo Horizonte e calculou  $L_0$  com base na composição gravimétrica do resíduo depositado e nas condições de controle e operação do aterro. O valor de  $k$  não foi possível de ser calculado porque foram constatados valores muito baixos relativos aos dados de vazão nos drenos de gás. Por isso, o autor empregou valores de  $k$  de outros aterros, sendo: Bandeirantes, em São Paulo ( $k=0,0395$  ano<sup>-1</sup>) e Delta, em Campinas ( $k=0,0283$  ano<sup>-1</sup>), conforme empregado por Ensinas (2003).

Desta forma, Ensinas (2003) afirma que a constante de decaimento ( $k$ ) relaciona-se com o tempo necessário para a fração de carbono orgânico degradável (COD) do resíduo decair pela metade de sua massa inicial, que pode ser alcançada por meio de processo iterativo quando se tem conhecimento da vazão de gás metano do



aterro, do valor de  $L_0$  e quantidade e o tempo de disposição do resíduo no local. Os valores de  $k$  e  $L_0$  estão dispostos tanto na Tabela 14 como na Tabela 15.

Tabela 14 - Valores de  $k$  obtido por Ensinas (2003)

Especificação	Valores de entrada		Produção de gás (t/ano)		
	$k$ (ano <sup>-1</sup> )	$L_0$ (m <sup>3</sup> /ton)	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	Total
Convencional	0,05	170	45	100	158
Áreas áridas	0,02	170	18	42	66
Inventário Convencional	0,04	100	21	48	75
Inventário áreas áridas	0,02	100	11	25	38
Inventário áreas úmidas	0,7	96	142	320	498
$L_0$ calculado/ $k$ (Aterro Delta)	0,0283	84	13	29	45
$L_0$ calculado/ $k$ (Aterro Bandeirantes)	0,0395	84	18	40	63

Fonte: Fernandes (2009).

De acordo com Fernandes (2009), os valores obtidos por meio do LandGEM com o emprego do valor de  $k$  de outros aterros foram significativamente inferiores aos encontrados no aterro experimental com medição direta de vazão, quando deveria ser maior, uma vez que os valores obtidos com o LandGEM demonstram a taxa de geração teórica de biogás dentro do aterro. No entanto, esses valores se aproximaram quando empregados valores extremos para os parâmetros  $k$  e  $L_0$  indicados pelo programa, conforme inventário para áreas úmidas, mas ainda assim, inferiores às medições *in situ*.

Em pesquisa realizada por Chakraborty e outros (2013), o potencial de geração de energia de RSU foram avaliados em três aterros de Nova Deli na Índia, denominados Ghazipur (GL), Bhalswa (BL) e Okhla (OL). A emissão de metano por ano foi estimada por meio do modelo LandGEM da USEPA (2005). Neste estudo, tanto os RSU totais como os segregados dispostos nos aterros foram submetidos a várias tecnologias, tais como incineração, gaseificação/pirólise, combustível derivado de resíduos (CDR) e gaseificação de plasma. Com a utilização da composição analisada de RSU, os potenciais de geração de metano ( $L_0$ ) para os resíduos totais foram calculados, respectivamente, como 79, 77 e 82 m<sup>3</sup>/ton de resíduos para GL, BL e OL. O valor de  $k$  empregado foi de 0,09 (ano<sup>-1</sup>) tendo como base o clima do

tipo tropical conforme indicado pela metodologia do IPCC de 2006. Os volumes percentuais de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> no biogás foram considerados como 50% em cada.

Kumar e Sharma (2014) também realizaram estudos utilizando o modelo LandGEM para estimar a geração de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) a partir de RSU depositados em aterros. As estimativas realizadas nesta pesquisa incluíram 23 cidades metropolitanas da Índia, dentre elas Bhopal, Patna e Mumbai, no período de 2001 e 2020.

Os valores de  $L_0$  calculados para essas cidades foram, respectivamente, de  $L_0=48,46$ ; 41,29 e 44,30m<sup>3</sup>/ton. Obteve valor de  $k=0,08(\text{ano}^{-1})$  para a cidade de Mumbai, avaliado como elevado em relação às demais cidades e precipitação anual média, considerada a mais alta dentre as 23 cidades metropolitanas analisadas. As cidades de Bhopal e Patna apresentaram um  $k$  de 0,05 ( $\text{ano}^{-1}$ ). A Tabela 15, elaborada por Oliveira e Cardoso (2017), sintetiza os parâmetros adotados nos estudos mencionados.

Tabela 15 - Características de aterros sanitários em alguns países

Local (País)	Aterro	Temperatura média externa (°C)	Precipitação média anual (mm)	k (ano <sup>-1</sup> )	L <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /ton.)	Referências
DELAWARE (EUA)	SSWMC	10,1 <sup>(1)</sup>	948 <sup>(1)</sup>	0,21	115	Faour, Reinhart, You (2007)
(EUA)	ATERRO	-	-	0,11	95	
DELAWARE (EUA)	CSWMC	10,1 <sup>(1)</sup>	948 <sup>(1)</sup>	0,12	87	
VILA VELHA (BRASIL)	CTRVV	24,7 <sup>(2)</sup>	1117 <sup>(2)</sup>	0,1	140	Gervázio et al. (2010)
CARIACICA (BRASIL)	MARCA AMBIENTAL	26 <sup>(3)</sup>	1200 <sup>(3)</sup>	0,1	164	
ARACRUZ (BRASIL)	BRASIL AMBIENTAL	28 <sup>(4)</sup>	1200 <sup>(4)</sup>	0,17	79,18	
BELO HORIZONTE (BRASIL)	DELTA	21,1 <sup>(5)</sup>	1491,3 <sup>(5)</sup>	0,0283	84	Fernandes (2009)
	BANDEIRANTES	21,1 <sup>(5)</sup>	1491,3 <sup>(5)</sup>	0,0395	84	
DELI (ÍNDIA)	GHAZIPUR	25,2 <sup>(6)</sup>	755.40 <sup>(7)</sup>	0,09	79	Chakraborty et al. (2013)
	BHALSWA	25,2 <sup>(6)</sup>	755.40 <sup>(7)</sup>	0,09	77	
	OKHLA	25,2 <sup>(6)</sup>	755.40 <sup>(7)</sup>	0,09	82	
BHOPAL (ÍNDIA)		18,7-31,7 <sup>(8)</sup>	1147,50	0,05	48,46	Kumar, Sharma (2014)
PATNA (ÍNDIA)	-	19,6 - 31-4 <sup>(9)</sup>	1130	0,05	41,29	
MUMBAI (ÍNDIA)		22,4 - 31,8 <sup>(10)</sup>	2334,60	0,08	44,30	

Fonte: OLIVEIRA; CARDOSO (2017).

Nota: (1) <http://pt.climate-data.org/location/18254/>; (2) <http://pt.climate-data.org/location/3163/>; (3) <http://www.incaper.es.gov.br/proater/municipios/Centrocerrano/Cariacica.pdf>; (4) <http://www.incaper.es.gov.br/proater/municipios/Nordeste/Aracruz.pdf>; (5) Matias (2012); (6) <http://pt.climate-data.org/location/30/>; (7) Kumar, Sharma (2014); (8) <http://wwis.ipma.pt/pt/city.html?cityId=524>; (9) <http://wwis.ipma.pt/pt/city.html?cityId=534>; (10) <http://wwis.ipma.pt/pt/city.html?cityId=226>.

## **5 A REGULAÇÃO ECONÔMICA DOS SETORES DE SANEAMENTO, ENERGIA ELÉTRICA E GÁS NATURAL**

O referencial bibliográfico do presente estudo apresentou em capítulos anteriores as possibilidades para se gerar energia com o biogás, com ênfase na fonte proveniente dos RSU. Verificou-se com a literatura apresentada que é possível obter benefícios econômicos, sócio ambientais e técnico operacionais por meio desta atividade, além de constatar sua contribuição como fonte renovável para complementar a matriz energética brasileira. Assim, faz-se essencial realizar a análise dos instrumentos legais e regulatórios que envolvem a questão, de modo a identificar as barreiras e as oportunidades que indiquem viabilidade no aproveitamento do biogás de RSU, tanto para geração de energia elétrica como para combustível veicular. Para tal, cabe discorrer sobre a regulação e os setores envolvidos na cadeia produtiva do biogás, os quais são: saneamento (RSU), energia elétrica e gás.

### **5.1. ASPECTOS GERAIS DA REGULAÇÃO**

De forma geral, regulação refere-se à variedade de atos normativos por meio dos quais os governos determinam exigências a serem executadas pelos agentes econômicos e/ou cidadãos. Esses atos normativos podem ser de várias categorias, tais como leis, regulamentos, decretos, acordos, circulares, portarias e resoluções (OCDE, 1997; ALBUQUERQUE, 2006). Nesse aspecto, a literatura regulatória apresenta diversos conceitos, dos quais alguns foram selecionados e apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 - Conceitos e objetivos da regulação

<b>CONCEITO</b>	<b>PREMISSA</b>	<b>REFERÊNCIA</b>
Define o ato de regular como a ação de organizar determinado setor ligado às agências, bem como também obter controle sobre as entidades atuantes nesse setor.	Jurídica	DI PIETRO (2006)
A regulação, em seu amplo sentido, envolve toda forma de organização da atividade econômica por meio do Estado, tanto na forma de intervenção por meio das concessões de serviços públicos como no exercício do seu poder de polícia administrativo.	Econômica	SALOMÃO FILHO (2001)
São atos normativos como leis, decretos, regulamentos, acordos, circulares, portarias e resoluções estabelecidos pelo governo e que devem ser cumpridos.	Econômica	OCDE (1997);
Padrão de intervenção do governo no mercado. Refere-se a impostos e subsídios de todos os tipos, controles legislativos e administrativos sobre preços, taxas e outras facetas da atividade econômica que sofre interferência do Estado.	Econômica	POSNER (1974)
Refere-se a políticas em que o governo controla preços e/ou decide que empresas participam no mercado.	Econômica	MATIAS (2006)
É uma forma contemporânea de ação do Estado. Sem dúvida, é, atualmente, um dos principais instrumentos por meio do qual os governos promovem o bem-estar social e econômico dos seus cidadãos.	Econômica	ALBUQUERQUE (2006)
<b>OBJETIVO</b>	<b>PREMISSA</b>	<b>REFERÊNCIA</b>
Resolver problemas de natureza econômica que o mercado por si não pode resolver, tais como a ocorrência de externalidades, sejam elas positivas ou negativas para a sociedade.	Econômica	POSNER (2010)
Controlar a estrutura e o funcionamento de alguns setores específicos como transportes, energia (principalmente energia elétrica e gás natural), comunicações, água e saneamento básico.	Econômica	ARAÚJO (1997)

Fonte: Elaboração própria.

Com base no Quadro 9, nota-se que a regulação está mais associada à premissa econômica. Todavia, segundo a OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, 1997), a regulação pode ser classificada em três tipos: (1) regulação econômica, na qual ocorre a interferência direta do governo nas decisões de mercado como concorrência, preços, entrada ou saída de agentes no mercado; (2) regulação social, que visa proteger os interesses públicos como a saúde, a segurança, o meio ambiente e a coesão social como um todo; (3) regulação administrativa, que refere-se à papelada e formalidades administrativas, denominada "burocracia", exigida pelos governos para documentar a aplicação das normas.

Para este trabalho, adota-se a definição da OCDE (1997), a qual conceitua regulação como os vários atos normativos por meio dos quais os governos instituem

exigências aos agentes econômicos e aos cidadãos, sob a perspectiva da regulação econômica. Nesse contexto, os setores que permeiam o presente estudo, saneamento (inclui RSU), energia elétrica e gás natural, por representarem um papel extremamente relevante para o desenvolvimento e crescimento econômico, estão vinculados à regulação econômica.

De acordo com Araújo (1997), as tarefas relativas à regulação econômica são tão antigas quanto à existência de sociedades organizadas em Estados. Desde as antigas civilizações da Babilônia, Egito e China até os dias atuais, uma parte significativa das normas e leis de cada sociedade tem como objetivo ordenar a atividade econômica de modo a garantir a prosperidade de todos.

Com base nessa concepção, Araújo (1997) explica que na realidade, não existe mercado operando sem alguma base de leis, normas e convenções sociais, que lhe conferem sua forma específica e até mesmo seu conteúdo. Todavia, no sentido moderno do termo, a literatura tem se baseado em situações nas quais órgãos e regulamentos existem para controlar a estrutura e o funcionamento de alguns setores específicos como transportes, energia (principalmente energia elétrica e gás), comunicações, água e saneamento básico.

Joskow (2000) entende que esses setores caracterizam-se por oferecer serviços básicos de infraestrutura, dos quais os consumidores devem cumprir normas e pagar tarifas estipuladas por autoridades reguladoras e não pelas forças de mercado. Desta forma, teoricamente, a influência direta do governo sobre tarifação, preços, políticas, normas para investimento, e etc. existe para garantir a qualidade dos serviços prestados.

Além de estarem subordinados à influência do governo, os setores de saneamento, energia elétrica e gás natural, estão sujeitos à “externalidades”, ou seja, afetam a terceiros e geram impactos em outras atividades e setores. Para Varian (2012) a principal característica das externalidades é que existem bens de uso comum, com os quais as pessoas se importam, e que não são vendidos nos mercados. Com base nesta ideia, Hall e Lieberman (2003) caracterizam tais bens como “bens públicos”, ou seja, aqueles providos pelo governo uma vez que o mercado não pode e não deve fornecer, decorrente de suas características exclusivas. Assim, o governo fica

com a responsabilidade de fornecer esses bens, geralmente de forma não excludente.

De forma geral, os setores mencionados possuem, no todo ou em parte, algumas características importantes, tais como: são considerados básicos para a vida econômica e social; apresentam externalidades amplas, o que significa inferir que seus produtos ou serviços afetam terceiros ou a sociedade como um todo; possuem economia de escala ou escopo abrangendo elevada quantidade de pessoas; constituem monopólios; necessitam de grandes investimentos, os quais são inerentes ao setor, ou seja, possuem ativos específicos e irreversíveis, que uma vez empregados os tornam reféns da atividade; possuem a obrigatoriedade de fornecimento constante, e por isso, não podem parar de operar.

Assim, por constituírem as características citadas, os setores de energia elétrica e gás enquadram-se na categoria de monopólios naturais (transmissão e distribuição de energia elétrica; e transporte de gás natural e distribuição de gás canalizado), com exceção do setor de RSU, o qual está incluído somente na categoria de monopólio (coleta, transporte e tratamento).

E assim caracterizados, são setores que necessitam de regulação para operar com mais qualidade e de maneira eficiente, uma vez que as características mencionadas, tais como externalidades, bens públicos e monopólios, inerentes aos setores estudados, constituem-se como exemplos de falhas de mercado. “Uma falha de mercado ocorre quando um mercado, deixado por si só, é ineficiente” (HALL; LIEBERMAN, 2003), o que justifica a necessidade de regulação.

Para Matias (2006), a justificativa teórica de maior relevância na visão econômica (embora não seja a única) para a atividade de regulação encontra-se no argumento de monopólio natural. Assim, cabe apresentar melhor este conceito, apresentando também a diferença de monopólio e monopólio natural.

### **5.1.1. Monopólio x Monopólio Natural**

Segundo Amaral Filho (2007), a ótica econômica considera monopólio a situação em que existe um único fornecedor de um bem ou serviço.

Por outro lado, Hall e Lieberman (2003) complementam o conceito de monopólio inserindo também a ideia de substitutabilidade como elemento chave no entendimento de monopólio.

Existe, geralmente, mais de uma maneira de satisfazer um desejo e um único vendedor de um bem ou serviço não é considerado um monopólio se outras firmas venderem produtos – substitutos próximos – que satisfaçam essa mesma preferência (HALL; LIEBERMAN, 2003, p.292).

Assim, explicam que o monopólio puro existe quando há somente um vendedor de um bem para o qual poucos compradores poderiam encontrar um substituto. O que se difere de monopólio natural.

No caso o termo “monopólio natural” decorre do fato de que, em determinadas situações, como por exemplo, na prestação do serviço de energia elétrica (ou, de forma geral, nas chamadas “indústrias de rede”), a existência de um único fornecedor oferece vantagens de maior eficiência econômica além de permitir menor custo na prestação do serviço (AMARAL FILHO, 2007).

Por outro lado, Hall e Lieberman (2003, p.293) adicionam a esse conceito o fato de que “um monopólio natural existe quando, devido a economias de escala<sup>19</sup>, uma firma pode produzir com um custo médio por unidade inferior ao que podem produzir duas ou mais firmas.” Em outras palavras, quando o conceito de monopólio está associado a economias de escala significa que na situação de monopólio natural não faria diferença no custo do serviço se mais uma pessoa fosse inserida, uma vez que uma única firma já está produzindo para todos no mercado. Além disso, a firma ou o mercado no qual se opera é caracterizado como monopólio natural quando, “a menos que o governo interfira, somente um vendedor sobrevive – o mercado evolui *naturalmente*, para um monopólio” (HALL; LIEBERMAN, 2003, p.293, grifo do autor).

Em resumo, a situação de monopólio existe quando somente uma entidade opera em um mercado onde praticamente não existe substituto para tal produto ou serviço. Já o monopólio natural ocorre quando uma única entidade pode produzir por um custo menor do que na existência de duas ou mais firmas.

---

<sup>19</sup> Araújo (1997), por sua vez, complementa que se um determinado bem ou serviço (não substituível facilmente) pode ser fornecido por uma única empresa para um mercado consumidor a menor custo que duas ou mais, com as tecnologias disponíveis, considera-se que este setor apresenta características de monopólio natural. Tal fato ocorre se existem economias de escala até volumes de produção suficientes da ordem da dimensão do mercado.



A visão de “monopólio natural” não é recente. John Stuart Mill, na publicação do seu livro “Princípios de Economia Política”, em 1848, já havia percebido que os serviços de água e gás para iluminação e aquecimento, presentes em Londres, obteriam um custo menor se fossem prestados sem duplicidade das instalações (AMARAL FILHO, 2007).

Para Kelman (2009), monopólios naturais devem ser exercidos visando ao bem-estar comum. No mundo todo, os sistemas jurídicos atribuem ao Estado tal responsabilidade, conhecida como titularidade. Neste caso, dependendo do serviço e sistema jurídico envolvido, o titular pode ser um ente federal (CF/1988, artigo 21, XX, b), estadual (CF/1988, artigo 25, § 2º) ou municipal. No caso do Brasil, o titular do serviço de energia elétrica é federal, o de distribuição de gás natural canalizado é estadual e o de saneamento é municipal (Lei Federal nº 11.445/2007). Este último ainda esbarra em controvérsias sobre sua titularidade ser estadual, municipal ou compartilhada, mas este aprofundamento não cabe neste trabalho.

Por fim, neste estudo, o conceito de regulação é compreendido como a intervenção do Estado na economia e no meio social com o objetivo de se alcançarem eficiência e equidade, empregadas como universalização na providência de bens e serviços públicos de caráter essencial por parte de prestadores de serviço estatais e privados (OCDE, 1997).

Assim, torna-se imprescindível discorrer de forma mais aprofundada sobre o motivo de regular, bem como apresentar a relevância das atividades inseridas no contexto econômico da regulação, sobretudo para os setores de energia elétrica, gás e saneamento (inclui resíduos), uma vez que são os cerne desta pesquisa.

## 5.2. PRINCIPAIS MOTIVOS DA REGULAÇÃO

Salgado e Motta (2005, p.4) afirmam que a regulação econômica de um mercado, alterando decisões de oferta e demanda, justifica-se, sobretudo, no momento em que os mercados falham na emissão de sinais corretos de preço que iriam garantir as escolhas adequadas e que, desta forma, maximizariam o bem-estar social.

Amaral Filho (2007) explica que a regulação estatal dos serviços de utilidade pública como transportes, saneamento, energia elétrica, gás e outros, cuja atividade é indispensável à sociedade atual, está mais propenso à falhas por causa de duas características básicas: monopólio e essencialidade. O primeiro é característico de situações em que existe um único fornecedor de um produto ou serviço, conforme já aludido. O segundo ocorre quando a atividade é de extrema relevância e necessidade para a sociedade (*affected with public interest*). Essas características influenciaram a ideia de regulação em vários locais do mundo.

A tradição centralizadora na França permitiu o surgimento da ideia de *service public*, direito de todo cidadão e que deve ser fornecido pelo Estado em garantia do bem comum. Na Grã-Bretanha e EUA, a desconfiança para com o Poder Central favoreceu um conceito mais distinto: o de *public utilities*, quando os serviços podem ser delegados a empresas privadas, mas com regulamentação e fiscalização social, também com interesse de garantir o bem comum. Em ambos os casos, existe o pressuposto de que os mecanismos de mercado não levarão por si só a resultados aceitáveis econômica, social ou politicamente. Nos demais países, esse processo aproximou-se mais de um ou de outro modelo, com adoção de formas híbridas ou variadas dos mesmos (ARAÚJO, 1997).

Esta ideia de regulação evoluiu e no sentido moderno do termo a revisão da literatura concentra-se em situações nas quais a existência de órgãos e regulamentos são necessários para controlar a estrutura e o funcionamento de setores específicos como transportes, energia, gás natural, comunicações, água, saneamento básico, dentre outros (ARAÚJO, 1997).

Nesta pesquisa, parte dos setores dos serviços de utilidade pública estudados estão inseridos no conceito de monopólio natural, já explicado. Cabe reforçar que trata-se de uma situação onde o interesse público é melhor servido por um monopólio regulado do que num meio de ampla concorrência. Amaral Filho (2007) salienta que em certas ocasiões, como no caso da energia elétrica (ou nas chamadas “indústrias de rede”), a existência de um fornecedor único permite mais vantagens, maior eficiência econômica e menor custo na prestação do serviço.

Neste contexto, as atividades regulatórias desempenham um papel fundamental dentro do processo monopolista. Assim, Tolmasquim (2015) entende por atividade

regulatória, a competência para editar normas, tomar decisões discricionárias e administrar conflitos que possam surgir num determinado setor. Decisões estas que atrelam vários setores.

A importância da regulação econômica estatal torna-se clara quando é vista como uma alternativa à falta de competição, onde entende-se que a competição não seja possível, além de não ser economicamente eficiente, sendo inevitável, portanto, o monopólio. A regulação estatal, desde então, desempenha um papel essencial, pois busca proteger a sociedade de práticas monopolistas, melhora o desempenho das empresas nos setores sob regulação, assegura o atendimento dos consumidores sem discriminação e fiscaliza o cumprimento dos padrões de qualidade estabelecidos por vários indicadores (AMARAL FILHO, 2007).

Posner (1974) resume a necessidade de regulação baseada em dois principais argumentos da teoria econômica: o primeiro é a teoria do “interesse” público, na qual a regulação é fornecida em resposta a demanda pública para a correção de falhas ou práticas de mercado injustas; o segundo é a teoria da “captura”, a qual sustenta que a regulação é fornecida em resposta às exigências dos grupos de interesse que lutam entre si para maximizar os rendimentos dos seus membros.

Em resumo, sob a ótica teórica, a regulação existe para combater falhas de mercado, assegurar a competitividade, diminuir custos de transação intrínsecos à provisão de bens públicos, evitar assimetrias de informação entre agentes econômicos, combater externalidades negativas advindas dessas interações, universalizar serviços e promover o interesse dos consumidores (NUNES, RIBEIRO, PEIXOTO, 2007). Para se alcançar tais objetivos, faz-se necessário o uso de instrumentos regulatórios, apresentados a seguir.

### 5.3. ASPECTOS ECONÔMICOS DA REGULAÇÃO

#### 5.3.1. Formas de regulação econômica

Segundo Salgado (2003), o ato de regular costuma concentrar-se em três pontos principais: preços, qualidade e condições de entrada e saída de agentes. E, para

Campos (2016b), embora a regulamentação econômica possa adotar restrições sobre uma extensa variedade de decisões das firmas, quatro decisões chaves estão sempre presentes, sendo elas: preços, quantidades, número de firmas e qualidade.

#### 5.3.1.1. Regulação por preço

A decisão com base no controle de preços especifica um preço ou vetor de preços que as firmas podem cobrar ou restringem as firmas na fixação de preços dentro de alguma amplitude (CAMPOS, 2016a). De forma geral, as agências reguladoras fixam preços de modo que as firmas reguladas possam obter uma taxa de retorno padrão capaz de permitir a ampliação do acesso ao serviço prestado, investimentos, cobertura de custos operacionais e a garantia de lucratividade.

Nesse aspecto, Araújo (1997, p.6) enfatiza que “a formação de preços é central à tarefa da regulação, pois concentra as questões sobre o excedente e sua distribuição”. Além disso, complementa que dentre as funções do regulador, a fixação de regras tarifárias que conciliem o interesse dos consumidores e da firma regulada merecem destaque.

Possas e outros (1997), Madeira (2010), Saiani e Toneto Júnior (2010) ressaltam que as regras de tarifação geralmente são o cerne da regulação nos setores de infraestrutura. Tais regras têm sido aplicadas comumente por meio de dois instrumentos: tarifação pela taxa de retorno e tarifação pelo preço-teto (*price cap*).

A tarifação por taxa de retorno estabelece um valor para cada serviço prestado pela empresa regulada, de modo a garantir a esta uma taxa de retorno que lhe assegure continuar atuando no mercado<sup>20</sup>. Na regulação por *price cap* inexistente a garantia de obtenção de uma taxa de retorno assegurada, pois se dá pela fixação de uma tarifa a ser utilizada para um serviço específico, embasada numa fórmula<sup>21</sup> de reajuste periódico que inclui a inflação e os ganhos de produtividade.

---

<sup>20</sup> “O cálculo pode ser feito da seguinte forma:  $R = CV + x(K)$ , em que R são as receitas, CV os custos variáveis (operacionais), K os ativos que serão remunerados e x a taxa de retorno, incluindo a depreciação. O valor da tarifa será igual a R” (MADEIRA, 2010, p. 137).

<sup>21</sup> Segundo Araújo (1997, p.15), esta fórmula é conhecida pelo nome “IPC -X + Y”, onde IPC representa o índice de preços, X representa a produtividade e Y correspondem aos eventos não previstos.

A ideia central da aplicação desta fórmula está resumida na seguinte situação: a partir do preço contratado e as metas de produtividade fixadas para os anos seguintes, qualquer ocorrência relativa à diminuição real de custos, sendo mais elevada que as metas, pode beneficiar a firma. Assim, esta teria incentivos para reduzir custos (ARAÚJO, 1997).

Para Salgado (2003), dentre os instrumentos de tarifação, o mais usual, e implementado no Brasil, é o regime de *price cap*. Esse regime objetiva estimular à eficiência produtiva, uma vez que confere ao regulador o poder de definir um teto para os preços médios ou para cada produto da firma, corrigido de acordo com a evolução de um índice de preços aos consumidores, subtraído de um percentual equivalente ao fator de produtividade, num período de anos prefixado.

Além desses modelos de regulação apresentados, embasados essencialmente em regras tarifárias, existe ainda a regulação pelo desempenho, conhecida como *yardstick competition* ou “regulação por comparação”. Esse modelo de regulação consiste na comparação de desempenho entre a empresa regulada e uma empresa fictícia, idealizada como referência, de modo que possibilite a avaliação dos níveis de produtividade, qualidade, investimentos, custos e preços praticados pela prestadora diante de padrões de referência (ARAÚJO, 1997; SALGADO, 2003).

Esse tipo de regulação por desempenho, embora force a empresa regulada a alcançar determinado nível de eficiência, reduzindo a assimetria de informações entre regulador e regulado (MESQUITA; CAMPOS, 2013), também apresenta riscos que inviabiliza sua eficácia. Possas e outros (1997) e Toneto Júnior e Saiani (2012) explicam que, no caso da tarifação por taxa de retorno, podem existir dificuldades para avaliar os parâmetros que servem de base para a determinação do preço. Isso pode causar desmotivação na busca por eficiência e redução de custos, uma vez que qualquer custo incorrido pelas prestadoras poderá ser recuperado por meio de tarifas mais elevadas. Além disso, pode ocorrer também a superestimação de investimentos.

#### 5.3.1.2. Regulação por quantidade

As decisões embasadas no controle da quantidade ocorrem por meio de metas quantitativas que devem ser atingidas num período de tempo determinado, visando à universalização dos serviços e o alcance de certo número de consumidores.

#### 5.3.1.3. Regulação por controle de entrada e saída de firmas do mercado

Com relação ao controle de entrada e saída, é um instrumento regulatório que permite a criação de barreiras à entrada e à saída de agentes no mercado, por meio de concessões<sup>22</sup>. Para Salgado (2003), é um mecanismo essencial em determinadas circunstâncias, pois visa garantir a eficiência produtiva, que consiste na exploração das economias de escala por parte da firma monopolista, produzindo ao menor custo possível. Essa situação ocorre por meio de contratos, que além de estipular prazos para a concessão, também devem disciplinar a saída de investidores, de forma a evitar prejuízos aos consumidores, no caso da firma monopolista optar pela desistência da operação.

#### 5.3.1.4. Regulação por qualidade

Para Araújo (1997), outras tarefas regulatórias incluem a garantia de padrões de qualidade do serviço, além de impedir discriminações injustas entre consumidores e o estímulo à eficiência e progresso técnico, além da exigência de serviço universal como direito de cidadania ou a fiscalização de externalidades. Para Campos (2016b), tais objetivos fazem parte da regulação pela qualidade dos produtos, que pode ser alcançada, por exemplo, por meio de certificação governamental.

---

<sup>22</sup> Conforme dispõe a Lei nº 8.987/1995, artigo 2, inciso II, concessão de serviço público é a delegação de sua prestação, feita pelo poder concedente, mediante licitação, na modalidade de concorrência, à pessoa jurídica ou consórcio de empresas que demonstre capacidade para seu desempenho, por sua conta e risco e por prazo determinado (BRASIL, 1995).

Embora esses modelos de regulação apresentados evitem prejuízos para a população, cabe destacar que existem falhas inerentes ao processo que geram problemas regulatórios. Nesse aspecto, cabe inserir brevemente os principais problemas decorrentes da aplicação prática desta atividade.

### **5.3.2. Problemas da regulação**

Uma vez que ocorrem falhas no mercado, estas favorecem a existências de problemas inerentes à regulação. Para este estudo procurou-se elencar brevemente os mais recorrentes, sendo eles: captura, assimetrias e subsídios cruzados.

Segundo Araújo (1997, p.11), cada arranjo institucional possui “vantagens e inconvenientes, e tende a refletir o marco político-institucional do país. Em todos os casos, entretanto, é possível identificar alguns elementos comuns. Há três atores sempre representados: firmas reguladas, governo, órgão regulador”. É a partir desses três principais elementos que ocorrem os problemas da regulação. Desta forma,

[...] nota-se uma tensão e possível ambigüidade no papel do regulador: ele deve responder a interesses da sociedade, expressos diretamente por representantes de grupos de pressão ou através de escalões superiores do governo, e aos interesses das firmas reguladas, de modo a alcançar compromissos satisfatórios. Para tanto, necessita mandato bem definido, conhecimento técnico e meios materiais e humanos. Isto, no entanto, não lhe assegura o funcionamento sem distorções. ARAÚJO (1997, p. 15)

Assim, Araújo (1997) destaca dois problemas decorrentes dessa interação, embora existam outros: tendências de certos grupos de pressão, representados diretamente ou através do governo, e tendências a favor das firmas reguladas. Em ambas situações, diz-se que o regulador foi capturado. Na primeira situação, a captura dá-se através de mecanismos políticos ou administrativos. Na segunda, os mecanismos são mais sutis e estão de certo modo vinculados à assimetria de informação entre regulador e regulados, mais individualmente associado à questão do conhecimento técnico.

Pinto Junior e Pires (2000) esclarecem que o problema da captura é a consequente perda da credibilidade da agência como arbitadora de conflitos, podendo ocasionar

a elevação dos custos da regulação e à ineficiência. Em síntese, tal ocorrência faz com que a regulação beneficie somente um específico grupo de interesse, em prejuízo de outros, resultando na alocação dos recursos de forma deficiente.

Outro problema recorrente é o de assimetria da informação, que ocorre porque existe uma assimetria essencial de informação entre o regulador e as firmas reguladas, que vai além do conhecimento técnico. Nesta situação, não há como o regulador ter conhecimento de todas as atividades de uma firma (ARAÚJO, 1997). Em decorrência disso, configura-se a impossibilidade dos agentes de um determinado setor, seja ofertantes seja demandantes, obterem acesso a importantes informações sobre àquela firma, para assim procederem à tomada de decisão mais adequada (MARINHO, 2006).

Em relação à dinâmica do processo, Proença e Prado (2011) apresentam alguns tipos de assimetria que podem ocorrer no ambiente regulatório, conforme exposto no Quadro 10.

Quadro 10 - Tipos de assimetria no ambiente regulatório

TIPOS DE ASSIMETRIA	DESCRIÇÃO
De informação	Empresas e concessionárias atuantes nos setores regulados detêm todo o conhecimento relativo ao seu negócio (informações técnicas, econômicas, concorrência, tendências mundiais, novas tecnologias, etc.) e esse fato é inerente à atividade econômica.
De recursos técnicos e financeiros	Os quadros especializados e recursos disponíveis às prestadoras tais como consultores, escritórios e técnicos, tendem a serem maiores dos que aqueles disponíveis às organizações de consumidores.
De oportunidades	Facilidade de acesso à agência pelo setor regulado, uma vez que os profissionais envolvidos no processo podem levar demandas ao regulador, tanto em reuniões externas (fóruns técnicos, congressos, simpósios, etc.) como no ambiente da agência.
De linguagem	Termos técnicos adotados no ambiente das Agências Reguladoras, o que torna difícil a compreensão por parte dos demais agentes envolvidos no processo.

Fonte: Elaborado a partir de PROENÇA; PRADO (2011); IDEC (2011).

Soma-se ao cenário de problemas regulatórios, a situação que envolve a política regulatória, quando esta procura manter uma distribuição de rendas politicamente ótima. Ao longo de um período de tempo, a política incorrerá na tendência de compensar mudanças na distribuição ótima conforme mudanças ocorridas nos processos de custo e demanda. Assim, em algum momento, a estrutura de preços



adotada deverá permitir subsídios cruzados aos consumidores de alto custo a partir das rendas geradas pelos preços cobrados de outros grupos (SALGADO, 2003; POSNER, 1974).

Em outras palavras, a ocorrência de subsídios cruzados se dá quando os custos mais elevados de uma determinada atividade são providos por atividades nas quais os custos são menores, de modo que a média dos custos dessas atividades possa ser equilibrada para manter mais uniforme o valor da tarifa cobrada. Nesse aspecto, Posner (2000) acrescenta que alguns serviços não lucrativos podem ser ofertados por período indefinido, por meio do lucro de outros serviços.

Nesse contexto, argumenta-se que as agências reguladoras no Brasil desempenham um papel precário e que, dada a precariedade da estrutura regulatória, os contratos de concessões entre companhias Estaduais e Municipais, por exemplo, apresentam-se incompletos no que tange à definição de aspectos tarifários e quanto à transparência de subsídios cruzados, o que eleva a possibilidade de captura, ineficiências e reduzido controle do serviço prestado (ARAÚJO, 1997; SEROA DA MOTTA; MOREIRA, 2006; TUPPER; RESENDE, 2004).

Como resultado de tal situação, observa-se a existência de sérios conflitos<sup>23</sup> regulatórios que geralmente terminam de forma litigiosa. Campos (2016c) menciona como exemplo o processo ocorrido entre agentes da indústria de gás natural relativo à reclassificação de gasodutos de transporte (ou de transferência). Neste conflito questionou-se até mesmo a competência regulatória para determinar se um gasoduto seria de transporte ou de distribuição. Assim como esta, outras situações semelhantes também ocorreram, no entanto, foge ao escopo deste estudo discorrer sobre tais situações.

Em síntese, os problemas regulatórios são amplos. Assim, na sequência, cabe apresentar algumas possibilidades que reduzem a ocorrência desses problemas.

---

<sup>23</sup> Reclassificação do gasoduto Atalaia-Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados (Fafen) e reclassificação do gasoduto Aratu-Camaçari.

### 5.3.3. Possibilidades de resolução dos problemas da regulação

Para evitar a ocorrência de falhas, Biener, Eling e Schmit (2014) apresentam alguns critérios para que a regulação seja eficiente, conforme apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 - Critérios para o bom desempenho da regulação

CRITÉRIOS	SUBCRITÉRIOS
1. A Regulação deve ser <b>adequada</b>	Os governos devem promulgar e aplicar leis que forneçam um quadro eficaz para a competitividade dos mercados.
	Os governos devem promulgar e aplicar leis que estabeleçam normas razoáveis como principal meio de proteger o público.
	Os governos devem estabelecer, tornar público e fazer cumprir as regras e procedimentos adequados e consistentes para identificar e lidar com problemas financeiros.
	Os governos devem desenvolver e implementar a regulamentação num ritmo de aplicação razoável.
2. A Regulação deve ser <b>imparcial</b>	Os governos devem garantir que a regulamentação seja aplicada com consistência e imparcialidade entre os agentes envolvidos, independente da sua nacionalidade.
3. A Regulação deve ser <b>minimamente invasiva</b>	Deve ser limitada ao motivo pelo qual é justificada, como uma proteção significativa e minimamente invasiva para realizar o seu propósito.
	Sujeita apenas a supervisão regulamentar essencial para proteger o público. Deve permitir o mercado determinar: (1) os serviços e produtos que devem ser desenvolvidos e vendidos; (2) Os métodos pelos quais serão vendidos; e (3) os preços que serão vendidos.
	Deve garantir que os clientes tenham acesso a informações suficientes para empoderá-los a fazer escolhas informadas e identificar os benefícios e o valor do seu produto.
4. A Regulação deve ser <b>transparente</b>	Os governos devem criar leis e regulamentos facilmente disponíveis ao público. Na elaboração de leis e regulamentos devem: (1) tornar disponíveis ao público; (2) convidar todos para comentar as propostas; (3) dar tempo suficiente para os envolvidos fornecerem comentários; (4) apresentar uma justificativa para todas as decisões; e (5) estabelecer e comunicar um processo justo pelo qual as decisões consideradas arbitrárias ou injusta possam ser contestadas.

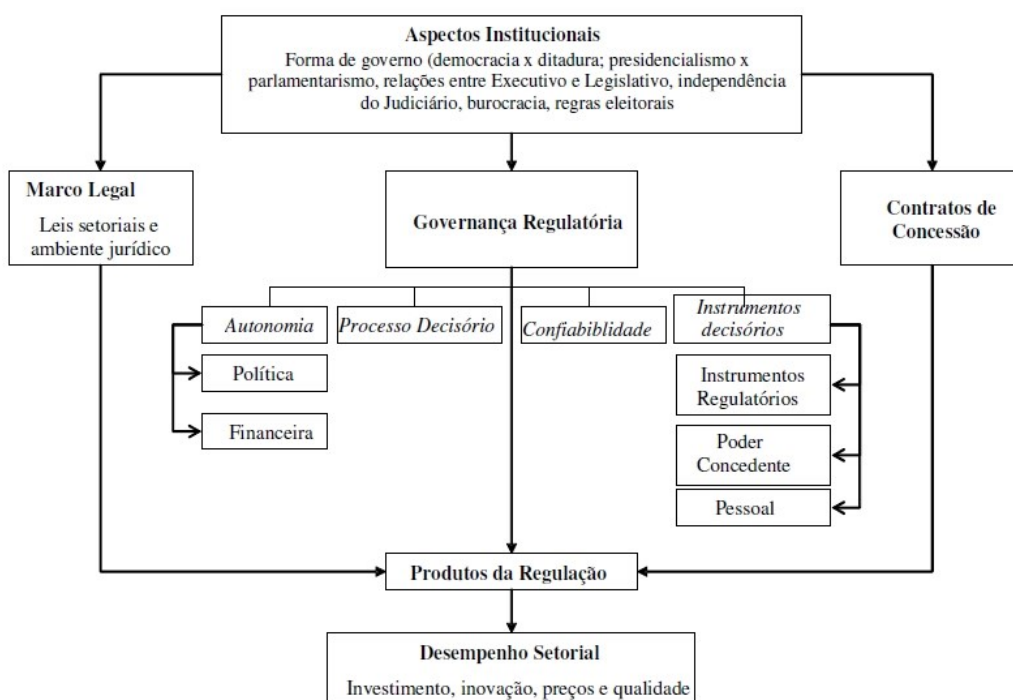
Fonte: Adaptado de BIENER; ELING; SCHMIT (2014).

Em complementação as ideias referidas no Quadro 10, a OCDE apresenta uma lista de referências, publicada em 1995, a fim de auxiliar decisões de regulação. Essas ideias foram incorporadas às Diretrizes para a Qualidade e Desempenho Regulador da OCDE em 2005 e abrangem os seguintes questionamentos: a regulação oferece um bom custo-benefício? A distribuição dos efeitos dentro da sociedade como um todo é transparente? A regulação é clara, consistente, compreensível e acessível? Todas as partes interessadas têm a oportunidade de expressar seus pontos de vista? Como se garante a conformidade às regulamentações? Os princípios inclusos

nesses questionamentos visam garantir que as instituições reguladoras sejam transparentes e não discriminatórias.

Em consonância com tais princípios, o Banco Mundial (2007) também apresenta uma estrutura de governança regulatória que deve dispor de: (a) autonomia para exercer com eficiência os poderes estabelecidos pelo seu estatuto; (b) um processo decisório que garanta a consistência e evite arbitrariedades; (c) acesso aos meios e instrumentos regulatórios apropriados para tomar medidas e fazer cumprir as suas determinações, e (d) confiabilidade. Do contrário, "a má governança regulatória leva à implementação incorreta de normas e contratos de concessão, influenciando o coeficiente entre risco e retorno dos projetos de infra-estrutura [sic]" (BANCO MUNDIAL, 2007, p.43). A Figura 16 exemplifica essa estrutura.

Figura 16 - Governança Regulatória, Eficiência e Desempenho Setorial



Fonte: BANCO MUNDIAL (2007).

Na sequência desse conteúdo, os setores de saneamento, energia elétrica e gás e serão analisados de forma mais aprofundada, já que são os setores que estão vinculados ao aproveitamento energético do biogás de aterro.

#### 5.4. A REGULAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE INFRAESTRUTURA APLICADOS NO ESTUDO

Os setores de infraestrutura como os de saneamento, energia e gás, sempre tiveram importância estratégica no processo de crescimento e desenvolvimento do país. Tal como no passado, o ritmo de expansão e a qualidade dos serviços ofertados nesses setores permanecem fundamentais para sustentar a taxa de crescimento econômico de longo prazo (ARAÚJO JR., 2005).

Para Araújo (1997), os setores mencionados possuem algumas características relevantes em comum, no todo ou em parte, tais como: seus produtos são considerados vitais para a vida econômica e social (são essenciais); apresentam externalidades significativas em sua operação, ou em outras palavras, as transações do setor afetam terceiros ou a população; dentro do setor podem existir monopólios naturais, assim como também complementaridades que favoreçam a coordenação sobre a competição; precisam de investimentos importantes, geralmente com longos prazos para retornos, além de serem específicos do setor, com custos irrecuperáveis.

Araújo Jr. (2005) complementa que os setores de saneamento, energia e gás são indústrias de rede. São assim denominadas em função da estrita complementaridade que existe entre os segmentos de suas cadeias produtivas, cujos elos estabelecem graus de interdependência entre os componentes desta rede, bem mais elevados do que aqueles existentes em outros tipos de indústria. Logo, a característica fundamental da indústria de rede é a fluidez do serviço dentro de uma estrutura física cujo formato são redes interligadas entre si.

Os segmentos estruturados em rede são também conhecidos como empresas “verticalmente integradas”, assim denominadas por realizarem boa parte das atividades da cadeia de suprimento. Quase todas as indústrias de rede não são, de fato, “indústrias” no sentido tradicional do termo, mas sim atividades prestadoras de serviços, como é o caso dos setores de infraestrutura (ARAUJO, 1997).

Nos setores de infraestrutura, muitos deles associados aos serviços públicos, uma das falhas de mercado mais expressiva associa-se ao conceito de monopólio natural, já apresentado. São setores que necessitam de investimentos intensos em

capital e, por isso, envolvem elevadas economias de escala<sup>24</sup> (quanto maior a quantidade de produção, menor o custo unitário) e, por vezes, de escopo<sup>25</sup>. Neste cenário, para uma dimensão específica da demanda, só existe espaço para uma única empresa produzir de forma eficiente, ou seja, ao menor custo possível. Desta forma, a regulação econômica define direitos exclusivos a um operador para que este potencialize essas economias. Em alguns casos, embora não ocorra monopólio, o nível da demanda permite apenas a atuação de poucas firmas, entre as quais uma é dominante e, portanto, caracteriza-se por um mercado com baixo nível de concorrência (SALGADO; MOTTA, 2005).

De acordo com Bahiense (2003), a partir da década de 1990, o Brasil passou por uma transição institucional nos setores de serviços públicos, que até então eram caracterizados como monopólios estatais. Essa mudança se deu três motivos principais: (1) escassez de recursos fiscais para financiar investimentos necessários; (2) baixo ritmo de inovações tecnológicas; (3) mudanças políticas e ideológicas que minimizaram restrições à propriedade privada de indústrias estratégicas, incentivando o aumento da participação dessas empresas nos serviços públicos.

Assim, ocorreu um processo de transição das empresas verticalmente integradas, consideradas como barreiras à introdução da competição, para um ambiente em que cada organização atuasse de forma separada. Foi um processo conhecido como desverticalização, que consistiu na segregação entre atividades reguladas e livres com o intuito de extinguir falhas de mercado e definir claramente a atuação de cada agente, tendo como principal instrumento a separação de empresas verticalmente integradas (TOLMASQUIM, 2015).

Nesse aspecto, a modificação do papel do Estado na economia brasileira, a partir da década de 1990, propiciou um novo aparato institucional constituído por órgãos de defesa da concorrência e agências reguladoras de serviços públicos recém-privatizados. Esses entes públicos foram criados por meio de princípios ordenadores

---

<sup>24</sup> Economia de escala ocorre quando há maximização da produção a ponto dos custos unitários reduzirem à medida que se aumenta a produção, decorrente a diluição dos custos fixos em mais unidades produzidas (SALGADO, 2003).

<sup>25</sup> Economia de escopo ocorre quando "a produção conjunta de uma única firma é maior do que a produção que poderia ser obtida por duas firmas diferentes cada uma produzindo um único produto" (PINDYCK; RUBINFELD, 1992, p. 222).

da economia inscritos na Constituição Federal de 1988, quais sejam, a livre iniciativa, a livre concorrência e a defesa dos consumidores (BAHIENSE, 2003).

Nesse contexto, as agências reguladoras foram criadas para atuar sobre setores vitais da economia, assumindo diferentes estatutos jurídicos, desde sua subordinação à administração pública direta até sua existência como órgão independente (NOLL, 1984, apud NUNES; RIBEIRO; PEIXOTO, 2007). O modelo de regulação por agências independentes<sup>26</sup> foi o que mais se difundiu no Brasil.

Segundo Albuquerque (2006), as agências reguladoras brasileiras foram criadas no âmbito do Programa de Desestatização a partir de 1990 e foram os pontos centrais da reforma regulatória. As agências foram criadas por lei e prescindiram de um marco legal geral para disciplinar-lhes a atuação. Nesse período foram criadas várias agências<sup>27</sup>. Destacam-se<sup>28</sup> a Lei nº 9.427/1996, que criou a ANEEL, e a Lei nº 9.478/1997, Lei do Petróleo, que criou a Agência Nacional do Petróleo (ANP)<sup>29</sup>. Essas leis ainda serão mencionadas no decorrer deste capítulo por abarcarem os setores estudados nesta pesquisa.

Nesses cenários de criação das agências reguladoras, percebe-se que o setor de saneamento, que contempla também a administração dos resíduos, não sobressaiu. Embora a regulação de água e esgoto tenham se incorporada ao Planasa (Plano Nacional de Saneamento Básico) nos anos 1970, percebe-se que os resíduos foram negligenciados. Para Galvão Jr. e Paganini (2009) tal fato pode estar associado a fatores relacionados ao *déficit* desse tipo de serviços no país, que envolvia basicamente água e esgoto. Dentre esses fatores, podem ser mencionadas a fragmentação de políticas públicas e a carência de instrumentos de regulamentação e regulação, além de insuficiência e má aplicação de recursos públicos.

De fato, desde o final da década de 1980 o Brasil apresentava dificuldades no estabelecimento de políticas no setor de saneamento. O principal impasse para o estabelecimento dessa política ocorreu devido à interpretação da Constituição

---

<sup>26</sup> Este modelo de regulação deve atender os princípios de independência decisória, os quais incluem autonomia administrativa, orçamentária e financeira da entidade reguladora, além de transparência, tecnicidade, celeridade e objetividade das decisões (BRASIL, 2007).

<sup>27</sup> Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL (Lei nº 9.472/1997); Agência Nacional das Águas - ANA (Lei nº 9.984/2000), dentre outras.

<sup>29</sup> Posteriormente a ANP recebeu novo nome, Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, conforme Lei nº 1.097/2005.

Federal de 1988 quanto à titularidade dos serviços nos sistemas integrados e nas regiões metropolitanas (GALVÃO JR.; PAGANINI; 2009).

Somente no ano 2007, a partir da criação da Lei nº 11.445/2007, juntamente com seu Decreto regulamentador nº 7.217/2010, que diretrizes nacionais para o saneamento básico foram estabelecidas, incluindo também a gestão dos resíduos devido à preocupação ambiental. E somente após três anos da Lei de saneamento que a Lei nº 12.305/2010, que trata especificamente dos resíduos sólidos, foi aprovada, e com muito esforço, pois já tramitava há mais de vinte anos no Congresso Nacional.

Neste cenário, percebe-se que as questões ligadas à gestão dos resíduos sólidos ainda é incipiente e, portanto, um caso à parte, uma vez que a gestão destes é compartilhada entre Governo Federal, Estados, Distrito Federal, Municípios e particulares, o que amplia a dificuldade de articulação entre todos os entes envolvidos. Todavia esse assunto será tratado mais adiante, no item que abordará especificamente os marcos regulatórios deste setor.

Retomando o assunto relacionado aos setores de infraestrutura, cada setor apresenta um estágio diferente de desenvolvimento tecnológico e características inerentes ao nível de competição em alguns segmentos da prestação dos serviços. Desta forma, os papéis da regulação assumem configurações diversas para cada setor (GALVÃO JR.; PAGANINI; 2009).

É importante esclarecer que, no setor dos RSU, embora os serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos tenham sido incluídos no setor de saneamento básico com a instituição da Lei nº 11.445/2007, não se configuram como indústria de rede e nem monopólio natural<sup>30</sup>. Mesmo assim, o setor necessita de regulação, uma vez que esta é essencialmente necessária para garantir a oferta e a qualidade do serviço prestado, de modo a proteger o usuário dos serviços e também assegurar que as obrigações e direitos das concessionárias sejam mantidos.

Embora não haja informações sistematizadas e detalhadas sobre a regulação do setor, há um consenso quanto à titularidade dos serviços serem de competência dos

---

<sup>30</sup> Essas características são aplicadas somente ao setor de água e esgoto.

Municípios, os quais possuem também a responsabilidade de fiscalização (NOZAKI, 2007). Nesse sentido, a prestação dos serviços de limpeza e manejo dos resíduos sólidos pode ser feita de forma direta pelos Municípios (por meio de consórcios) ou delegada a um ente privado ou público, conforme disposto nas Leis nº 8.987/1995<sup>31</sup>, nº 11.079/2004<sup>32</sup> ou nº 11.107/2005<sup>33</sup>. Essas questões serão tratadas com mais detalhes na sequência deste item.

No setor de energia, Salgado (2003) afirma que o modelo institucional adotado no Brasil definiu regras de entrada, tarifas e estrutura de mercado, tendo sido amplamente inspirado nas experiências americana<sup>34</sup> e britânica<sup>35</sup>. Segundo Pires (1999), os três pontos básicos do modelo do setor elétrico brasileiro são: 1) a competição nos segmentos de geração e comercialização; 2) a criação de instrumentos regulatórios visando a defesa da concorrência nos segmentos de competição (ações como a desverticalização, a definição de tarifas de uso da rede não-discriminatórias e garantia do livre acesso nos sistemas de transmissão e distribuição) e 3) inserção de mecanismos de incentivos nos segmentos que permaneceram como monopólios naturais (distribuição e transmissão). Além disso, criou-se, como no Reino Unido, o segmento de comercialização, formado por corretores e varejistas que compram de distribuidores e geradores a fim de venderem a grandes consumidores.

Na indústria de gás, a Petrobras exerceu o monopólio legal sobre as atividades de petróleo e gás natural por muitos anos no Brasil. Na lógica econômica de integração dessas indústrias, o modo de organização que prevaleceu foi a integração vertical e horizontal das diferentes atividades da cadeia (ANP, 2011). No entanto, a Lei nº 9.478/1997, exigiu que Petrobras realizasse tanto a separação contábil da atividade monopólica da cadeia de transporte como também a separação jurídica ao determinar que constituísse uma empresa subsidiária para construir e operar os dutos de transporte do gás. Mas na prática, o que se observa é que a exigência de

---

<sup>31</sup> Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previstos no artigo 175 da Constituição Federal, e dá outras providências.

<sup>32</sup> Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada no âmbito da administração pública.

<sup>33</sup> Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências.

<sup>34</sup> *Energy Policy Act (1992)*.

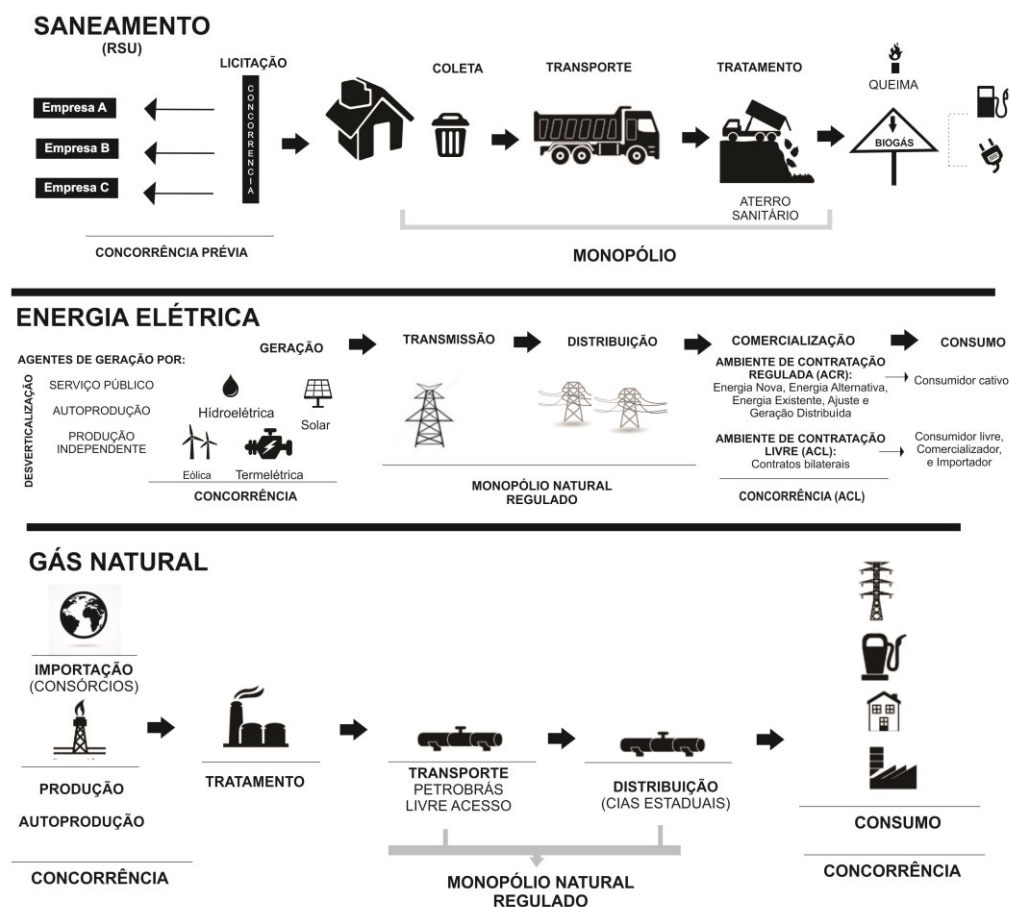
<sup>35</sup> *Energy Act (1989)*.



separação das atividades da cadeia produtiva não foi totalmente completa, pois não foram estabelecidos limites à participação dos grupos econômicos nos diversos segmentos da cadeia do gás natural (ANP, 2011). Este assunto será retomado no item que trata especificamente deste setor.

Na Figura 17 apresenta-se um esquema com as configurações dos setores de saneamento, energia e gás.

Figura 17 - Estrutura dos setores de energia, saneamento e gás natural



Fonte: Elaboração própria.

De acordo com Galvão Jr. e Paganini (2009), no âmbito da regulação por agências, podem existir vários arranjos institucionais, como por exemplo a formação de consórcios entre Estados e Municípios, ou entre Municípios para regulação dos serviços, como comumente ocorre no setor de saneamento (RSU). Dessa forma, são alternativas que podem viabilizar a regulação em função da economia que a união de várias concessões proporciona à função reguladora. Cabe informar que os

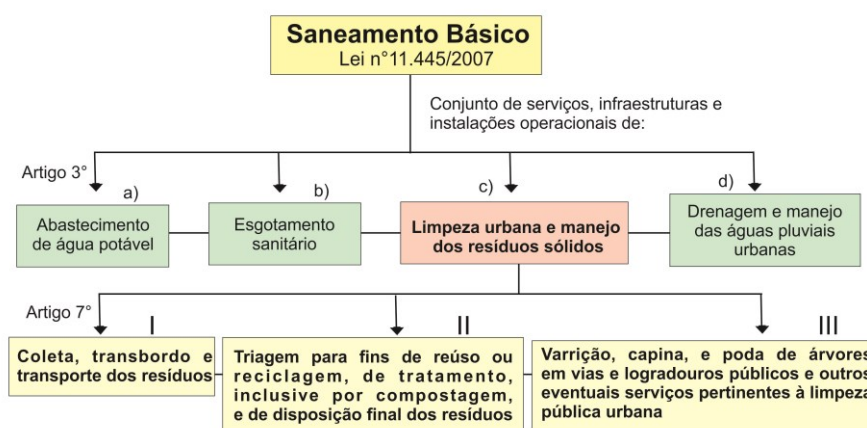
formatos apresentados não são rígidos e aceitam combinações entre diferentes formas de regulação, a exemplo de contrato com presença de agência reguladora. "Assim, essas alternativas permitem que, mesmo sem capacidade para regular, titulares dos serviços compartilhem ou deleguem a regulação a outros entes públicos, proporcionando efetividade à atividade" (GALVÃO JUNIOR; PAGANINI, 2009, p.85).

A partir da apresentação da estrutura dos setores de saneamento, energia elétrica e gás, cabe apresentar os estudos inerentes a cada um dos setores.

### 5.5. A REGULAÇÃO NO SETOR DE SANEAMENTO E OS RSU

A caracterização dos serviços de saneamento compreende os serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e gestão dos resíduos sólidos, sendo este último o foco deste estudo. Na Figura 18 pode-se visualizar a configuração do serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos como uma componente das atividades do saneamento básico, conforme disposto na Lei Nacional do Saneamento Básico (LNSB).

Figura 18 – Configuração do saneamento básico conforme a LNSB



Fonte: Elaboração própria a partir de BRASIL (2007).

Para Galvão Junior, Monteiro e Melo (2013), esta divisão estrutural, conforme apresentado na Figura 20, pode gerar uma interpretação no sentido de que, embora exista a necessidade de visão integral do serviço (artigo 2º, II, da LNSB), cada uma

dessas atividades (I, II, III) faz parte de uma unidade de gestão para fins de planejamento, regulação e execução.

Assim estruturado, é consenso integrar os serviços de saneamento na conceituação de saneamento ambiental, sobretudo por envolver ações nas áreas de meio ambiente natural urbano e saúde pública. Além disso, são considerados como serviços públicos de infraestrutura (*utilities*), organizados sob a forma de indústria de rede e incluídos, pelo menos em algum segmento da cadeia produtiva, na condição de "monopólio natural" (MARINHO, 2006).

No entanto, cabe salientar que o setor de resíduos sólidos urbanos, apesar de estar inserido no setor de saneamento, não se configura como indústria de rede, já que foge à estrutura verticalizada que compõe os serviços de abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto por exemplo. Isso significa que sua estrutura não possui uma rede física necessária sobre a qual fluem as transações econômicas. O serviço de coleta, tratamento e destinação dos RSU não necessita de tubulações, malhas ou demais mecanismos desse tipo para operar. Usualmente o serviço é prestado por caminhões de coleta, que levam os resíduos até uma central de transbordo ou aterro sanitário.

O que pode ocorrer em relação a esse tipo de prestação de serviço é a situação de monopólio, uma vez que não é eficaz, tanto no sentido econômico quanto no espacial, que duas empresas atuem no setor de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, realizando o mesmo tipo de coleta na mesma localidade (SOUZA; PAULA, 2015).

Dentro do contexto regulatório de serviços públicos essenciais, Simões, Pires e Marques (2013) comentam que diferente de setores como o de energia elétrica e gás natural, por exemplo, "são ainda raras as instâncias de nível internacional em que o serviço de manejo de resíduos sólidos é objeto de regulação explícita em matéria de preços e de qualidade de serviço" (SIMÕES; PIRES; MARQUES, 2013, p.149).

Dentre os fatores que explicam tal situação, pode-se elencar duas questões: (1) o fato dos serviços serem comumente prestados por entidades públicas locais (Municípios), cientes da sua autonomia legalmente consagrada (argumento da

“autorregulação”); (2) o fato da adoção do princípio do usuário-pagador<sup>36</sup>, principalmente no que tange à prestação deste serviço à sociedade, ainda ser relativamente incipiente, sendo também muito frequente a ausência de tarifação explícita deste serviço (os custos são cobertos por outras receitas locais) (SIMÕES; PIRES; MARQUES, 2013).

Galvão Jr, Monteiro e Melo (2013) comentam que no desenvolvimento da regulação no Brasil é comum constatar a situação de deficiência generalizada no quesito de agências reguladoras de serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, resumindo-se a pouquíssimas agências. No Espírito Santo, como também na maioria dos Estados brasileiros, não existe agência reguladora própria para o setor de resíduos urbanos. Neste caso específico, a ARSP (Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo), criada recentemente pela Lei Complementar nº 827/2016, possui somente a finalidade de regular e fiscalizar os serviços de abastecimento e esgotamento sanitário, infraestrutura viária, energia elétrica e gás natural (ARSP, 2016), não incluindo os resíduos sólidos<sup>37</sup>.

Quanto a isso, a ausência de agências reguladoras específicas para o setor de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos no Brasil é resultado de um longo processo no âmbito do saneamento. Nesse contexto, cabe discorrer sucintamente sobre o processo histórico da regulação deste setor. Na sequência, o texto apresentará também a caracterização atual, facilitando assim a compreensão do processo pelo qual passou o setor.

### **5.5.1. Contexto histórico do setor de saneamento no Brasil**

A regulação do setor de saneamento no Brasil iniciou-se a partir do Código das Águas na década de 1930. Contudo, a regulação do setor apenas se aprofundou

---

<sup>36</sup> O princípio do usuário-pagador é fundamentado no artigo 225, caput, da Constituição Federal do Brasil (BRASIL, 1988) e no artigo 2º, incisos II e III e artigo 3º, incisos IV e VII da Lei 6.938 (BRASIL, 1981). De acordo com a legislação mencionada, este princípio atua como instrumento para que a responsabilidade pelos impactos ambientais derivados das atividades econômicas seja partilhada entre todos (CARVALHO, 2014).

<sup>37</sup> Ver capítulo IV, artigo 8º, incisos de I a IV e parágrafo único, incisos de I a III, da Lei Complementar nº 827/2016.

nas décadas de 1960 e 1970, a partir do Sistema Financeiro de Saneamento do PLANASA (Plano Nacional de Saneamento Básico) e outras entidades vinculadas ao poder público estadual e federal, que na época exerciam funções regulatórias e de prestação de serviços de saneamento básico. Este formato estrutural de regulação se manteve estável até certo período dos anos 1980, ainda desvinculado da regulação de recursos hídricos cuja responsabilidade era do Código de Águas (BRITTO, 2013).

De acordo com Buzanello (2016), o setor de saneamento brasileiro foi intensamente marcado pelo modelo institucional definido pelo Planasa (Plano Nacional de Saneamento), fundado no predomínio das companhias estaduais de saneamento, no financiamento estatal da infraestrutura e na regulação pelo financiamento. No entanto, esse modelo não conseguiu sustentar-se por muito tempo, sobretudo pela crise fiscal que inviabilizou essa forma de financiamento pelo Estado.

Segundo Britto (2013), o que se sucedeu após a extinção do modelo Planasa, a partir dos anos 1990, foi a discussão sobre uma nova forma de regulação, tanto para os recursos hídricos quanto para o setor de saneamento. A ideia desta nova forma de regulação estava inserida dentro de um contexto de mínima participação do poder público na prestação dos serviços e maior controle e cobrança pelo uso da água. Nesse ambiente foi discutida a criação de um novo marco regulatório, de entes reguladores regionais e de um ente nacional, direcionados especificamente para a questão de utilização da água, sem inclusão dos resíduos.

Marinho (2006) discorre que os governos da década de 1990, influenciados pelas tendências observadas nos governos dos países centrais e nas diretrizes do Consenso de Washington, imprimiram uma orientação privatista para a infraestrutura de forma geral e para os serviços de saneamento, em particular. Deste modo, a nova orientação, concretizada na Reforma Gerencial do Estado Brasileiro (PR 1995) e na Lei nº 8.987/1995, redefiniu os serviços públicos de infraestrutura como atividades de "produção de bens e serviços para o mercado" e exigiu a regulação para esses serviços somente quando apresentassem a condição de monopólio natural, priorizando a eficiência da indústria e negligenciando a condição de serviço público essencial.

Em conformidade com esta ideia, Buzanello (2016) acrescenta que o que se sucedeu nesse período foi uma orientação pró-mercado, consolidada no processo de privatização e em reformas reguladoras que privilegiaram a adoção de controles explícitos por meio de agências reguladoras setoriais. Com a extinção dos programas de financiamento e a desregulamentação dos serviços deu-se início ao aumento da participação privada no setor por meio de concessões ao setor privado e venda de parte das ações de algumas companhias estaduais. O pensamento que envolvia essa orientação pró-mercado era o de que a privatização diminuiria o *déficit* por não pressionarem mais o Estado por aportes de recursos públicos.

O marco regulatório do setor de saneamento só veio a se estabelecer com a aprovação da Lei nº 11.445/ 2007, que tratou tanto do abastecimento de água e esgotamento sanitário quanto de limpeza e drenagem urbana, desta vez incluindo os resíduos sólidos urbanos.

### 5.5.2. Regulação dos RSU por meio da Lei 11.445/2007 e Decreto 7.217/2010

A Lei nº 11.445/2007, em seu artigo 3º, define o saneamento básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

[...]

c) **limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos**: conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas; [...] (BRASIL, 2007, grifo nosso).

Nesta mesma Lei, em seu artigo 8º, define que os titulares desse tipo de serviço poderão delegar a organização, a regulação, a fiscalização e a prestação dos serviços de saneamento básico, conforme os termos do artigo 241 da Constituição Federal/1988<sup>38</sup> e da Lei nº 11.107/2005. Esta última refere-se à Lei de concessões, na qual permite que os serviços possam ser prestados de forma direta ou delegados por concessão. Nos termos desta lei, os particulares (empresas privadas) só

---

<sup>38</sup> Artigo 241. A União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios disciplinarão por meio de lei os consórcios públicos e os convênios de cooperação entre os entes federados, autorizando a gestão associada de serviços públicos, bem como a transferência total ou parcial de encargos, serviços, pessoal e bens essenciais à continuidade dos serviços transferidos (BRASIL, de 1998).

poderão exercer o serviço público por meio de contratos de concessão ou permissão. Se prestadas por empresas privadas, no entendimento jurídico, pode-se considerar que são atividades privadas de interesse público<sup>39</sup>.

Assim, para a validade dos contratos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, faz-se necessário, entre outros requisitos, que existam normas de regulação que incluam os meios para o cumprimento das diretrizes da lei, incluindo a designação da entidade de regulação e de fiscalização, conforme disposto no artigo 11, III, da Lei nº 11.445/2007.

Por sua vez, a Lei de saneamento também dispõe sobre o exercício da regulação, conforme colocado no seu artigo 21, incisos I e II, a qual deverá atender os princípios de independência decisória, incluindo autonomia administrativa, orçamentária e financeira da entidade reguladora, e da transparência, tecnicidade, celeridade e objetividade das decisões (BRASIL, 2007).

Ainda nesta mesma Lei, definem-se os objetivos da regulação, tais como:

Art. 22. São objetivos da regulação:

- I. Estabelecer padrões e normas para a adequada prestação dos serviços e para a satisfação dos usuários;
- II. Garantir o cumprimento das condições e metas estabelecidas;
- III. Prevenir e reprimir o abuso do poder econômico, ressalvada a competência dos órgãos integrantes do sistema nacional de defesa da concorrência;
- IV. Definir tarifas que assegurem tanto o equilíbrio econômico e financeiro dos contratos como a modicidade tarifária, mediante mecanismos que induzam a eficiência e eficácia dos serviços e que permitam a apropriação social dos ganhos de produtividade (BRASIL, 2007).

Finalmente, fica estabelecido no artigo 23, que a entidade reguladora deverá editar as normas referentes às dimensões técnica, econômica e social da prestação dos serviços, de modo a abranger os seguintes elementos:

Art. 23. A entidade reguladora editará normas relativas às dimensões técnica, econômica e social de prestação dos serviços, que abrangerão, pelo menos, os seguintes aspectos:

- I - padrões e indicadores de qualidade da prestação dos serviços;
- II - requisitos operacionais e de manutenção dos sistemas;
- III - as metas progressivas de expansão e de qualidade dos serviços e os respectivos prazos;

---

<sup>39</sup> As atividades privadas de direito geralmente são atividades relacionadas ao artigo 6º da CF/1988, que trata dos direitos sociais, dentre eles a saúde. “São direitos sociais a educação, a saúde, o trabalho, o lazer, a segurança, a previdência social, a proteção à maternidade e à infância, a assistência aos desamparados, na forma desta Constituição” (BRASIL, 1988).

- IV - regime, estrutura e níveis tarifários, bem como os procedimentos e prazos de sua fixação, reajuste e revisão;
- V - medição, faturamento e cobrança de serviços;
- VI - monitoramento dos custos;
- VII - avaliação da eficiência e eficácia dos serviços prestados;
- VIII - plano de contas e mecanismos de informação, auditoria e certificação;
- IX - subsídios tarifários e não tarifários;
- X - padrões de atendimento ao público e mecanismos de participação e informação;
- XI - medidas de contingências e de emergências, inclusive racionamento;
- XII – (VETADO) (BRASIL, 2007).

Cabe ressaltar que o Decreto nº 7.217/2010 regulamenta a Lei nº 11.445/2007 e estabelece as normas para a sua execução. Para os fins deste decreto considera-se regulação:

[...] todo e qualquer ato que discipline ou organize determinado serviço público, incluindo suas características, padrões de qualidade, impacto socioambiental, direitos e obrigações dos usuários e dos responsáveis por sua oferta ou prestação e fixação e revisão do valor de tarifas e outros preços públicos, para atingir os objetivos do art. 27 (BRASIL, 2010, p.1).

Conforme disposto no artigo 27 do Decreto nº 7.217/2010, os objetivos da regulação são: (1) padronizar e normatizar a prestação dos serviços; (2) garantir o cumprimento das metas estabelecidas; (3) prevenir e reprimir o abuso de poder a fim de favorecer a concorrência; (4) definir tarifas e preços que assegurem o equilíbrio dos contratos, de forma a considerar medidas de eficiência e eficácia dos serviços prestados, bem como a produtividade. Soma-se ainda às atividades de regulação dos serviços de saneamento básico a interpretação e a fixação de critérios para a execução dos contratos e serviços, bem como para a correta administração de subsídios (BRASIL, 2010).

Ainda com base no Decreto nº 7.217/2010, no que tange aos resíduos sólidos urbanos, o artigo 12 considera como serviço público de manejo de resíduos sólidos as atividades que envolvem a coleta e transbordo, transporte, triagem para fins de reutilização ou reciclagem, tratamento (incluindo a compostagem) e disposição final dos resíduos domésticos, comerciais e de limpeza urbana.

Até aqui, observa-se que a regulação do setor de resíduos está amplamente associada ao setor de saneamento, principalmente pelo viés ambiental, uma vez que os problemas decorrentes de sua má gestão implicariam diretamente na saúde pública. No entanto, somente com a criação da Lei nº 12.305/2010 que a questão dos resíduos sólidos teve notoriedade no Brasil, uma vez que esta lei trata



especificamente da sua gestão e erradicação dos “lixões”. Este assunto será tratado mais especificamente a seguir.

### **5.5.3. Regulação e gestão de resíduos por meio da Lei 12.305/2010**

Segundo Cavé (2011), até recentemente, o mais importante na gestão dos resíduos sólidos municipais era a limpeza urbana, cuja atividade foi inserida na lei de saneamento básico, por meio da retirada periódica do material descartado. Nesse aspecto, a destinação final era a prioridade. Atualmente, contudo, a evacuação para longe da cidade ou para uma destinação final incerta não é mais o foco. A atual exigência do aterramento sanitário dos resíduos revela um processo de transição de uma engenharia “sanitária” para uma engenharia “ambiental”. Esta transição significa que a perspectiva sanitária de um serviço público era caracterizada pela gestão da oferta, produto da visão de “um serviço público ‘para todos e anônimo’, que se traduzia por soluções técnicas padronizadas e des-territorializadas [sic] (‘longe dos olhos, longe da mente’)” (CAVÉ, 2011, p.170).

Em resumo, não se trata mais de somente explorar os recursos naturais, mas também de impor limites às atividades humanas, uma vez que os recursos à disposição se tornam mais raros, mais caros para serem mobilizados. Trata-se de reciclar, de valorizar os subprodutos ou os resíduos vinculados à vida urbana (CAVÉ, 2011).

Embora a Constituição Federal do Brasil (BRASIL, 1988), no seu artigo 3040, tenha possibilitado a prestação dos serviços de saneamento, conferindo competência ao poder público local para executar os serviços de limpeza urbana (incluindo a coleta e disposição dos RSU), instituindo também como competência municipal legislar sobre questões de interesse local (GÓES, 2011; POLETTO et al., 2016), a regulação do

---

<sup>40</sup> Artigo 30. Compete aos Municípios: “I - legislar sobre assuntos de interesse local; [...] V - organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial” (BRASIL, 1988).

O artigo 26, da Lei nº 12.305/2010, também diz que “o titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos é responsável pela organização e prestação direta ou indireta desses serviços, observados o respectivo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, a Lei nº 11.445, de 2007, e as disposições desta Lei e seu regulamento (BRASIL, 2010c).

setor de resíduos só foi efetivamente tratada com a instituição da PNSB (Política Nacional de Saneamento Básico) por meio da Lei nº 11.445/2007, conforme já discutido.

Antes disso, por muito tempo, a gestão dos resíduos foi negligenciada e marcada pela ausência de uma política pública ambiental que determinasse tanto as diretrizes como os instrumentos de ação para uma gestão efetivamente adequada dos resíduos sólidos. Todavia, esse espaço foi preenchido com a instituição da PNRS (Política Nacional de Resíduos Sólidos), por meio da Lei nº 12.305/2010.

Assim reforça-se que, a PNRS, juntamente com o seu Decreto nº 7.404/2010, veio para suprir a lacuna de políticas no setor de saneamento, especialmente no setor de resíduos, e promover o gerenciamento integrado destes garantindo responsabilidade entre todos os envolvidos na cadeia produtiva, desde o fabricante até o consumidor final (BRASIL, 2010b; BRASIL, 2010c).

A criação da PNRS estabeleceu os princípios, objetivos e instrumentos, assim como as diretrizes, para a gestão integrada e o gerenciamento dos resíduos sólidos. Esse modelo de gestão integrada abrange também a Lei de saneamento básico citada, que estabelece diretrizes nacionais para a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos, além de envolver a Lei de Consórcios Públicos, Lei nº 11.107/2005, que apresenta as normas gerais para União, Estados, Distrito Federal e Municípios promoverem a gestão associada dos serviços por meio de consórcios (MMA/SRHU, 2012).

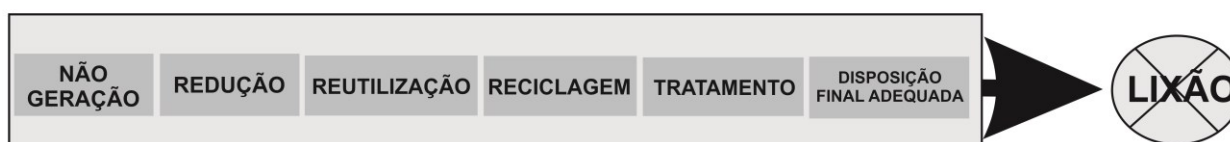
A partir da disposição da Lei nº 12.305/2010, a responsabilidade pela gestão dos resíduos sólidos é dividida entre Governo Federal, Estados, Distrito Federal, Municípios e cidadãos, por meio da gestão integrada e gerenciamento ambientalmente adequado destes. Assim dispõe no artigo 4º:

Art. 4. A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010c).

Dentre os princípios e objetivos da PNRS, destaca-se, nesta ordem hierárquica: a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos,

bem como a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, além do fim dos “lixões” a céu aberto no país (BRASIL, 2010c). Na Figura 19 exemplifica-se o fluxo desses objetivos.

Figura 19 - Objetivo da PNRS (2010) e Hierarquia na Gestão dos Resíduos



Fonte: Elaboração própria a partir de BRASIL (2010c).

Ainda na Lei nº 12.305/2010, artigo 3º, o conceito de gestão é compreendido como a “Gestão Integrada de Resíduos Sólidos” a partir do conjunto de ações orientadas na busca de soluções para os resíduos sólidos, incluindo as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, sob a ótica do Desenvolvimento Sustentável. O “Gerenciamento de Resíduos Sólidos” é compreendido como todas as operações que envolvem os resíduos, como atividades de coleta, tratamento, transporte, disposição final, dentre outras. Em resumo, a diferença entre ambos conceitos é que o primeiro está relacionado às ações que buscam soluções considerando as variadas dimensões (política, social, etc.) enquanto que o segundo busca soluções de forma interna, no conjunto de ações exercidas nas diversas etapas interligadas entre si (coleta, tratamento, etc.).

Com a implementação da PNRS, essas ações assumem a forma de planos de resíduos sólidos, e devem ser consideradas como as principais ferramentas de gestão. De responsabilidade do poder público, têm-se o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, os planos estaduais, os planos microrregionais, os planos de regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, e os planos municipais. Inclui-se também os planos de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos de diversos geradores.

É com base na PNRS que se prevê o fim dos “lixões” a céu aberto por meio da gestão compartilhada entre o poder público e todos os envolvidos na cadeia produtiva, pois entende-se que todos possuem uma parte de responsabilidade na questão. Tal situação, simultaneamente, alivia os Municípios da sobrecarga de responsabilidade sobre os RSU, mas também exige sincronismo entre todos os

poderes envolvidos processo. Caso contrário, certamente pode ser difícil o alcance de bons resultados, por isso a PNRS ainda é um grande desafio no Brasil.

Atualmente muitos Municípios estão em fase de adequação após o prazo estabelecido para a erradicação dos “lixões”. Em fase anterior, os “lixões” ainda presentes no Brasil deveriam ter sido encerrados em 02 de agosto de 2014, conforme disposto no artigo 54 da PNRS. Todavia, este prazo foi adiado com a aprovação do Projeto de Lei 425/2014, o qual revisa a redação do artigo 54 da PNRS e sugere o encerramento destes por etapas, entre o período de 2018 a 2021, conforme descrito:

Art. 54. A disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, observado o disposto no § 1º do art. 9º, deverá ser implantada nos seguintes prazos:

I – até 31 de julho de 2018, para capitais de Estados e de Municípios integrantes de Região Metropolitana (RM) ou de Região Integrada de Desenvolvimento (Ride) de capitais;

II – até 31 de julho de 2019, para Municípios com população superior a 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010, bem como para Municípios cuja mancha urbana da sede municipal esteja situada a menos de 20 (vinte) quilômetros da fronteira com outros países limítrofes;

III – até 31 de julho de 2020, para Municípios com população entre 50.000 (cinquenta mil) e 100.000 (cem mil) habitantes no Censo 2010;

IV – até 31 de julho de 2021, para Municípios com população inferior a 50.000 (cinquenta mil) habitantes no Censo 2010 (BRASIL, 2014, p.2).

Desta forma, o adiamento da data de proibição do uso de lixões demonstra ausência de prioridade dos Municípios com o assunto. No caso do Espírito Santo, Dutra (2016, p. 34) caracteriza o quadro de gestão dos resíduos sólidos como sendo de inércia por parte dos Municípios perante a aplicação da PNRS e a erradicação dos “lixões”. Tal situação impôs ao MPES (Ministério Público do Espírito Santo) a elaboração de TCAs (Termos de Compromisso Ambiental) direcionados a cada Municípios e cuja aplicação inclui os planos e programas com ênfase na reciclagem, participação de organizações de catadores e reconhecimento do resíduo reciclável como bem de valor econômico e social, conforme previsto pela PNRS (BRASIL, 2010). Dentre os aproveitamentos e valorização prevista pela PNRS (2010), tem-se o aproveitamento energético dos resíduos.

#### 5.5.4. Aproveitamento energético dos RSU com base na Lei nº 12.305/2010

Na questão energética, a PNRS (2010) inclui a recuperação e o aproveitamento energético dos resíduos em várias situações. No artigo 3º, inciso VII, quando define a destinação final ambientalmente adequada, refere-se a:

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, entende-se por:  
[...] reutilização, a reciclagem, a compostagem, **a recuperação e o aproveitamento energético** ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sisnama, do SNVS e do Suasa, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010c, grifo nosso).

O artigo 6º da PNRS (2010), inciso XIV, também considera como princípio o aproveitamento energético dos resíduos sólidos e confere “incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, **incluídos a recuperação e o aproveitamento energético**” (BRASIL, 2010c, p.11, grifo nosso).

Por sua vez, quando a PNRS (2010c) trata das diretrizes aplicáveis aos resíduos sólidos, no Capítulo I, precisamente nas disposições preliminares, também aborda a questão energética permitindo o uso de tecnologias para este objetivo, desde que se comprove viabilidade técnica e ambiental e aja monitoramento da emissão de gases poluentes:

Art. 9º Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

§ 1º **Poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental [...]** (BRASIL, 2010c, grifo nosso).

Por fim, a PNRS (2010c) também estabelece como meta dos planos nacionais e estaduais de resíduos sólidos o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final dos resíduos, conforme disposto no artigo 15, inciso IV e artigo 17, inciso IV.

Nesse aspecto, o PNE (Plano Nacional de Energia) 2030 afirma que o Brasil ainda precisa aprimorar a regulação do setor de RSU para geração de energia, considerando que o país também precisa resolver questões institucionais relativas à tecnologia e regulação, uma vez que o reaproveitamento energético do biogás de aterro envolve questões demasiadamente complexas. No entanto, após o cumprimento dessas necessidades, é possível que ocorra elevado crescimento do setor.

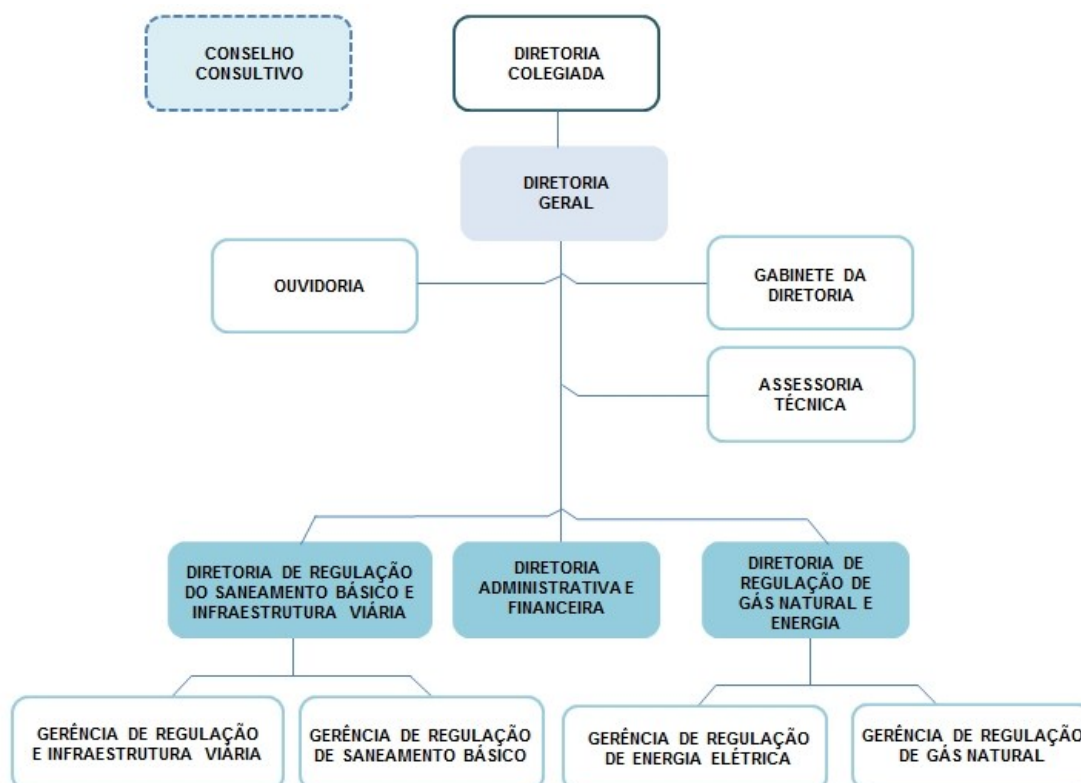
Após discorrer sobre a regulação no setor de resíduos a nível federal, cabe apresentar brevemente a configuração da regulação no Estado do Espírito Santo.

#### **5.5.5. Regulação no Estado do Espírito Santo**

No Estado do Espírito Santo a regulação dos serviços públicos dos setores de gás e energia compete atualmente à ARSP (Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo). Esta agência foi criada pela Lei Complementar nº 827/2016 a partir da fusão das antigas agências estaduais ARSI (Agência Reguladora de Saneamento Básico e Infraestrutura Viária) e ASPE (Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo).

Conforme disposto no site desta agência, a ARSP é uma autarquia de regime especial, dotada de personalidade jurídica de direito público e autonomias administrativa, patrimonial, técnica e financeira, vinculada à SEDES (Secretaria de Estado de Desenvolvimento). Sua finalidade é regular e fiscalizar os serviços de saneamento básico abrangendo abastecimento de água e esgotamento sanitário, pedágios das rodovias, energia elétrica e gás natural no Espírito Santo. A Figura 20 apresenta o organograma da instituição.

Figura 20 - Organograma da ARSP



Fonte: Elaborado a partir de ARSP (2016).

Observa-se que embora trate de saneamento básico, a ARSP não abarca os RSU. Esta agência abrange somente os serviços de água e esgoto sanitário, atualmente prestados pela Cesan (Companhia Espírito Santense de Saneamento) mediante convênio firmado com o Município.

Conforme mencionado no texto sobre a regulação no setor de saneamento, tanto a Constituição Federal do Brasil (BRASIL, 1988) como a Lei nº11.445/2007, conferiram competência aos Municípios para tratar de questões de interesse local, o que inclui as atividades de limpeza urbana, inclusive o manejo de resíduos sólidos. E pela Lei nº12.305/2010 sua gestão é compartilhada entre Governo Federal, Estados, Distrito Federal, Municípios e cidadãos. Assim, no âmbito do serviço público de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos tal atividade geralmente vincula-se às secretarias municipais.

Em Vitória, por exemplo, desde o ano de 2005 a SEMSE (Secretaria de Serviços) organiza e desenvolve novos programas de limpeza pública. Em contato com a Prefeitura Municipal de Vitória (PMV), confirmou-se que a atividade de limpeza

urbana é prestada de forma direta com execução indireta do serviço<sup>41</sup>. Assim, conforme também mencionado por Cavé (2011), todos os serviços são executados por um operador privado por meio de contrato celebrado no ano de 2006 após processo de licitação. Quanto a isso a empresa Vital é responsável por atividades como varrição das vias, coleta, transporte e aterramento dos resíduos sólidos. Cabe destacar que na cidade de Vitória, esta última atividade (aterramento dos resíduos) é realizada em um aterro sanitário privado, com o qual a empresa Vital respondeu à licitação junto à empresa capixaba Marca Ambiental, dona e operadora do aterro sanitário de Cariacica.

A regulação que conduz ações e promove iniciativas referentes aos resíduos sólidos no Espírito Santo é a Lei nº 9.264/2009, juntamente com o Plano Estadual de Resíduos Sólidos, elaborado a partir de convênio entre o MMA/SRHU e Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEAMA) (ESPÍRITO SANTO, 2009). No âmbito desta lei, embora o Estado ainda não possua nenhuma usina de energia com base nesta fonte, é possível identificar elementos na legislação que indicam o reaproveitamento de RSU para a geração de energia por meio do biogás de aterro.

Além da legislação acima supracitada, cabe mencionar: (1) a Lei nº 9.531/2010, que institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC. Em seu artigo 18, inciso X, nota-se o interesse em incentivar a recuperação do gás metano gerado pela digestão anaeróbia de sistemas de tratamento de esgotos domésticos, efluentes industriais, resíduos rurais e resíduos sólidos urbanos, especialmente para produção de energia (ESPÍRITO SANTO, 2010); e (2) o Decreto nº 3.453-R/2013, que dispõe sobre a política estadual de incentivo as energias renováveis como a eólica, solar e da biomassa, além de outras fontes. Esta última evidencia o biogás e o biometano.

Por fim, cabe mencionar as legislações municipais, que seguem o que determina os arts. 18 e 19 da Lei nº 12.305/2010: elaboração do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos (PGIRSU). Desta forma, o PGIRSU de cada região

---

<sup>41</sup> A prestação direta com execução indireta ocorre quando a administração, assumindo a responsabilidade do serviço perante o cidadão, promove a licitação da atividade ou parcela e celebra contrato com pessoa jurídica de direito privado, ou seja, 'apenas concerta com alguém o encargo de efetuar materialmente dada atividade, sem, todavia, investi-lo em titulação para relacionar-se diretamente com os administrados, pois não lhe transfere a responsabilidade imediata do serviço', dividindo-se em duas subespécies: mediante contrato comum (Lei nº 8.666/1993) e/ou mediante parceria público-privada (Lei nº 11.079/2004) (GALVÃO JR; MONTEIRO; MELO, 2013, p.102).



municipal, juntamente com o arcabouço legal em esferas nacionais e federais já mencionados, representam o aparato regulatório geral no que concerne aos RSU no Brasil.

## 5.6. A REGULAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO

Os primeiros anos da indústria de eletricidade no Brasil, que foi regido pela Constituição de 1891, foram marcados pela descentralização. Neste momento existiam duas estruturas diversas: (1) empresas municipais, privadas, ligadas ao setor cafeeiro e ao setor de empreendimentos urbanos (em grande parte, iluminação e tração); e (2) grandes investidores estrangeiros, como a *Light* e a *Amforp* (*American & Foreign Power*)<sup>42</sup> (TOLMASQUIM; GORINI; CAMPOS, 2002). Todavia, para o estudo de regulação do setor elétrico brasileiro, é importante entender as modificações ocorridas nos últimos 30 anos. O Quadro 12 apresenta as principais mudanças desse período.

Quadro 12 - Mudanças no Setor Elétrico Brasileiro

(Continua)

Modelo Antigo (até 1995)	Modelo de Livre Mercado (1995 a 2003)	Novo Modelo (2004)
Financiamento através de recursos públicos	Financiamento através de recursos públicos e privados	Financiamento através de recursos públicos e privados
Empresas verticalizadas	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização	Empresas divididas por atividade: geração, transmissão, distribuição e comercialização, importação e exportação
Empresas predominantemente Estatais	Abertura e ênfase na privatização das Empresas	Convivência entre Empresas Estatais e Privadas
Monopólios - Competição inexistente	Competição na geração e comercialização	Competição na geração e comercialização
Consumidores cativos	Consumidores Livres e Cativos	Consumidores Livres e Cativos

<sup>42</sup> A *Light* atuava no eixo Rio-São Paulo e a *Amforp* nos principais centros urbanos não atendidos pela *Light* (LEITE, 2007).

## Quadro 12 - Mudanças no Setor Elétrico Brasileiro

(Conclusão)

Modelo Antigo (até 1995)	Modelo de Livre Mercado (1995 a 2003)	Novo Modelo (2004)
Tarifas reguladas em todos os segmentos	Preços livremente negociados na geração e comercialização	No ambiente livre: preços livremente negociados na geração e comercialização. No ambiente regulado: leilão e licitação pela melhor tarifa
Mercado Regulado	Mercado Livre	Convivência entre Mercados Livre e Regulado
Planejamento Determinativo - Grupo Coordenador do Planejamento dos Sistemas Elétricos	Planejamento Indicativo pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE)	Planejamento pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE)
Contratação: 100% do Mercado	Contratação: 85% do Mercado (até agosto/2003) e 95% do Mercado (até dez./2004)	Contratação: 100% do Mercado + Reserva
Sobras/déficits do balanço energético rateados entre compradores	Sobras/déficits do balanço energético liquidados no MAE	Sobras/déficits do balanço energético liquidados na CCEE. Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficit (MCSD) para as distribuidoras

Fonte: CCEE (2016).

Até a década de 1990, prevaleceu no Brasil o modelo de monopólio estatal verticalizado (Modelo Antigo), caracterizado pela atuação constante do Estado em todos os segmentos (geração, transmissão e distribuição). Tolmasquim (2015) salienta que o modelo estatal, funcionou bem até o fim da década de 1970. A partir de então, na década de 1980, surgiu a primeira crise do setor com a extinção do Imposto Único e utilização das tarifas como instrumento de política monetária para controle da inflação. Este período foi marcado pela crise econômica e fiscal, que resultou na suspensão de investimentos no setor e incapacidade de expansão do sistema.

Neste cenário, iniciava-se em várias partes do mundo um movimento pela revisão do papel do Estado. A nova concepção, especialmente nas indústrias de rede, abordava a ideia de que o Estado passaria a ter função única e exclusiva de regulador da atividade econômica, com estímulo à iniciativa privada para assumir atividades empresariais nessas indústrias, até então administradas pelo Estado. A partir desta nova concepção, reforçada pela crise da década de 1980, o setor

elétrico dá início a uma ampla reforma nos anos 1990 (Modelo de Livre Mercado) (TOLMASQUIM, 2015).

No Brasil, em conformidade com a ideia de menor intervenção do Estado na economia, iniciaram-se as privatizações<sup>43</sup> e o processo de desverticalização (geração, transmissão, distribuição e comercialização). Neste modelo regulatório permitiu-se a competição nas atividades de geração e comercialização mediante livre contratação e manteve-se a regulação de tarifas e melhor qualidade dos serviços de transmissão e distribuição, caracterizadas como monopólios naturais (TOLMASQUIM, 2015).

Além do estabelecido acima, a edição da Lei n° 8.987/1995 (Lei Geral de Concessões) e da Lei n° 9.074/1995, foi fundamental para a nova configuração do setor elétrico brasileiro. A primeira Lei permitiu a definição de regras gerais para a prestação do serviço público, incluindo os direitos e obrigações dos concessionários e usuários, a instituição do serviço pelo preço (substituição do serviço pelo custo) para atividades de concessão e permissão, além de reajustes e revisões tarifárias com o intuito de preservação do equilíbrio econômico e financeiro das concessões. Já a segunda criou regras específicas para a prorrogação das concessões e duas figuras importantes para o setor elétrico: Produtor Independente de Energia (PIE) e o Consumidor Livre (TOLMASQUIM, 2015).

Em continuidade a esse período, um marco importante do ano de 1996, foi a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)<sup>44</sup>, sob regime de autarquia especial e vinculação ao Ministério de Minas e Energia (MME), com o objetivo de regular e fiscalizar todos os segmentos da cadeia produtiva de energia elétrica de acordo com as políticas e diretrizes do Governo Federal (CAMPOS; MOARES, 2012).

---

<sup>43</sup> Importante ressaltar que neste período, mais precisamente em 1995, inicia-se o processo de privatização do setor elétrico brasileiro a partir da distribuidora Escelsa (Espírito Santo Centrais Elétricas), no Estado do Espírito Santo, pioneiro deste processo (CAMPOS; MORAES, 2012).

<sup>44</sup> Para Amaral Filho (2007), a criação da ANEEL teve a finalidade de estabelecer, assim como em outros países, um regulador “imune” ao governo, um “órgão de Estado”, teoricamente não influenciado por pressões políticas, podendo exercer suas funções de modo independente, assegurando estabilidade do marco regulatório e criando condições favoráveis para a atração de investidores privados.

De forma paralela, ainda no ano de 1996, existiram alguns marcos principais, tais como: a regulamentação da produção de energia elétrica por produtor independente, conforme mencionado; a definição de que o autoprodutor obteria a outorga de concessão ou de autorização sob a condição regulatória de produção destinada a consumo próprio; a criação do Mercado Atacadista de Energia (MAE); a definição das regras do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e criação do Mecanismo de Realocação de Energia (MRE) a fim de compartilhar os riscos hidrológicos de usinas hidrelétricas centralizadas (CAMPOS; MORAES; 2012).

Com o surgimento dessas importantes figuras no setor elétrico, teve início a implantação do Projeto RE-SEB (Projeto de Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro). Todavia, antes de sua conclusão, o setor elétrico passou por uma grave crise de racionamento em 2001, quando o nível dos reservatórios encontrava-se por volta de 32% de sua capacidade de armazenamento. O risco de *déficit* ultrapassava 15%, quando o nível máximo aceitável seria de 5%. Somado a este cenário, outros fatores contribuíram para agravar a crise, como a crescente inadimplência do MAE por parte dos agentes e a falha de superestimação das garantias físicas, que assegurava cobertura contratual por parte das distribuidoras sem a contrapartida de um novo contrato de energia, impedindo a entrada de nova capacidade de geração para cobrir a diferença entre oferta e demanda. Além disso, a ausência de um ambiente regulatório apropriado, estável, claro e consistente, não proporcionava segurança aos investidores privados, agravando ainda mais a crise energética (TOLMASQUIM, 2015).

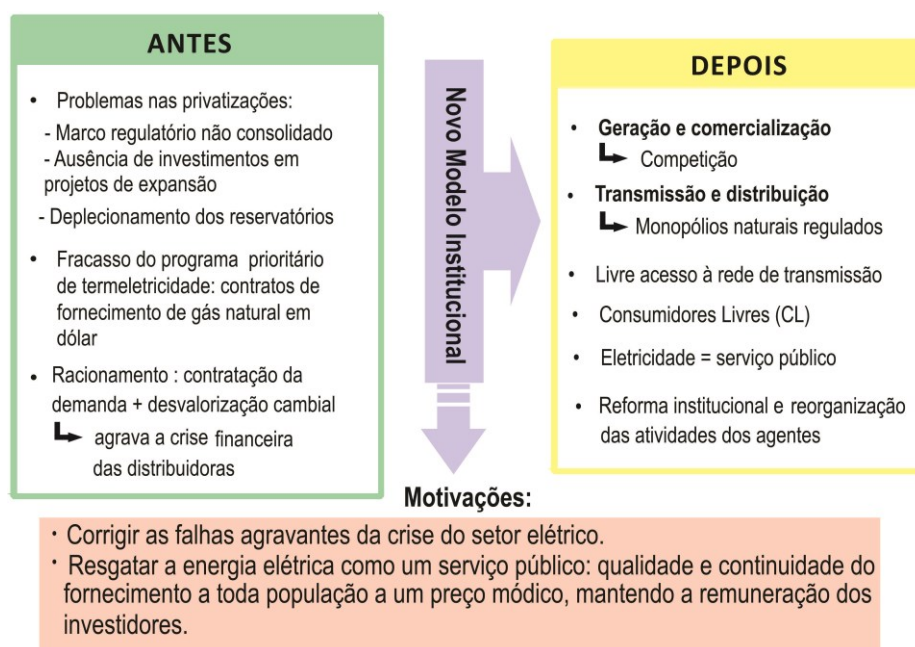
A partir desse cenário, houve uma nova configuração do setor elétrico brasileiro que vigora até os dias atuais. A implantação do Novo Modelo do Setor Elétrico marca a retomada da responsabilidade do planejamento no setor de energia elétrica pelo Estado. Todavia, este assunto será visto com mais ênfase adiante, no próximo subitem, cuja abordagem inclui a estrutura regulatória deste novo modelo com foco nos decretos regulamentadores que constituem a base legal do setor elétrico e apresentação dos pontos mais importantes para o biogás.

### 5.6.1. Principais mudanças regulatórias do Setor Elétrico

Tolmasquim (2015) afirma que o Novo Modelo do setor elétrico dissocia-se dos anteriores por priorizar simultaneamente os três alvos principais do serviço público de eletricidade: (1) segurança no abastecimento, (2) modicidade tarifária e (3) universalização dos serviços de energia elétrica. Para tal, foram tomadas quatro medidas principais, quais sejam: (1) a concepção de dois ambientes de contratação (Regulado e Livre), (2) o retorno ao planejamento, (3) a efetivação de programas de universalização (“Luz para Todos”) e (4) a reorganização institucional. Nesta última medida, conforme apresentado no Quadro 11, algumas mudanças ocorridas no Modelo da década de 1990 foram mantidas, tais como o financiamento através de recursos públicos e privados, a competição na geração e comercialização, os consumidores Livres e Cativos, ONS e a ANEEL.

De acordo com Campos e Moraes (2012), a nova reforma setorial pode ser resumida na Figura 21.

Figura 21 - Reforma do Setor Elétrico Brasileiro (Década de 2000)



Fonte: Adaptado de CAMPOS; MORAES, 2012.

Leite (2007, apud CAMPOS; MORAES, 2012), apresenta o Novo Modelo dividido em alguns pontos principais, que abrangem duas concepções fundamentais contidas em três decretos: (1) retorno ao comando do Estado e (2) reforma do mercado

envolvendo a ideia de um *pool* sob administração da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

A primeira concepção ocorre de três formas: (1) inicialmente com o restabelecimento e adaptações do planejamento governamental de longo prazo, que antes era realizado pela *holding* Eletrobrás e agora passaria a ser feito por uma empresa estatal, originando a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), autorizada pela Lei nº 10.847/2004 e Decreto nº 5.184/04; (2) Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), instituído pelo Decreto nº 5.175/2004, com objetivo de acompanhar o atendimento da demanda no prazo de cinco anos, além de recomendar ações preventivas para evitar deficiências no sistema; (3) suspensão parcial da ideia de governança privada do ONS, visto que sua formação constituiu-se por diretores indicados pelo MME (LEITE, 2007, apud CAMPOS; MORAES, 2012).

A ideia inicial da segunda concepção era de que a CCEE, instituída pelo Decreto nº 5.177/2004, fosse o comprador único de toda a energia gerada para a revenda, com preço único, para todas as distribuidoras. Entretanto, o que vigorou foi um sistema de contratos bilaterais entre geradores e distribuidoras com interferência da CCEE, certificando tarifação única de suprimento em cada segmento de mercado. Neste caso, os geradores responsabilizam-se pelo atendimento do mercado e os distribuidores possuem a obrigação de contratar 100% da demanda prevista para os cinco anos seguintes, além de fornecer garantias contra inadimplência (LEITE, 2007, apud CAMPOS; MORAES, 2012).

Tolmasquim (2015) confirma a ideia de o Novo Modelo representar o aprimoramento do marco regulatório do setor elétrico brasileiro, essencialmente nos aspectos sintetizados a seguir:

- Proporcionou profundas alterações no comércio de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN) por meio da criação do Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e do Ambiente de contratação Livre (ACL);
- Permitiu mudanças institucionais a partir da reorganização das competências e criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE);
- Favoreceu o retorno do planejamento setorial, a partir da contratação regulada com leilões e criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE);
- Admitiu a retomada dos programas de universalização;

- Consolidou segurança jurídica e estabilidade regulatória, a fim de atrair investimentos, reduzir riscos e expandir o setor.

Nesse contexto, a permanência da ANEEL como entidade reguladora no setor elétrico foi fundamental para concretizar as mudanças relacionadas aos aspectos mencionados acima. Dentre as suas atribuições, destacam-se: regular a geração (produção), transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica; fiscalizar, de forma direta ou por meio de convênios com órgãos estaduais, as concessões, as permissões e os serviços de energia elétrica; implementar políticas e diretrizes do governo federal relativas à exploração da energia elétrica e ao aproveitamento dos potenciais hidráulicos; estabelecer tarifas; dirimir as divergências administrativas tanto entre os agentes como entre esses agentes e consumidores, além de promover atividades de outorgas de concessão, permissão e autorização de empreendimentos e serviços de energia elétrica, por delegação do Governo Federal (ANEEL, acesso em 15 jan. 2017).

Como resultado dessas atribuições da ANEEL, juntamente com as mudanças ocorridas no setor elétrico brasileiro mencionadas na seção anterior, o comércio de energia elétrica no Brasil passou a ocorrer em dois ambientes de negociação: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Nesse contexto, cabe enfatizar de forma sucinta esses ambientes comerciais a fim de posteriormente verificar a inserção do biogás no mercado de energias renováveis.

#### 5.6.1.1. Ambientes de comercialização de energia elétrica no Brasil

Após as principais mudanças ocorridas no setor elétrico brasileiro, as relações comerciais no modelo atual passam a se estabelecer no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e no Ambiente de Contratação Livre (ACL).

No ACR ocorrem principalmente os leilões de compra de energia elétrica, assim como também a energia gerada pela usina binacional de Itaipu bem como a energia

associada ao PROINFA<sup>45</sup>. Segundo a CCEE (2017a), é neste ambiente que negocia-se quase 75% do volume total de energia, o que o constitui como principal setor de operações do tipo no país.

Neste ambiente os compradores e vendedores de energia participam de leilões e formalizam suas relações comerciais por meio de contratos estabelecidos no âmbito do ACR. Tais contratos possuem regulação específica para aspectos como preço da energia, submercado de registro do contrato e vigência de suprimento e não são passíveis de alterações bilaterais por parte dos agentes.

Os leilões são realizados pela CCEE por delegação da ANEEL e constituem-se como a principal forma de contratação de energia no Brasil. Por meio desse processo, concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviço público de distribuição de energia elétrica do SIN assumem a garantia de atendimento à totalidade de seu mercado no ACR. Os vencedores dos leilões são definidos pelo critério de menor tarifa.

No ACL, os agentes do mercado, geradores (a título de serviço público), autoprodutores, produtores independentes, comercializadores, importadores e exportadores de energia e os consumidores livres e especiais, possuem a liberdade de negociar a compra de energia e estabelecer volumes, preços e prazos de suprimento de forma bilateral (CCEE, 2017b). No Quadro 13 visualizam-se as principais diferenças entre esses ambientes.

Quadro 13 – Diferenças entre ACL e ACR

	<b>Ambiente Livre (ACL)</b>	<b>Ambiente Regulado (ACR)</b>
<b>PARTICIPANTES</b>	Geradoras, comercializadoras, consumidores livres e especiais.	Geradoras, distribuidoras e comercializadoras. As comercializadoras podem negociar energia somente nos leilões de energia existente (Ajuste e A-1).
<b>CONTRATAÇÃO</b>	Livre negociação entre os compradores e vendedores.	Realizada por meio de leilões de energia promovidos pela CCEE, sob delegação da Aneel.
<b>TIPO DE CONTRATO</b>	Acordo livremente estabelecido entre as partes.	Regulado pela Aneel, denominado Contrato de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR).
<b>PREÇO</b>	Acordado entre comprador e vendedor.	Estabelecido no leilão.

Fonte: Elaborado a partir de CCEE (2017b).

<sup>45</sup> Apesar de não ser contratada em leilões, a energia gerada pela usina binacional de Itaipu e a energia associada ao PROINFA são enquadradas no ACR, já que sua contratação é regulada com condições específicas e determinadas pela ANEEL (CCEE, 2017a).



Fora desses ambientes, existe ainda o Mercado de Curto Prazo (MCP), onde são contabilizadas e liquidadas as diferenças de energia elétrica ocorridas entre os montantes gerados, contratados e consumidos. Esses três ambientes são de responsabilidade da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), criada em 2004 após a extinção da Administradora de Serviços do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (Asmae) e do Mercado Atacadista de Energia Elétrica (MAE) (CCEE, 2017b).

De acordo com a CCEE (2017c), os agentes de mercado são divididos por categorias, em conformidade com a Convenção de Comercialização. O Quadro 14 descreve cada um desses agentes e suas categorias.

Quadro 14 – Agentes do mercado de energia elétrica

(Continua)

CATEGORIA	DESCRIÇÃO	
<p style="text-align: center;"><b>GERAÇÃO</b></p>	<p>Podem vender energia tanto no ACR como no ACL. E são ainda organizados por classes.</p>	<p><b>Concessionário de Serviço Público de Geração:</b> agente titular de concessão para exploração de ativo de geração a título de serviço público, outorgada pelo Poder Concedente.</p>
		<p><b>Produtor Independente de Energia Elétrica:</b> agente individual, ou participante de consórcio, que recebe concessão, permissão ou autorização do Poder Concedente para produzir energia destinada à comercialização por sua conta e risco.</p>
		<p><b>Autoprodutor:</b> possui concessão, permissão ou autorização para produzir energia destinada a seu uso exclusivo, podendo comercializar eventual excedente de energia desde que autorizado pela Aneel.</p>
<p style="text-align: center;"><b>COMERCIALIZAÇÃO</b></p>	<p>São os agentes importadores, exportadores e comercializadores de energia elétrica, além dos consumidores livres e dos consumidores especiais</p>	<p><b>Comercializador:</b> compra energia por meio de contratos bilaterais celebrados no ACL, podendo vender energia a outros comercializadores, a geradores e aos consumidores livres e especiais, no próprio ACL, ou aos distribuidores por meio dos leilões de ajuste no ACR.</p>
		<p><b>Consumidor Livre:</b> pode escolher seu fornecedor de energia elétrica (gerador e/ou comercializador) por meio de livre negociação caso sua demanda mínima seja de 3 MW.</p>
		<p><b>Consumidor Especial:</b> possui demanda entre 500 kW e 3MW, que tem o direito de adquirir energia de qualquer fornecedor, desde que a energia adquirida seja oriunda de fontes incentivadas especiais (eólica, Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs, biomassa ou solar).</p>

Quadro 14 – Agentes do mercado de energia elétrica

(Conclusão)

CATEGORIA	DESCRIÇÃO	
COMERCIALIZAÇÃO		<b>Importador:</b> detém autorização do Poder Concedente para realizar importação de energia elétrica para abastecimento do mercado nacional.
		<b>Exportador:</b> detém autorização do Poder Concedente para realizar exportação de energia elétrica para abastecimento de países vizinhos.
DISTRIBUIÇÃO	São as empresas que realizam o atendimento da demanda de energia aos consumidores com tarifas e condições de fornecimento reguladas pela Aneel. Todos desta categoria possuem participação obrigatória no ACR por meio de leilões.	

Fonte: Elaborado a partir de CCEE (2017c).

Por fim, a atuação da CCEE ocorre desde a medição da energia gerada e efetivamente consumida até a liquidação financeira dos contratos de compra e de venda no MCP. Além de possui a importante função de promover os leilões de energia, sob delegação da ANEEL.

A atuação da CCEE ocorre desde a medição da energia gerada e efetivamente consumida até a liquidação financeira dos contratos de compra e venda no MCP, além de promover os leilões de energia sob delegação da ANEEL. Desta forma, as operações de comercialização de energia elétrica realizadas pela CCEE são regidas por diversas regras e procedimentos.

Neste aspecto, como o biogás enquadra-se como fonte de energia renovável não convencional, torna-se pertinente verificar de que forma ocorre a comercialização no mercado de energias renováveis. Assim, os itens a seguir buscam enfatizar tal conjuntura.

### 5.6.2. Comercialização de Energias Renováveis

Conforme estudos da EPE (2016b), as mudanças que ocorreram no cenário energético nacional e mundial nos últimos anos influenciaram as principais

condições de contorno dentro do PNE em diversos aspectos, dentre os quais destacam-se para este trabalho a evolução das energias renováveis e a penetração do biogás como gás não convencional.

Nesse aspecto, ao analisar a inserção do biogás neste mercado de energias renováveis, torna-se indispensável verificar os principais instrumentos existentes sob o ponto de vista de incentivo a esse tipo de fonte. De forma geral, a comercialização de energia está principalmente embasada em decisões de preço e quantidade de energia produzida, conforme mencionado no início deste capítulo (AMARAL FILHO, 2007). Nesse aspecto, Azuela e Barroso (2011) apontam os principais instrumentos de mercado utilizados no mundo:

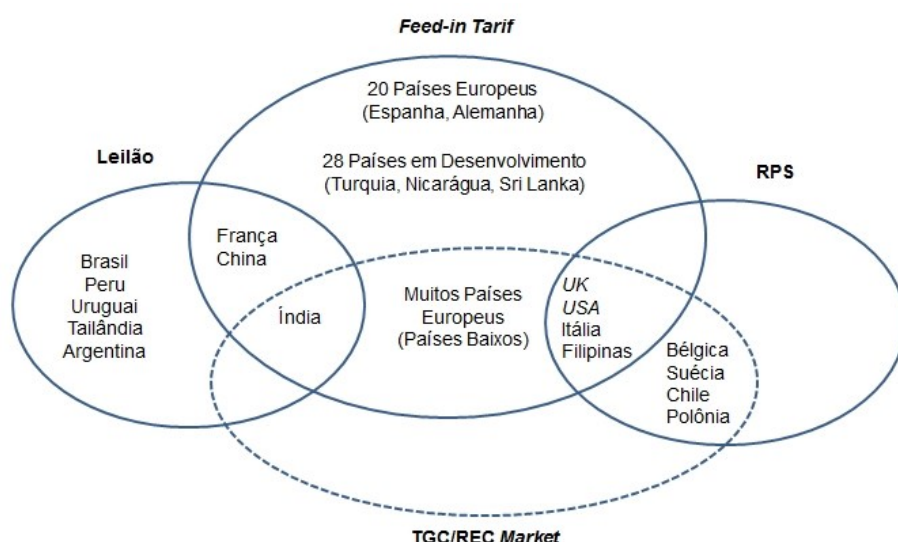
- FIT (*Feed-in Tariff*): iniciou-se na Alemanha e disseminou-se pela Europa em 1990, influenciando vários países. Para Butler e Neuhoff (2008) este instrumento *Feed-in Tariff* determina um preço mínimo que a concessionária deve pagar ao produtor pela geração de energia elétrica renovável.
- TGC (*Tradable Green Certificates*): são certificações atribuídas às organizações pela produção de determinada quantidade de energia originada de fontes renováveis. Funciona mais como incentivo para estimular esse tipo de atividade.
- RPS (*Renewable Portfolio Standard*): embasada em cotas, as concessionárias possuem a obrigatoriedade de contratar uma parte do total de energia vendida a partir de fontes renováveis. Azuela e Barroso (2011) acrescentam que é uma espécie de política amplamente utilizada por diversos países. Em 2011, só nos Estados Unidos da América, 31 dos 50 Estados estavam inseridos nessas condições.
- Leilão: neste instrumento o agente regulador é quem define a quantidade de energia disponível para comercialização para em seguida estruturar um leilão para venda, de forma a estimular a competição entre os contratantes. Como ocorre no Brasil, quem possuir a menor tarifa vence o leilão. Para Rio e Linares (2014), a ideia deste mecanismo é buscar tanto a eficiência como a redução do custo de tecnologias durante um período de tempo, visando incentivar a competição entre os produtores de Energias Renováveis. Por outro lado, Azuela e Barroso (2011) não consideram que este mecanismo representa uma política de energias sustentáveis, embora auxiliem na

promoção e desenvolvimento destas energias de forma competitiva. Conforme mencionado na seção anterior, o leilão ocorre no Brasil pelo ACR e é a principal modalidade de contratação de energia elétrica no país (CCEE, 2017a).

- *Peer-to-peer*: iniciada recentemente por uma empresa alemã (*Sonnenbatterie*), este mecanismo permite que proprietários de pequena geração de energia solar e eólica comercializem energia em toda a rede elétrica. É uma espécie de comércio de energia distribuída onde os consumidores pagam uma taxa mensal para contratar uma determinada quantidade de energia diretamente com os fornecedores de energia "limpa". Neste mecanismo os consumidores podem escolher seu fornecedor de energia específica e os produtores podem nomear seu preço (MARTIN, 2015). Se bem aceita, tende a disseminar-se para outras fontes.

Assim, a Figura 22 apresenta uma síntese dos instrumentos mencionados e adotados em diversos países.

Figura 22 – Síntese dos principais mecanismos de comercialização de energias renováveis em alguns países



Fonte: Elaborado a partir de AZUELA; BARROSO (2011).

Nota: TGC (*Tradable Green Certificate/ Tratado de Certificado Verde*); REC (*Renewable Energy Certificate/ Certificado de Energia Renovável*); UK (Reino Unido); USA (Estados Unidos da América); RPS (*Renewable Portfolio Standard/ Padrão de Portfólio Renovável*).

Com base na Figura 22, Azuela e Barroso (2011) complementam que quase todos os países aplicam algum tipo de incentivo fiscal ou financeiro de forma paralela aos mecanismos baseados em preços ou cotas.

Somam-se aos mecanismos já mencionados, outros tipos de incentivos fiscais e econômicos comumente utilizados tendo como base o investimento inicial do empreendimento e/ou sua vida útil. De forma geral, são políticas que favorecem tanto o gerador como todos os demais agentes do setor. Alguns desses principais incentivos são descritos por Salino (2011):

- **Redução de imposto sobre propriedade:** se a propriedade for utilizada para produzir energias renováveis o proprietário pode obter a redução ou a exclusão de impostos.
- **Redução do Imposto sobre o Valor Acrescentado (IVA):** é reduzido ou isento o imposto do valor acrescentado entre a compra de insumos e a venda de energias renováveis;
- **Redução de impostos de importação:** o imposto sobre materiais importados utilizados em usinas de energia renovável é reduzido ou eliminado.
- **Incentivos fiscais de produção:** fornecimento de créditos ou deduções de impostos a uma taxa proporcional ao kWh produzido em plantas de energia renovável;
- **Depreciação acelerada:** neste caso permite-se que os equipamentos utilizados nas plantas de energia renovável depreciem-se a uma taxa mais rápida, de forma a reduzir o montante declarado, para efeitos do Imposto de Renda;
- **Créditos para pesquisa, desenvolvimento e fabricação de equipamentos:** são oferecidos créditos para instituições de desenvolvimento em energia renovável, inclusive para pesquisas e processo de fabricação;
- **Redução de juros de empréstimo, no âmbito do BNDES:** empreendimentos de energias renováveis podem ser financiados pelo programa Fundo Clima, o qual possui objetivo de apoiar investimentos em geração e distribuição local de energia renovável (BNDES, 2016).

No contexto brasileiro, um programa criado especificamente para incentivar as fontes renováveis foi o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica). Este programa foi Criado em 2004 pelo governo federal por meio do Decreto nº 5.025. Esse programa teve como objetivo elevar a participação na matriz energética brasileira de fontes de geração de energia elétrica a partir de pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e biomassa. Além disso, a nacionalização de equipamentos e o fortalecimento da indústria de base destes tipos de empreendimentos também foram objetivados.

De forma geral, estes incentivos são iniciativas que visam o estímulo e fomento da produção, comercialização e distribuição da energia renovável como um todo. No caso do biogás, sob o ponto de vista regulatório, verifica-se que recentemente surgiram diversas resoluções, normas e notas técnicas que indicam a valorização deste energético como fonte de energia elétrica não convencional, inserido também num ambiente de oferta descentralizada de energia. Assim, na sequência desta revisão, o biogás é exposto neste cenário.

### **5.6.3. O biogás como fonte de energia elétrica não convencional**

A revisão da literatura anterior referente ao setor elétrico brasileiro permitiu observar que a política energética brasileira, atuando de forma tradicional, procurou suprir às demandas energéticas baseando-se no conceito de energia firme: maior quantidade, melhor qualidade e máxima estabilidade. Com base nesta premissa, as opções de geração costumaram a ser definidas a partir de grandes empreendimentos, resultando em organizações centralizadas, dotadas de elevada tecnologia, como a hidroeletricidade e a termoeletricidade (carvão, a gás natural e nuclear). Devido a essa característica centralizadora, a geração de energia convencional exigiu um sistema pesado e custoso de distribuição, incluindo grandes torres de transmissão além de subestações responsáveis pela conversão da energia de alta tensão em energia de baixa ou média tensão. Nesse sistema, somente após o processo de conversão que a energia está preparada para ser comercializada pelas concessionárias de energia e, em seguida, conduzida pelas linhas de distribuição até o consumidor final. É um sistema caracterizado por um modelo de geração

concentrador dos processos de geração, transmissão e distribuição da energia e extremamente estratégico, visando garantir a segurança e a confiabilidade do sistema nacional.

Neste cenário, também associado ao conceito de energia firme do modelo convencional, desenvolveu-se outra forma de produzir energia: a geração descentralizada de energia, conhecida como Geração Distribuída (GD). A GD consiste numa forma de gerar energia elétrica por meio de pequenas centrais e depois inseri-la na rede de distribuição, permitindo a descentralização do sistema tradicional. Esse tipo de geração envolve qualquer tipo de fonte renovável de energia elétrica, seja a eólica, solar, hídrica, geotérmica ou biomassa. Esta última fonte inclui o biogás.

Embora a GD seja mencionada como uma nova forma de energia na literatura do setor, a ideia de gerar energia de forma descentralizada teve início há mais de 20 anos com a criação da figura do autoprodutor (APE)<sup>46</sup> e do produtor independente de energia (PIE)<sup>47</sup> pela Lei nº 9.074/1995, regulamentada pelo Decreto nº 2.003/1996.

Alguns anos após o surgimento das figuras APE e PIE, a Lei nº 10.848/2004, regulamentada pelo Decreto 5.163/2004, dispôs sobre a comercialização de energia elétrica e fez a primeira menção à geração distribuída<sup>48</sup>. Esta Lei exigiu que os agentes vendedores apresentassem as informações de lastro e potência para a venda de energia a fim de garantir a totalidade dos seus contratos. Assim, esta lei exigiu ainda que as distribuidoras localizadas na região de abrangência do SIN deveriam garantir atendimento à totalidade de seus consumidores por meio de contratação regulada após processo de licitação. Nesse processo licitatório as distribuidoras deveriam incluir as fontes alternativas provenientes de geração distribuída, dentre outras, abrindo possibilidades para entrada do biogás.

---

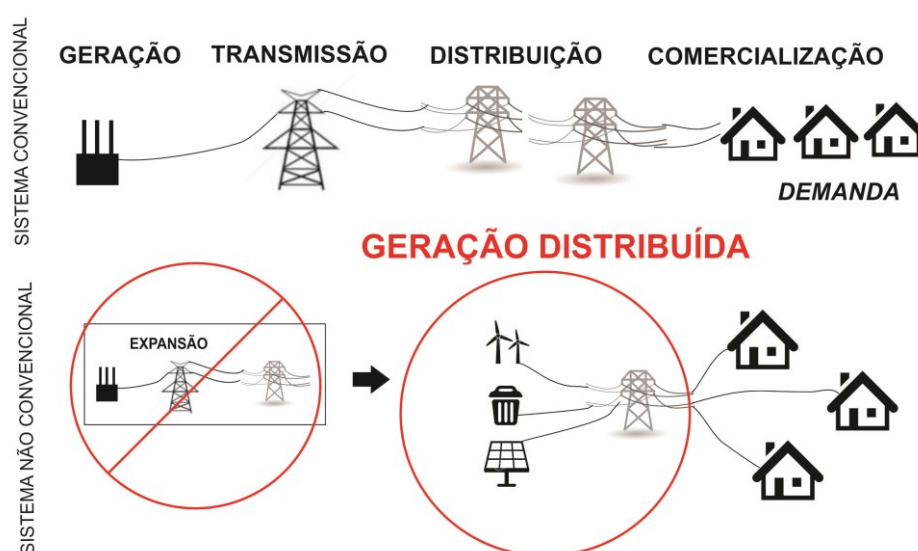
<sup>46</sup> Autoprodutor de Energia Elétrica: pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo (BRASIL, 1996).

<sup>47</sup> Produtor Independente de Energia Elétrica: pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco (BRASIL, 1996).

<sup>48</sup> Ver artigo 2º, parágrafo 8º, inciso II, da Lei nº 10.848/2004.

Nesse contexto, a GD não objetiva substituir o modelo tradicional, mas sim complementá-lo, uma vez que viabiliza empreendimentos de geração em micro escalas (abaixo de 5 MW), instalados na própria região de carga ou consumo, evitando custos de expansão das linhas de transmissão e subestações, pois a energia produzida por pequenos geradores pode ser comercializada e injetada diretamente nas linhas de transmissão. Assim, a GD permite um modelo descentralizado de geração elétrica, diferente do convencional, mas complementar, aumentando ganhos com a eficiência global do sistema, conforme pode ser visualizado na Figura 23.

Figura 23 - Geração de energia elétrica convencional x Geração Distribuída



Fonte: Elaboração própria.

Embora descentralizado, o modelo de GD é capaz de produzir energia de qualidade e contínua. A GD permite um novo olhar sobre o modelo do sistema elétrico, que apresenta benefícios significativos em relação ao modelo tradicional, tais como: possibilita eficiência energética na região onde opera, readequação e/ou economia de custos de investimentos em linhas de transmissão, permite a aplicação de fontes renováveis, descentraliza e viabiliza pequenas centrais de geração, fornece energia adequada ao tipo de consumo e produz amplos efeitos econômicos locais.

A partir do Decreto nº 5.163/2004, a Geração Distribuída no Brasil permitiu maior destaque ao biogás. Por meio de algumas unidades de demonstração implementadas pelo Programa de Geração Distribuída da ITAIPU Binacional, em



parceria com a Companhia Paranaense de Energia (COPEL), a ANEEL publica a Nota Técnica ANEEL nº 042/2008, que autoriza a concessionária local a comprar energia por esta modalidade, a partir de seis projetos de Geração Distribuída a partir do biogás e com saneamento ambiental no Oeste do Paraná. Baseada nesta nota técnica, neste mesmo ano (2008), a COPEL publica a Chamada Pública nº 005/08, por meio da qual contrata experimentalmente os protótipos da ITAIPU.

Em seguida, por meio de Chamada Pública, a ANEEL promove uma discussão sobre a geração distribuída com biogás, resultando em modificações no PRODIST (Procedimentos de Distribuição), registradas na Resolução Normativa ANEEL nº 390/2009 e Resolução Normativa ANEEL nº 395/2009. Resoluções estas que estabelecem os requisitos necessários à outorga de autorização para exploração e alteração da capacidade instalada de usinas termelétricas e de outras fontes renováveis de energia, além de fixar procedimentos para registro de centrais geradoras com baixas capacidades instaladas, excluindo as fontes de energia primária hidráulica, eólica e nuclear.

No ano seguinte, em 2010, a COPEL publica um Manual Técnico de Geração Distribuída, que inclui Biogás e Saneamento Ambiental, cuja iniciativa definiu condições para a conexão e acesso de geração à rede de distribuição. Este manual significou grande avanço nos conceitos, metodologias e padrões relativos à geração distribuída de energia elétrica. Nessa perspectiva, a ANEEL publica em 2012 a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, considerada um marco do setor porque reduziu barreiras à comercialização ao estabelecer as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Em seguida, no ano de 2015, a ANEEL complementa a resolução nº 482/2012 com a Resolução Normativa nº 687/2015. A seguir, comenta-se mais especificamente sobre esta regulação associada ao comércio e aproveitamento do biogás de RSU para geração de energia elétrica.

#### **5.6.4. Regulação e aproveitamento do biogás de RSU para geração de energia elétrica**

Inserido no modelo de geração de energia elétrica não convencional, observou-se que o biogás vem recebendo significativa notoriedade no setor elétrico brasileiro. Na sequência regulatória que se sucedeu à criação da resolução ANEEL nº 482/2012, mencionada em item anterior, surgiram outras resoluções normativas e notas técnicas que também permitiram destaque ao biogás. Como exemplo menciona-se a Nota Técnica EPE nº 13/2014, que insere o biogás nos estudos de planejamento energético do Brasil para o ano de 2050. Esse estudo indica que a demanda atual de energia no Brasil tem encontrado limitações por causa da perda de capacidade de investimentos de grandes projetos geradores, o que reforça a ideia de crescimento da oferta descentralizada de energia.

Nesse contexto, o biogás apresenta diversas vantagens por ser um energético flexível tanto no uso, porque pode ser convertido em eletricidade, injetado na rede de gás após tratamento, ou usado como combustível, como na produção, pois pode ser produzido a partir de resíduos rurais, industriais ou urbanos. Tal característica sinaliza um grau de descentralização na produção e uso de combustíveis que insere um fator de inovação no setor energético como um todo (EPE, 2014c). Para a fonte proveniente de RSU, destacaram-se algumas opções regulatórias que deram continuidade ao aproveitamento deste energético no setor elétrico.

A Nota Técnica DEA nº 16/2014 da EPE, relativa ao aproveitamento energético dos RSU, apresenta as possibilidades de comercialização do biogás para geração de energia elétrica resumidas em três alternativas: (1) Venda no Mercado Livre, (2) Autoprodução e (3) Sistema de Compensação (*Net Metering*), cada qual com sua influência regulatória. No novo modelo do mercado elétrico as regras do comércio de energia são claramente definidas pelo Decreto nº 5.163/2004, além da Resolução Normativa da ANEEL nº 82/2012. Cabe ressaltar que a participação em leilões ainda não encontrou viabilidade na maioria das simulações da EPE (informadas na nota técnica mencionada), por esse motivo esta opção não será tratada neste estudo.

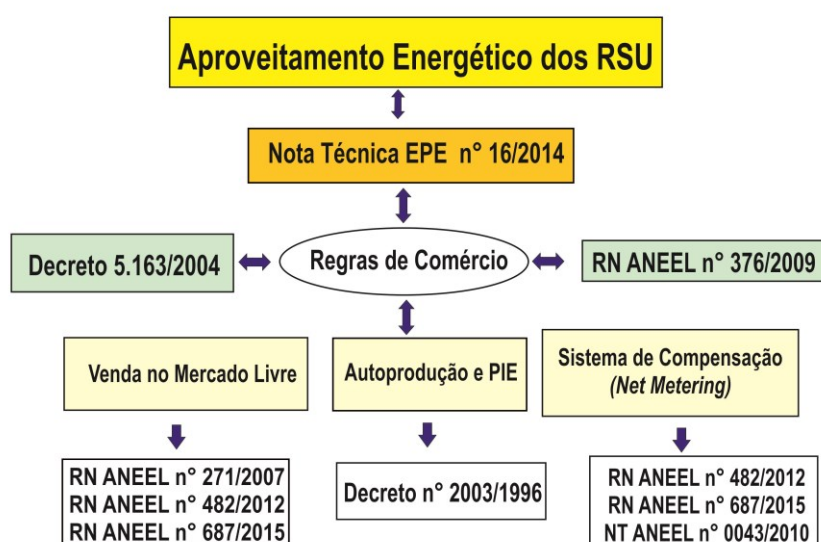
A primeira possibilidade é a venda no mercado livre por meio de contratos bilaterais com consumidores livres. Segundo a EPE (2014, p.22), "esta opção abre uma janela

de oportunidade de competição com valores de tarifas de consumidores finais, que são bem superiores aos valores praticados nos leilões." É uma opção regulatória disposta na Resolução Normativa da ANEEL nº 271/2007, que também permite oportunidades na geração distribuída.

A segunda alternativa emerge com a figura do APE ou PIE, conforme já mencionado em item anterior, com as mesmas características da primeira opção, porém com mais vantagem devido à exclusão de tributos que afetam os preços finais de energia elétrica. Esta opção é regulamentada pelo Decreto nº 2.003/1996.

A terceira opção aloca-se na contratação via Sistema de Compensação de Energia ou *Net Metering*, que consiste na adoção do sistema de medição líquida da energia injetada na rede de distribuição, descontado o consumo, e utilização desse crédito no abatimento da fatura nos meses posteriores, conforme disposto na Nota Técnica nº 0043/2010, da ANEEL. No caso da biodigestão, para unidade de até 1MW, é uma possibilidade estabelecida pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, complementada pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015. Estas possibilidades estão resumidas na Figura 24 e serão tratadas em detalhes nos itens a seguir.

Figura 24 - Possibilidades regulatórias de aproveitamento energético dos RSU



Fonte: Elaboração própria a partir de EPE (2014a).

### 5.6.5. Comercialização no mercado livre e a geração distribuída

De acordo com Tolmasquim (2015), o Ambiente de Contratação Livre (ACL) é o segmento do mercado onde ocorrem as operações de compra e venda de energia por meio de contratos bilaterais negociados livremente entre agentes concessionários, permissionários e autorizados de geração, importadores, comercializadores, exportadores de energia, consumidores livres e especiais.

Esta alternativa regulatória permite o estabelecimento de contratos bilaterais com consumidores cuja demanda esteja entre 0,5 e 3 MW, (considerado como “especiais” ou quando acima deste valor são “livres”), sob análise dos custos de segurança para atendimento em horários de manutenção e falhas ocasionais. Nesta opção os valores de TUST e TUSD devem ser acrescentados para eletricidade proveniente em, no mínimo, 50% de resíduos ou esgoto em plantas de até 30 MW, de acordo com a Resolução Normativa ANEEL n° 271/2007 (NOTA TÉCNICA DEA n° 16, 2014).

A Resolução Normativa ANEEL n° 271, de 03 de Julho de 2007, por meio do artigo 1°, estabelece os procedimentos ligados à redução de tarifas pelo uso dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição, aplicáveis a empreendimentos hidrelétricos (com potência igual ou inferior a 1 MW), para os caracterizados como pequena central hidrelétrica (PCH) e àqueles que possuem como base fontes solares, eólicas, biomassas ou cogeração qualificada, cuja potência injetada na rede de transmissão ou distribuição seja menor ou igual a 30 MW, a incidir tanto na produção quanto no consumo da energia comercializada pelos aproveitamentos.

Na forma da Resolução Normativa ANEEL n° 271/2007, destaca-se a fonte de biomassa, na qual os resíduos sólidos urbanos estão inseridos. De forma geral, a regra vale-se do desconto de 50% na tarifa de uso para os empreendimentos mencionados (PCHs, de fontes solares, eólicas, biomassas ou cogeração). Assim, as condições para este desconto estão dispostas no artigo 3°: “fica assegurado o direito a 100% (cem por cento) de redução, a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição” (ANEEL, 2007). Esta redução incide sobre a produção e o consumo de energia comercializada pelos empreendimentos citados desde que atendam a uma das seguintes condicionantes:

Art. 3º - Fica assegurado o direito a 100% (cem por cento) de redução, a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos empreendimentos a que se refere o art. 1º desta Resolução, desde que atenda a uma das seguintes condições:

[...]

IV – aqueles que utilizem como insumo energético, no mínimo, 50% (cinquenta por cento) de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou de biogás de aterro sanitário ou biodigestores de resíduos vegetais ou animais, assim como lodos de estações de tratamento de esgoto (ANEEL, 2007).

Além das possibilidades mencionadas pela Resolução Normativa ANEEL nº 271/2007, existe também a possibilidade de comercialização como gerador distribuído por meio da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, considerada um marco regulatório para a descentralização da geração de energia no Brasil, conforme já mencionado em itens anteriores. Esta resolução permite a conexão do potencial de até 1 MW<sup>49</sup> inserido na rede de distribuição, incluindo a baixa tensão. Assim, é mais uma alternativa que auxilia algumas opções tecnológicas de tratamento de RSU na aquisição de mais rentabilidade e comprovação de viabilidade técnica e econômica de empreendimentos do tipo.

Para efeitos desta Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, complementada pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015, que 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, além de outras providências, adotam-se as seguintes definições:

Art. 1º Alterar o art. 2º da Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, que passa a vigorar com a seguinte redação:

‘Art. 2º

I - **microgeração distribuída**: central geradora de energia elétrica, com potência instalada **menor ou igual a 75 kW** e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

II - **minigeração distribuída**: central geradora de energia elétrica, com potência instalada **superior a 75 kW** e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas **ou menor ou igual a 5 MW** para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

---

<sup>49</sup> Valor alterado para até 5MW conforme disposto no art.1º da Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015.

III - **sistema de compensação de energia elétrica**: sistema no qual a **energia ativa injetada** por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída **é cedida**, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local **e posteriormente compensada** com o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2015, grifo nosso).

Neste caso, as concessionárias de distribuição podem atender até 10% dos mercados com geradores distribuídos. Entretanto, existe uma dificuldade que precisa ser superada: o Valor de Referência (VR). O valor remunerado neste processo de comercialização engata na barreira do VR, cujo valor no ano de 2013 (ano do cálculo econômico dos empreendimentos analisados no estudo da EPE NT DEA 16/2014) foi de R\$ 129/MWh, portanto, só remunerando a tarifa de equilíbrio no caso de redução de investimentos e utilização de subsídios e financiamentos, como do Fundo Clima, por exemplo (NT DEA n° 16, 2014).

#### **5.6.6. Comercialização por meio da Autoprodução e Produção Independente**

A autoprodução e a produção de energia independente também são opções relevantes a serem consideradas no setor regulatório de aproveitamento do biogás. Ambas apresentam as mesmas características comentadas no item anterior, porém com o benefício da retirada dos tributos relativos à comercialização de eletricidade.

O autoprodutor é conceituado como a pessoa física ou jurídica ou empresas agrupadas em consórcio que recebem concessão ou autorização para produzir energia destinada ao seu uso exclusivo. A diferença para o Produtor Independente de Energia (PIE) é que este, concedido ou autorizado pelo poder público, produz energia elétrica para ser comercializada de forma total ou parcial por sua conta e risco próprio.

Este regime está conceituado no Decreto n° 2.003/1996, já citado em itens anteriores. Assim, para produzir energia em ambos regimes é preciso obter concessão ou autorização do Poder Público, conforme exigência da legislação. No caso do autoprodutor, a outorga de concessão ou autorização condiciona-se à comprovação da energia produzida ser destinada ao consumo próprio, tanto atual quanto a sua projeção.

Todavia, o poder concedente ainda faculta as seguintes questões: (1) Cessão e permuta de energia e potência entre autoprodutores consorciados em um mesmo empreendimento, na barra da usina; (2) Compra da produção excedente pelo concessionário ou permissionário distribuidor; (3) Permuta de energia, com concessionário ou permissionário distribuidor, em montantes equivalentes, de forma a possibilitar o consumo em instalações industriais do autoprodutor em locais diferente ao da geração (TOLMASQUIM, 2015).

No caso de uma usina termelétrica maior que 5MW, basta uma autorização. Para a implantação de termelétrica menor ou igual a 5MW é preciso apenas comunicar registro ao órgão regulador, para ambos os casos (autoprodutor e PIE).

Conforme disposto no artigo 14 do Decreto nº 2.003/1996 (BRASIL, 1996), a operação energética das centrais geradoras por produtor independente e autoprodutor poderá ocorrer tanto na modalidade integrada como na modalidade não integrada. No caso da integrada, Tolmasquim (2015) afirma que as operações ficam submetidas às regras operativas do ONS. Buneder, Camponogara e Pantaleão (2014) acrescentam que esta modalidade é necessária quando a operação causa elevado impacto na rede elétrica. Já a modalidade não integrada ocorre quando não é causado nenhum impacto significativo na rede elétrica.

Neste cenário, os autoprodutores também estão sob encargos do regime especial. Desta forma, pagam somente a parcela referente ao Encargo de Energia de Reserva (EER) decorrente da interligação ao SIN, de acordo com a proporção do montante da energia que consomem do sistema. Os demais usuários do SIN, inclusive consumidores livres e potencialmente livres, dividem todos os custos da contratação, incluindo os administrativos, financeiros e tributários (TOLMASQUIM, 2015).

No caso do PIE, ele está submetido às normas de comercialização regulada ou livre, conforme dispositivos legais. Possui livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição, mas devem pagar os custos de transporte. Já os autoprodutores possuem acesso aos sistemas de transmissão e distribuição com ressarcimento do custo de transporte.

As disposições relativas ao PIE, referentes à comercialização de potência ou energia, são explicadas no artigo 23, do Decreto nº 2003/1996:

Art. 23. O produtor independente poderá comercializar a potência e/ou energia com:

I - concessionário ou permissionário de serviço público de energia elétrica;

II - consumidores de energia elétrica nas condições estabelecidas nos artigos 15 e 16 da Lei nº 9.074, de 1995;

III - consumidores de energia elétrica integrantes de complexo industrial ou comercial, aos quais forneça vapor ou outro insumo oriundo de processo de cogeração;

IV - conjunto de consumidores de energia elétrica, independentemente de tensão e carga, nas condições previamente ajustadas com o concessionário local de distribuição;

V - qualquer consumidor que demonstre ao poder concedente não ter o concessionário local lhe assegurado o fornecimento no prazo de até 180 dias, contado da respectiva solicitação.

Parágrafo único. A comercialização de energia elétrica nas hipóteses dos incisos I, IV e V deste artigo deverá ser feita a preços sujeitos aos critérios gerais fixados pelo poder concedente (BRASIL/1996).

Tolmasquim (2015) acresce ainda a possibilidade do PIE comercializar potência ou energia com os consumidores livres, o que aumenta o leque de abrangência e comercialização neste regime.

#### **5.6.7. O sistema de compensação de energia elétrica**

Na sequência das mudanças regulatórias ocorridas no setor elétrico brasileiro, o sistema de compensação de energia elétrica também se caracteriza como uma importante inovação regulatória que veio por meio da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, complementada pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015.

Conhecida também no setor energético como *Net Metering*, é um sistema de compensação de energia elétrica que permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro ou minigeração seja inserida diretamente na rede da distribuidora, que funcionará como uma espécie de bateria ao armazenar o excedente gerado até o momento em que a unidade consumidora necessite desta energia. Assim, a energia elétrica gerada nestas unidades consumidoras é cedida à distribuidora local, por meio de um empréstimo de forma gratuita, e depois compensada com o consumo de energia elétrica desta mesma unidade ou de outra



unidade consumidora de mesma titularidade. Assim, é disposto na resolução mencionada:

Art. 2º Para efeitos desta Resolução, ficam adotadas as seguintes definições:

[...]

III - sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa; (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015)

Conforme disposto na regulação apresentada inicialmente no ano de 2012 e posteriormente aprimorada pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015, entende-se como Microgeração Distribuída a central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. E como Minigeração Distribuída a central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica.

Cabe reforçar que estas alternativas só podem ser aplicadas no caso de energia proveniente de fonte hídrica, solar, eólica, biomassa ou de cogeração qualificada. A ideia da regulação é promover e incentivar cada vez mais o uso de uma energia considerada “limpa” e sustentável em todo o país, tanto no ambiente residencial como no industrial.

A contabilidade da compensação da energia injetada por pequenos consumidores é resumida no art. 6º, parágrafo primeiro, da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, conforme a seguir:

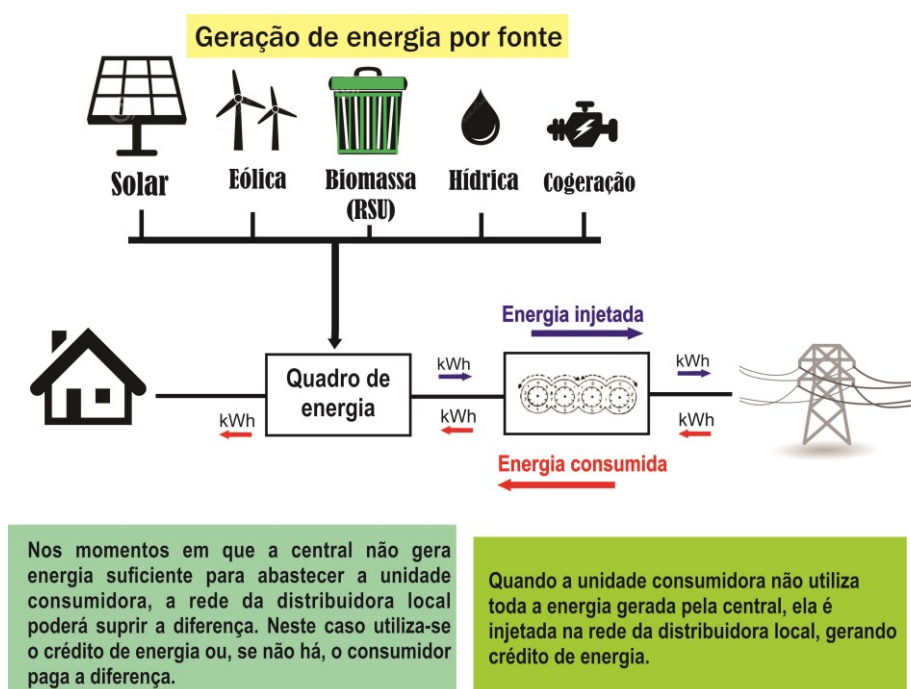
Art 6º Podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica os consumidores responsáveis por unidade consumidora: (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015.)

[...]

§1º Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses. (Redação dada pela REN ANEEL 687, de 24.11.2015).

Para Rauschmayer e Galdino (2014), o artigo 6º mencionado descreve o princípio do *net metering* de forma simplificada, ou seja, o consumidor entrega energia à concessionária para que esta seja devolvida em outro horário, num procedimento semelhante a uma conta corrente bancária. Em síntese, na compreensão da Aneel, não existe venda de mercadoria, tampouco um valor financeiro atribuído à energia injetada, mas sim um balanço de energia em kWh. Na Figura 25 ilustra-se este processo.

Figura 25 - Sistema de Compensação de Energia Elétrica



Fonte: Elaboração própria a partir de ANEEL (2014).

Na Figura 25, destaca-se a fonte de energia a partir da biomassa de resíduos sólidos urbanos. O interessado em investir neste sistema de compensação tem como benefício a possibilidade de abatimento do próprio consumo de energia, pois no momento em que devolve a energia elétrica que não utiliza, obtém um “saldo positivo” que pode ser deduzido da próxima fatura ou nos 60 meses seguintes, conforme complementado pela Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015.

Esse benefício também pode ser transferido para outra unidade consumidora, desde que esteja dentro da mesma área de concessão e sob o mesmo registro. É um benefício comumente utilizado por indústrias de grande porte que possuem várias unidades consumidoras. Além dos benefícios para o consumidor final também

contribuiu para o meio ambiente, pois o processo permite reduzir custos com investimentos em transmissão de energia, incentiva o uso de fontes renováveis e favorece o melhor aproveitamento dos recursos.

Apesar dos benefícios citados, cabe inferir que em alguns locais pode existir a incidência do ICMS sobre a energia compensada. Neste caso, a compensação de energia é interessante caso não exista a incidência de imposto e tributos na região. Segundo a EPE (2014a), a incidência desses tributos pode inviabilizar esse tipo de aproveitamento.

#### **5.6.8. O ICMS no sistema de compensação de energia elétrica**

Segundo Rauschmayer e Galdino (2014), a ideia do *net metering* é fugir das questões tributárias. Conforme explicado, o cliente deposita a energia excedente na rede da concessionária que a devolve em outro horário. A conta mensal resume-se simplesmente no cálculo sobre a diferença entre consumo e geração. Este foi o conceito adotado no Brasil pela Aneel. Todavia, o CONFAZ (Conselho Nacional de Política Fazendária) possui um entendimento diferente, conforme publicado no Convênio ICMS nº6/2013, tributando a energia gerada pelo consumidor no momento que é devolvida pela concessionária (CONFAZ, 2013).

Logo, existe uma discussão relativa ao Convênio ICMS nº16/2015 do CONFAZ, o qual autoriza a isenção de ICMS em operações internas relativas à circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o sistema de compensação de energia elétrica tratado na Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012. Porém, a discussão permeia aspectos relativos à adesão ao Convênio mencionado, uma vez que nem todos os Estados do Brasil realizaram adesão e o Espírito Santo é um deles<sup>50</sup>.

---

<sup>50</sup> Nesse aspecto, o fato do Estado do Espírito Santo não aderir ao convênio dificulta investimentos no setor e pode gerar desinteresse por parte de empreendedores quanto ao aproveitamento dos recursos energéticos provenientes de fontes renováveis, inclusive do biogás.

## 5.7. A REGULAÇÃO DO SETOR DE GÁS

Os primeiros anos do gás natural no Brasil começam a partir de 1940, antes mesmo da criação da Petrobrás, no Estado da Bahia, com a descoberta de petróleo e gás natural no Recôncavo Baiano. O direito de exploração desses produtos foi concedido a empresas privadas brasileiras com acionistas brasileiros autorizados pelo Conselho Nacional do Petróleo (CNP). O CNP foi a primeira iniciativa do Estado no sentido de regular a indústria do petróleo. A partir de 1950 inicia-se a modificação deste quadro institucional (ANP, 2009).

A constatação de vulnerabilidade do Brasil relativa ao suprimento petrolífero permitiu uma discussão sobre a possibilidade de se desenvolver uma indústria nacional do petróleo no país. Tal fato gerou no Brasil uma campanha popular conhecida pelo lema "O Petróleo é Nosso", resultando na criação da Petrobrás pela Lei 2.004/1953. Esta Lei determinou o monopólio da União sobre as atividades de pesquisa e lavra de jazidas, assim como de refino (exceto para as refinarias já existentes) e transporte marítimo de petróleo. Além disso, esta Lei também estabeleceu que o monopólio seria exercido tanto pela Petrobras (órgão executor do monopólio da União) quanto pelo CNP (na fiscalização das atividades decorrentes do monopólio) (ANP, 2009).

O resultado desse cenário, na prática, representou o monopólio da Petrobras sobre todas as atividades da indústria do petróleo e do gás natural por mais de quarenta anos. Assim, o gás natural foi produzido e vendido pela Petrobrás associado à mesma logística de produção do petróleo (ANP, 2009). Por conta disso, sempre houve uma grande dependência desta indústria e a indústria de petróleo, já que o preço do petróleo e de seus derivados estavam amplamente vinculados à formação de preço do gás natural. Somam-se a isso também, a viabilidade da construção da infraestrutura de transporte e distribuição de gás natural (CAMPOS, 2016e).

Nesse contexto, o desenvolvimento da indústria de gás natural no Brasil ocorreu a partir de empresas verticalmente integradas (o setor de comercialização estava unido ao de transporte e distribuição), não sujeitas à concorrência, com contratos de longo prazo e formação de preços com base em combustíveis substitutos (*netback*

value) (CAMPOS, 2016e). Todavia, segundo a ANP (2009), nas últimas duas décadas essa realidade vem se modificando.

As principais mudanças ocorridas no setor de gás natural no Brasil acompanharam uma tendência de reestruturações ocorridas também em indústrias de infraestrutura em diversos países do mundo. Nos Estados Unidos e Europa, por exemplo, iniciou-se a partir de 1980 o processo de reforma das indústrias de telecomunicação, energia elétrica, fornecimento de água e gás natural. Algumas indústrias foram desverticalizadas e outras privatizadas, o que também disseminou influências sobre o Brasil (JOSCOV,1996; ARENTSEN, 2003; STERN, 1998, apud ALMEIDA; FERARRO, 2013).

De forma geral, o principal objetivo dessas mudanças ocorridas no Brasil foi inserir a competição nas atividades potencialmente concorrenciais e a regulação nas atividades naturalmente monopólicas. Para tal, houve a necessidade de separação dos diferentes segmentos das indústrias. O Quadro 15 apresenta as principais mudanças que ocorreram no setor de gás natural no Brasil.

Quadro 15 - Mudanças ocorridas no setor de gás natural no Brasil

(Continua)

Características	MUDANÇAS DO NOVO MODELO	
	LEI DO PETRÓLEO (n° 9.478/1997)	LEI DO GÁS (n° 11.909/2009)
Empresas verticalizadas. Monopólio estatal da Petrobrás.	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Quebra do monopólio da Petrobrás com a entrada de novos agentes nas atividades de Exploração e Produção.</li> <li>▶ Exigência de separação contábil e jurídica.</li> <li>▶ Formação de parcerias, consórcios e alianças estratégicas entre a Petrobrás e companhias internacionais de petróleo.</li> <li>▶ Atuação de novos concessionários (de forma isolada ou por consórcios).</li> </ul>	Entrada de novos agentes: <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Autoprodutores</li> <li>▶ Autoimportadores</li> <li>▶ Consumidores livres.</li> </ul>
Transporte marítimo e duto viário são exclusivos da Petrobrás.	Regime legal do gasoduto: <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Autorização para todos os gasodutos de transporte.</li> </ul>	Regime legal do gasoduto: <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Autorização do gasoduto sob acordo internacional e para fins específicos.</li> <li>▶ Concessão: todas as demais situações.</li> <li>▶ MME dita regime dos novos gasodutos.</li> <li>▶ Gasodutos existentes: permanece autorização.</li> </ul>

Quadro 15 - Mudanças ocorridas no setor de gás natural no Brasil

(Conclusão)

<b>Modelo Antigo (até 1997)</b>	<b>LEI DO PETRÓLEO (nº 9.478/1997)</b>	<b>LEI DO GÁS (nº 11.909/2009)</b>
Contratos rígidos e de longo prazo.	Contratos mais flexíveis. ▶ Prazos para a suspensão do livre acesso de até seis anos para novos gasodutos.	Contratos mais flexíveis. ▶ Prazos para a suspensão do livre acesso de até dez anos para gasodutos existentes e sob licenciamento. ▶ Novos gasodutos determinados por ANP e MME.
Acesso aos gasodutos apenas pela Petrobrás.	▶ Livre acesso negociado para todos os gasodutos existentes. ▶ ANP atua somente em caso de conflito.	▶ O livre acesso é negociado para gasodutos existentes e novos gasodutos autorizados. ▶ Regulado somente para gasodutos sob concessão.
Empresas verticalizadas com a mesma configuração contábil.	Unbulling: sem restrições à verticalização. ▶ É obrigatório possuir empresa separada para construção e operação.	Unbulling: sem restrições à verticalização. ▶ Obrigatoriedade de manter empresa separada para construção e operação. ▶ Gasodutos sob concessão terão contabilidade separadas para transporte e armazenamento.
	Concurso público (open season): ▶ Transportador dá início a concurso público se carregador requisitar nova capacidade firme e após um ano do último concurso realizado.	Concurso público (open season): ▶ Apenas quando expandir a capacidade para gasodutos novos e existentes. ▶ MME regula e ANP implementa o concurso.

Fonte: Elaborado a partir de ANP (2001) e CAMPOS (2016e).

Até o ano de 1997, prevaleceu no Brasil o modelo de monopólio estatal verticalizado (Modelo Antigo), caracterizado pela atuação constante do Estado em todos os segmentos (produção, importação, exportação, processamento, transporte, estocagem, comercialização e distribuição) por meio da atuação da Petrobrás.

No modelo tradicional, a regulação se resumia no controle do poder de mercado dos segmentos caracterizados por monopólios naturais (transporte e distribuição) e à regulação dos contratos de exploração (ALMEIDA; FERRARO, 2013).

Segundo Almeida e Ferraro (2013), após o processo de abertura à desverticalização da indústria de gás natural, surgiram alguns problemas de ampla complexidade para os órgãos reguladores, tais como: a busca pela eficiência econômica, questões associadas ao livre acesso às infraestruturas de rede, as regras de separação da

cadeia e a regulação de mercados secundários. Todo esse aparato foi incluído na dinâmica do setor de gás natural. Assim, “o novo modelo de concorrência da indústria de gás redefiniu os regimes regulatórios historicamente usados na indústria” (p.166). Esses novos regimes serão apresentados em sequência, com ênfase às principais mudanças ocorridas no setor de gás natural do Brasil.

### **5.7.1. Principais mudanças regulatórias do setor de gás natural**

Embasados na premissa de separação das atividades a fim de promover a entrada de outros agentes no setor de gás natural, os dois principais marcos regulatórios da reforma da indústria gasífera no país foram: (1) a Lei nº 9.478/1997, conhecida como a “Lei do Petróleo” e (2) a Lei nº 11.909/2009, conhecida como a “Lei do Gás”, regulamentada pelo Decreto nº 7.382/2010. Antes disso, Campos (2016e) pontua que a Constituição Federal de 1988 (§ 2º art. 25, reeditado pela Emenda Constitucional nº 5/1995<sup>51</sup>) ditava as regras do setor.

O primeiro marco estabeleceu que o monopólio do petróleo não mais deveria ser exercido pela Petrobras<sup>52</sup>. Neste caso, houve a necessidade da Petrobras criar uma subsidiária com atribuições específicas associadas às atividades de transporte, denominada Transpetro. Desta forma, houve tanto a separação contábil da atividade monopólica da cadeia de transporte como a separação jurídica. Contudo, a exigência de separação das atividades da cadeia não se completou totalmente, uma vez que não foram estabelecidos limites à participação de grupos econômicos nos diferentes segmentos da cadeia do gás natural (ANP, 2011).

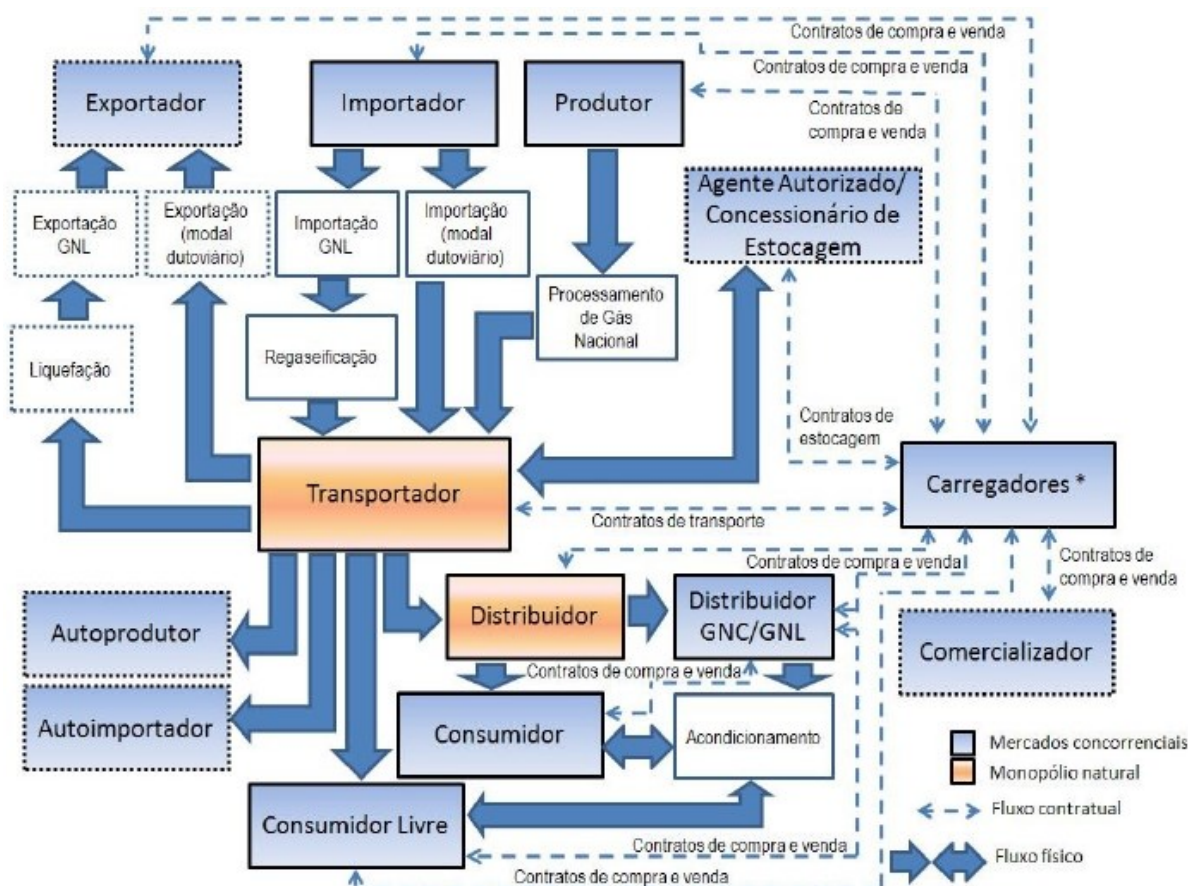
---

<sup>51</sup> Estabeleceu que a exploração dos serviços locais de gás canalizado seria de responsabilidade dos Estados da Federação, sendo que tal atividade poderia ocorrer por meio de empresa estatal. Assim, o texto contido na Emenda Constitucional nº 5/1995 foi modificado a fim de permitir a competição. Logo, os serviços locais de gás canalizado também poderiam ser explorados por empresas privadas, sob concessão (BRASIL, 1988; CAMPOS, 2016e).

<sup>52</sup> Este fato não representou o fim do monopólio da União uma vez que as seguintes atividades permaneceram como monopólio da entidade, podendo ser concedidas ou autorizadas a empresas pela ANP: (1) pesquisa e lavra das jazidas; (2) refino do petróleo nacional ou importado; (3) importação e exportação de petróleo e gás natural; (4) transporte de petróleo e seus derivados e gás natural (ANP, 2011).

O segundo marco, instituído pela Lei do Gás, ocorreu no Brasil após muita discussão relativa à necessidade de desenvolvimento da indústria de gás natural e o aproveitamento dos benefícios provenientes do mesmo. A partir da implementação desta Lei estabeleceu-se uma nova configuração legal e estrutural do setor, conforme observado na Figura 26.

Figura 26 - Nova configuração estrutural da indústria brasileira de gás natural



Fonte: ANP (2009, p.33).

Nota: \*O carregador pode ser: importador, exportador, produtor, distribuidor, consumidor livre ou comercializador.

Campos (2014) salienta que a Lei nº 11.909/2009 não modificou o segmento de E&P. Essa atividade foi alterada a partir das leis do pré-sal<sup>53</sup>. Assim, a nova configuração estrutural estabelecida na Figura 28 tinha como objetivo a ampliação da infraestrutura de transporte de gás natural no Brasil mediante novos investimentos oriundos da ampliação da concorrência setorial. Apesar de promover as mudanças

53 Lei nº 12.276/2010 (cessão onerosa) e Lei nº 12.304/2010 (criação da PPSA - Empresa Brasileira de Administração de Petróleo e Gás Natural).



necessárias para a expansão do setor gasífero, estas também geraram alguns conflitos regulatórios, tais como:

[...] a adequação entre o livre acesso aos dutos e a livre iniciativa entre os agentes (Lei nº 9.478/1997) com a concentração e verticalização na atividade de transporte (situação atual); a diferença entre o sistema de tarifação da atividade de transporte (não tem tarifa regulada) e a atividade de distribuição (serviço público explorado sob o regime de concessão); e a inserção da concorrência especialmente no caso dos grandes consumidores (setor industrial e setor energético) (CAMPOS, 2016e).

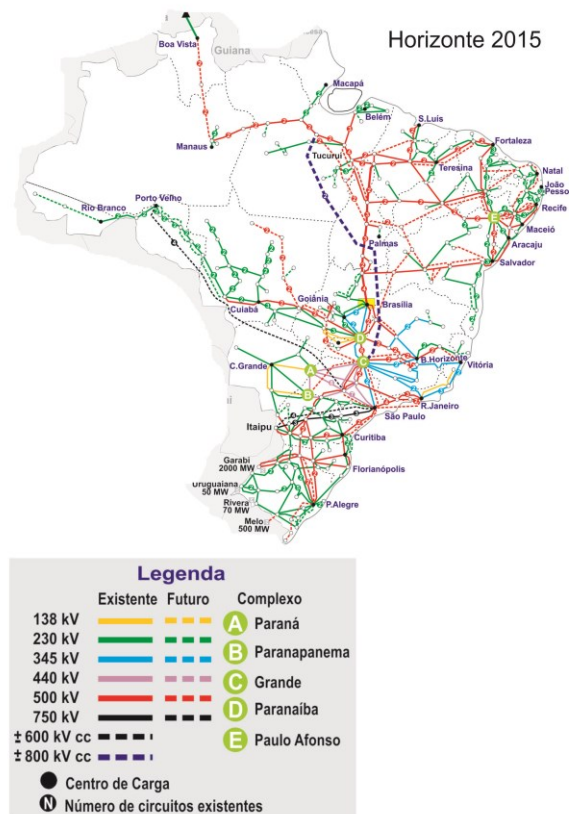
Em síntese, as principais mudanças promovidas pela Lei do Gás estão baseadas neste novo modelo de comercialização, cujo resumo se dá pela entrada de novos agentes no processo, sendo estes: os autoprodutores, os autoimportadores e os consumidores livres. O primeiro é considerado o agente explorador e produtor de gás natural que utiliza o total ou parte da sua produção como matéria-prima ou combustível nas suas próprias instalações industriais; o segundo é o agente autorizado a importar gás natural que utiliza parte ou a totalidade do produto importado como matéria-prima ou combustível em suas instalações industriais; o terceiro é o consumidor livre que, conforme lei estadual aplicada, possui a alternativa de aquisição do gás natural de qualquer agente, seja produtor, importador ou comercializador (BRASIL, 2009b).

Este último, na figura do consumidor livre, pode ainda estabelecer uma relação comercial diretamente com o produtor e/ou importador, no caso da compra de gás natural. E com a concessionária estadual, torna-se possível fazer tanto a reserva de capacidade quanto a de uso da rede de distribuição. Soma-se a isso, a possibilidade de construção e implantação da estrutura de dutos sem envolvimento a distribuidora estadual, permitindo assim que esses novos agentes ampliem o seu mercado de gás natural (CAMPOS, 2016c).

No entanto, cabe informar que apesar dessas importantes modificações advindas da Lei do Gás, Campos (2016e) pontua que, na prática, a expansão da malha atual ainda é bem inferior ao que se esperava e os investimentos muito superiores aos que já foram realizados. Ao se estabelecer uma comparação entre a infraestrutura física de energia elétrica com a de gás natural (Figura 27), é possível perceber tal discrepância. Enquanto o setor elétrico possui cerca de 116.00 km de redes de transmissão (EPE; MME, 2014), o setor de gás natural possui uma malha de gasodutos de transporte de 9.244 km (EPE, 2014).

Figura 27 - Comparação da estrutura física de energia elétrica com a de gás no Brasil

### Sistema de transmissão de energia elétrica



### Gasodutos de transporte

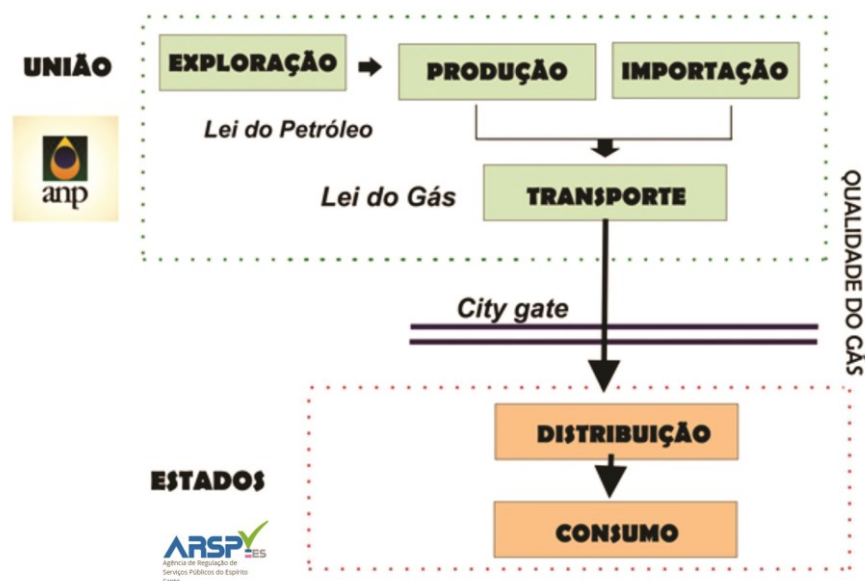


Fonte: Elaboração própria a partir de ONS (2015); EPE (2016).

Esta diferença de expansão física no setor de gás natural com o setor de energia elétrica, conforme apresentada na Figura 27, deu-se especialmente por insegurança regulatória e ausência de adequada resolução de temas polêmicos do setor, tais como: (1) classificação de gasodutos (gasoduto de transferência, gasoduto de transporte, gasoduto de escoamento de produção e gasoduto de distribuição - atentando-se para o fato de que a distribuição não é tratada em esfera federal e sim em estadual); (2) definições de consumidor livre, uma vez que cada estado da Federação por meio de sua própria legislação é que define parâmetros para decidir quais agentes são considerados consumidores livres; (3) acesso aos gasodutos por terceiros; (4) período de exclusividade; (5) expansão da malha e PEMAT (Plano Decenal de Expansão da Malha de Transporte Dutoviária); dentre outros fatores (CAMPOS, 2016e).

Cabe enfatizar aqui o primeiro ponto, relativo aos gasodutos de distribuição e o fato da indústria de gás natural estar inserida em duas esferas administrativas. Nos segmentos de pesquisa, exploração, produção, importação e transporte, a competência regulatória é de domínio federal. No segmento de distribuição, a esfera de competência regulatória é a estadual, conforme apresentado na Figura 28.

Figura 28 - Competências regulatórias do setor de gás natural



Fonte: Elaboração própria a partir de ANP (2002).

Assim dividida, a indústria de gás natural apresenta dupla regulação e por isso costuma apresentar algumas dificuldades entre as esferas mencionadas, principalmente relativas à articulação entre as fronteiras de competência. Quanto a esse aspecto, cabe mencionar o posicionamento da ANP:

O poder concedente e as missões de regulação no seguimento de distribuição de gás natural são de competência dos Estados da Federação, os quais começam a criar suas agências reguladoras. A atuação da ANP deverá, portanto, ser coordenada com a ação das agências estaduais, reconhecendo, no entanto, os limites de sua atuação (ANP, 2001, p.85).

Quanto a isso, uma situação problemática presente no setor está relacionada aos tipos de gasodutos e seus usos e classificações, pois no caso de gasodutos de distribuição, por exemplo, a regulação é estadual. Assim, não é rara a ocorrência de

litígios<sup>54</sup> entre agentes da indústria do gás natural referentes à classificação e reclassificação de gasodutos de transporte, ou gasodutos de transferência e distribuição, e à competência regulatória para definir se um determinado gasoduto encaixa-se nesta ou naquela classificação.

Em alguns Estados como Rio de Janeiro (CEG Rio), São Paulo (COMGÁS, Gás Natural Fenosa e GBD) e Mato Grosso (MTGÁS) as concessionárias possuem contratos diferentes<sup>55</sup>, cada qual com sua especificação, que podem tanto limitar quanto promover o uso do gás nos canais de distribuição. Os demais Estados, embora utilizem um modelo de contrato padrão, também possuem diferenças importantes uma vez que cada reguladora possui autonomia para designar, por exemplo, conceitos do que considera consumidor livre. A Tabela 16 apresenta um exemplo das diferenças conceituais entre algumas agências Estaduais com relação ao consumidor livre, selecionadas devido ao volume de consumo.

Tabela 16 - Conceito de consumidor livre em determinadas agências Estaduais

(Continua)

REGULADORA	ESTADO	REFERÊNCIA LEGAL	DEFINIÇÃO DE CONSUMIDOR LIVRE
ARSP <sup>(1)</sup>	ES	RESOLUÇÃO ASPE Nº. 004/2011	Capítulo II, artigo 2. Para os efeitos desta Resolução são adotadas as seguintes definições, considerando o Contrato de Concessão em vigor: [...] XVII. Consumidor de Gás Natural, com volume de <b>consumo igual ou superior a 35.000 m<sup>3</sup>/dia</b> em um único Ponto de Entrega, que exerceu a opção de adquirir o Gás Natural de qualquer agente produtor, importador ou comercializador;
AGENERSA <sup>(2)</sup>	RJ	DELIBERAÇÃO AGENERSA Nº 257/2008	1 - DEFINIÇÕES E INTERPRETAÇÃO DE TERMOS. CONSUMIDOR LIVRE: Consumidor que contrata junto à CEG RIO uma <b>capacidade diária contratada superior a 100.000 m<sup>3</sup>/dia</b> , nas condições de referência, para um único PONTO DE ENTREGA, situado junto à instalação receptora do CONSUMIDOR LIVRE [...]

<sup>54</sup> Exemplos de litígio: (I) reclassificação do Gasoduto Atalaia-Fábrica de Fertilizantes Nitrogenados (Fafen); (II) reclassificação do Gasoduto Aratu-Camaçari; (III) reclamação perante o Supremo Tribunal Federal, proposta pelo Estado de São Paulo, em face da União Federal, pelo reconhecimento da competência estadual para dispor sobre o fornecimento de gás a plantas de liquefação; e (IV) dívida perdoada pelo governo de MT, mediante Decreto nº 1007/2012 (CAMPOS, 2016c).

<sup>55</sup> Os contratos de concessão têm diferenças importantes, em especial no que se refere aos seguintes aspectos: prazos de concessão e prorrogação; possibilidade de *by-pass* comercial (consumidores livres); separação contábil, jurídica e societária das atividades de distribuição e comercialização; investimentos; taxas de retorno; metas de qualidade dos serviços prestados; metodologia de cálculo tarifário; revisão tarifária; e penalidades (CAMPOS, 2016c).

Tabela 16 - Conceito de consumidor livre em determinadas agências Estaduais

(Conclusão)

REGULADORA	ESTADO	REFERÊNCIA LEGAL	DEFINIÇÃO DE CONSUMIDOR LIVRE
SEDE <sup>(3)</sup>	MG	RESOLUÇÃO SEDE Nº 17/2013	Art. 3º Ficam estabelecidas as seguintes condições, na área de concessão, para um consumidor potencialmente livre tornar-se consumidor livre, como segue: [...] § 1º O consumidor livre deverá ter <b>consumo diário médio, computada em período de doze meses, igual ou superior a 10.000m<sup>3</sup></b> , para permanecer na condição de consumidor livre.
AGEPAN <sup>(4)</sup>	MS	PORTARIA AGEPAN Nº 103/2013	CAPÍTULO V, artigo 11. O Usuário novo, que ainda não for cliente da Concessionária, deverá firmar compromisso junto a Concessionária, demonstrando potencial de consumo de Gás Natural superior a 150.000 m <sup>3</sup> /dia, para o Usuário do segmento industrial, superior a 500.000 m <sup>3</sup> /dia para Usuário do segmento termoeletrico, e <b>superior a 1.000.000 m<sup>3</sup>/dia para Usuário de Gás Natural para matéria-prima ou petroquímico para ser enquadrado como Consumidor Livre.</b>

Fonte: Elaboração própria a partir de ESPÍRITO SANTO (2011); RIO DE JANEIRO (2008); MINAS GERAIS (2013).

Notas: (1) ARSP: Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo; (2) AGENERSA: Agência Reguladora de Energia e Saneamento Básico do Rio de Janeiro; (3) SEDE: Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico; (4) AGEPAN: Agência Estadual de Regulação de Serviços Públicos de Mato Grosso do Sul.

Nesse contexto, também é conflituoso o fato de algumas agências estaduais não serem independentes e, em alguns casos, nem estarem configuradas como agências reguladoras estaduais e sim como secretarias de governo, ou seja, neste formato não possuem independência regulatória e por isso estão mais sujeitas à influência política. Ou quando existem agências, observa-se que algumas não possuem foco no segmento específico, tal como a ARSP, criada como resultado da fusão da Agência Reguladora de Saneamento Básico e Infraestrutura Viária do Espírito Santo (Arsi) e da Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo (Aspe). Dessa forma, observa-se o acúmulo de funções diferentes (saneamento, infraestrutura viária, gás natural e energia elétrica), cada qual com sua complexidade, sujeita à maior dificuldade de administração, articulação e enfoque dos objetivos da instituição, além de também estar mais vulnerável à captura. Tal situação é comumente observada na prática em todo o Brasil e também afeta o segmento de distribuição de gás, gerando insegurança para investimentos no setor. Embora esses temas estejam inseridos em resoluções e portarias recentes da ANP, o desenvolvimento do setor ainda está aquém do esperado. E paralelo a isso, o

consumo de gás natural no Brasil está num patamar acima da produção. Tal fato resultou num aumento substancial da importação de gás natural no Brasil, principalmente oriundo da Bolívia. Pode-se mencionar também a importação e exportação de GNL (Gás Natural Liquefeito) pelo país, a fim de ampliar a flexibilidade e reduzir a vulnerabilidade do gás natural canalizado oriundo de gasodutos da Bolívia e Argentina (CAMPOS, 2016e). Neste cenário, nota-se a importância do gás natural não convencional para suprir esta demanda, com destaque para o biometano.

### **5.7.2. Regulação do biogás e biometano no Brasil**

Em janeiro de 2015, a ANP promulgou a Resolução ANP n° 8/2015, a qual estabelece especificações para o biometano de origem nacional, conforme Regulamento Técnico n° 1/2015 anexado ao mesmo documento, também aprovado como parte integrante desta Resolução. Com base nesta, em seu artigo 3º, II, o biometano foi definido como biocombustível gasoso, constituído basicamente de metano, derivado da purificação do Biogás (BRASIL, 2015). Dentre as disposições contidas nesta Resolução, destacam-se as seguintes:

- Determinação de regras de uso e de controle de qualidade do biometano;
- Proibição da comercialização do biometano que não atenda às especificações providas no Regulamento Técnico.
- Permissão para que o biometano seja misturado ao gás natural, desde que atenda às especificações contidas no referido Regulamento Técnico.
- Exigência quanto ao teor mínimo de gás metano contido no biometano, de 96,5 % mol para todas as regiões nacionais, exceto para a região Norte (Urucu)<sup>56</sup>.

Esta Resolução exigiu os mesmos cuidados dispensados ao gás natural, atendendo os mesmos requisitos na compressão, distribuição e revenda. Assim, com garantias de qualidades equivalentes às do gás natural, este combustível pode ser

---

<sup>56</sup> 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 (BRASIL, 2015).

comercializado. Isto significa dizer que é possível injetar o biometano nas redes de gás ou ofertá-lo em postos de abastecimento como GNV.

Com relação à injeção na rede de gás, ao contrário da rede elétrica que é bem desenvolvida no país, as redes de transporte de gás natural no Brasil concentram-se mais nas regiões costeiras e grandes centros urbanos, conforme já apresentado na Figura 26. Essa dificuldade de acesso limitou a entrada de gás natural nas regiões interioranas, possível somente por meio de transporte rodoviário altamente custoso de GNC (gás natural comprimido) ou GLP (gás liquefeito de petróleo).

A realidade observada na Figura 26 limita o uso desta fonte de combustível no Brasil, pois a distribuição dos gasodutos não é acessível para grande parte do território nacional, principalmente no interior do país. Por outro lado, segundo a Probiogás (2016), esse combustível também pode ser gerado de forma descentralizada, obtendo melhores usos<sup>57</sup>. Diante deste cenário, o biometano apresenta-se como “excelente oportunidade de interiorização do gás natural para estados onde a pecuária, a suinocultura e a avicultura estejam bem desenvolvidas, caso dos Estados da Região Sul” (ANP, 2013, p.3), embora o biogás destas atividades não represente o objeto de estudo desta pesquisa.

Enquanto ainda se observa a dificuldade de acesso às redes de gás natural no Brasil, pode-se aproveitar o biometano para outros fins como secagem e moagem de grãos, aquecimento de granjas e outros animais, abastecimento de veículos leves e pesados da produção, como também em operações produtivas que não necessariamente precisariam envolver a rede de gasodutos ou energia elétrica gerada nas grandes centrais, por meio das linhas convencionais. Pelo contrário, essas operações podem valer-se de energias e combustíveis gerados no local, com os próprios resíduos orgânicos resultantes dessas atividades.

Relativo à questão regulatória, embora tenha representado um importante passo para o setor, a Resolução nº 8/2015, logo em seu artigo 1º, parágrafo único, restringiu o uso de biometano oriundo de RSU, liberando apenas os resíduos

---

<sup>57</sup> Segundo Gtai (2012), a Suécia também possuía uma baixa cobertura de gasodutos, mas conseguiu produzir uma elevada quantidade de biometano de forma descentralizada, gerando 1.473 GWh no ano de 2011, da qual metade (50%) foi utilizado como combustível veicular, disponibilizado em 155 postos de abastecimento.

orgânicos agrossilvopastoris. Por meio da Resolução nº 21/2016, permite-se somente a utilização do biometano de RSU em caráter experimental.

Isso significa que o biometano de RSU é um combustível que ainda não possui especificação pela ANP. Obviamente isso favoreceu mais a aplicação do biometano oriundo de produtos e resíduos de atividades agrícolas, como mencionado. Logicamente esse fato promoveu os setores do agronegócio e sucoenergético brasileiros, assim como os demais negócios associados às suas cadeias de produção, deixando limitada a aplicação da fração orgânica de RSU para este fim, restrita à utilização de resíduos orgânicos agrossilvopastoris como matéria-prima.

De acordo com a Nota Técnica ANP nº 157/2014, definiu-se desta forma porque o biometano originado em aterros sanitários e esgotos são fontes que admitem compostos voláteis denominados de siloxanos em sua composição. Conforme explicado no capítulo 4, siloxanos são contaminantes que podem causar encrustações nas tubulações ou outros prejuízos, como por exemplo, causar problemas de saúde pública. Esta Nota Técnica também reforça a inexistência de consenso sobre o teor máximo admissível para tais contaminantes no biometano.

No entanto, em maio de 2016, considerando a necessidade de estabelecer regras para os agentes envolvidos no uso de combustível experimental e suas misturas, o órgão regulador federal promulga a Resolução ANP nº 21/2016, sujeitando à autorização prévia, em seu artigo 1º, o uso de combustíveis experimentais em todo o território nacional.

Embasado na Resolução ANP nº 21/2016, em seu artigo 4º, o biometano oriundo de RSU pode ser utilizado na condição de comprovar viabilidade técnica e ambiental do projeto, além de monitorar os gases nocivos, devendo ser aprovado por órgão ambiental competente. Na sequência desta Resolução, no artigo 5º, dispensa-se a autorização para o uso de biometano de RSU e de estação de tratamento de esgoto em equipamentos industriais. Assim dispõe:

Art. 4º A autorização de que trata o artigo 1º desta Resolução para o biometano oriundo de resíduos sólidos urbanos, fica condicionada à comprovação de sua viabilidade técnica e ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos aprovado pelo órgão ambiental, nos termos do art. 9º da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2016).



Art. 5º Fica dispensada a autorização de que trata o art. 1º para utilização de biometano oriundo de resíduos sólidos urbanos e de estação de tratamento de esgoto em Equipamentos de Uso Industrial, sem prejuízo do disposto nos artigos 3º e 4º desta Resolução (BRASIL, 2016).

Embora ainda não esteja liberado para injeção na rede de gás, o artigo 5º esclarece que o biometano de RSU não necessitará de autorização da ANP nos casos de utilização em equipamento de uso industrial<sup>58</sup>, o que abre mais um leque para o seu aproveitamento em face da restrição relativa aos RSU.

A Nota Técnica ANP nº 157/2014 esclarece que no caso de uso em equipamentos industriais, como em geração de energia elétrica, térmica, etc., não há necessidade de “uso experimental” e “específico” porque as partes envolvidas são capazes de avaliar os riscos inerentes ao processo, portanto, não havendo assimetria de informação que justifique a intervenção regulatória. Até mesmo por já haver instalações operando sem que as partes envolvidas tenham solicitado a ação da ANP e sem prejuízo para os consumidores finais, que são objetos da ação da ANP. Assim, foi proposto o uso experimental e específico para o uso veicular e residencial, “por se tratar de uma aplicação mais sensível aos diferentes contaminantes presentes no biometano obtido dessas fontes e para proteger o consumidor final” (ANP, 2014, p. 9).

Em resumo, apesar de ainda estar restrito ao uso experimental, cabe ressaltar que havendo esclarecimento das possibilidades técnicas de remoção dos contaminantes mencionados no biometano de RSU, além da constatação de parâmetros utilizados nas unidades que mensuram essas características no exterior, é possível que a ANP aprimore a regulação para este produto (ANP, 2014, p. 9).

Enquanto isso, o uso do biometano agrosilvopastoril pode ser incentivado até o ponto em que esta prática já não seja mais tão incipiente no Brasil e, uma vez liberado o uso por meio da fonte de RSU, seja possível comercializar este produto em grande escala. Soma-se a isso, a obtenção de ganhos de eficiência nos setores associados.

---

<sup>58</sup> De acordo com o artigo 11º da Resolução ANP nº 8/2015 e artigo 1º Resolução ANP nº 21/2016, fica sujeita à autorização apenas se o consumo mensal for superior a 10.000 litros para combustíveis líquidos e 10.000 Nm<sup>3</sup> (a 20°C e 1 atm) para combustíveis gasosos.

Nesse sentido, cabe reforçar que o biometano pode obter ganhos de escala se unido ao gás natural. No caso do Espírito Santo, por exemplo, para incentivar esse tipo de uso no Estado o Decreto Nº 3453-R/2013 permite a Distribuidora a comprar o biometano para ser misturado ao gás natural canalizado. Este assunto será tratado de forma mais aprofundada no item a seguir, uma vez que representa o objeto de estudo desta pesquisa.

### 5.7.3. Regulação do biogás e biometano no Espírito Santo

O Estado do Espírito Santo, por meio do Decreto nº3453-R/2013, dispõe sobre a política de incentivo às energias renováveis tais como a eólica, solar e biomassa. Assim, a legislação estabelece que a concessionária de distribuição de gás natural canalizado deverá estabelecer mecanismos e ações de forma a viabilizar a aquisição de biometano produzido no Estado mediante regulamentação da agência reguladora estadual, assim como também manter o equilíbrio econômico e financeiro do contrato de concessão, com a obrigação de a entrega do gás pelos produtores estar em conformidade com as exigências técnicas da concessionária (Artigo 3º).

Logo no início do Decreto nº3453-R/2013, nota-se que o biogás e biometano são considerados como elementos de desenvolvimento regional e indutores de ações sustentáveis:

[...]

Considerando que **a produção e consumo de biogás produzido através de biomassa é uma opção energética sustentável**, renovável e de baixa emissão de carbono;

Considerando que **a produção de biogás a partir da biomassa efetiva um novo vetor de desenvolvimento regional**;

Considerando que **o aproveitamento de resíduos orgânicos** e esgotos domésticos, agrícolas, **aterros sanitários** e efluentes industriais diversos podem ser fontes de geração de energia, **como o biometano** (gás oriundo de biodigestão anaeróbica de resíduos orgânicos, tornado utilizável para queima por meio de processo de purificação), e seu uso diminui os impactos sobre as mudanças climáticas;

[...]

(ESPÍRITO SANTO, 2013, p.1, grifo nosso)

No primeiro artigo do Decreto nº3453-R/2013 os gases de aterros sanitários, determinados como biometano, são considerados dentre as fontes renováveis de energia que devem ser incentivadas no Estado:

Art. 1º. Fica criada 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 no Estado do Espírito Santo (ESPÍRITO SANTO, 2013, p.2, grifo nosso).

Na sequência desta legislação, no parágrafo primeiro, o biogás e o biometano também são mencionados na fundamentação. Está evidente que o Estado do Espírito Santo permite a inserção do biometano na rede local de distribuição de gás canalizado:

Art. 1º [...]

§ 1º A Política Estadual de Energias Renováveis apóia-se nos seguintes fundamentos:

I - incentivar e ampliar da participação do biocombustível **biogás**, e de outras energias renováveis na matriz energética estadual;

II - dispor de forma adequada os resíduos orgânicos, bem como formas de seu uso como energético por meio do **aproveitamento econômico do biometano produzido em aterros sanitários**;

[...]

IV - **promover a inserção de biometano ao gás natural canalizado** utilizado na prestação do serviço público de distribuição deste energético no Estado do Espírito Santo (ESPÍRITO SANTO, 2013, p.2, grifo nosso).

Em seguida, no parágrafo segundo, classifica o gás proveniente da biomassa como biometano apenas se atender às exigências da ANP:

§ 2º O gás proveniente de biomassa será denominado Biometano para os efeitos deste instrumento legal, quando sua composição atender às regulamentações da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP, e outras que se fizerem necessárias (ESPÍRITO SANTO, 2013, p.3).

No parágrafo terceiro permite a mistura do biometano ao gás natural:

§ 3º O gás Biometano poderá ser misturado com o gás natural utilizado na concessão para prestação do serviço público de distribuição deste energético no Estado do Espírito Santo, atendidas as disposições do § 2º deste artigo, e regulamentações estabelecidas pela ASPE (ESPÍRITO SANTO, 2013, p.3).

O artigo segundo do decreto possui grande relevância, pois evidencia que o biogás gerado em aterros sanitários possui prioridade no Estado:

**Art. 2º A Política Estadual de Energias Renováveis tem como um de seus objetivos prioritários fomentar a utilização do biogás gerado em aterros sanitários,** de resíduos oriundos da agropecuária e de outras fontes que tecnicamente venham a ser possíveis, como as resultantes de produção agrícola e efluentes de esgoto, inclusive os industriais (ESPÍRITO SANTO, 2013, p.3, grifo nosso).

No artigo quarto, menciona que o biometano deve ter equivalência físico-química ao gás natural e reforça a exigência de obedecer a regulamentação vigente da ANP:

**Art. 4º O biometano a que se refere o art. 3º desta Lei, deverá ter equivalência físico-química ao gás natural,** e a mistura de ambos na rede, para fins de atender as características técnicas de intercambiabilidade com o gás natural distribuído pela concessionária de distribuição de gás canalizado do Estado do Espírito Santo, **deve obedecer a regulamentação vigente da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP,** e ter seu suprimento realizado através de pontos de entrega e medição, nas condições indicadas pela Concessionária (ESPÍRITO SANTO, 2013, p.3, grifo nosso).

Por fim, no artigo sexto do decreto, refere-se aos contratos de aquisição e preço do gás:

Art. 6º Os contratos de aquisição do Biometano serão previamente aprovados pela ASPE, permitindo que o custo de aquisição seja repassado ao preço de aquisição de gás natural canalizado (ESPÍRITO SANTO, 2013, p.3).

De uma forma geral, nota-se que este decreto possui um enfoque mais abrangente quanto ao planejamento energético capixaba. Em síntese, as fontes renováveis de energia precisam buscar uma integração a fim de alcançar complementação e promover a viabilização de usinas de energia na região.

## 6 METODOLOGIA

### 6.1 APRESENTAÇÃO GERAL

O setor de resíduos sólidos urbanos e o setor de energia, são áreas complexas no que tange aos seus aspectos socioeconômicos, técnicos e regulatórios, e, por conseguinte, envolvem uma ampla variedade de assuntos passíveis de serem estudados por diferentes abordagens metodológicas. Dentre as áreas mencionadas, buscou-se foco nos aspectos técnicos e regulatórios desta questão, uma vez que são determinantes de qualquer ação direcionada ao aproveitamento de resíduos para geração de energia. Cabe esclarecer que, embora a dimensão socioeconômica seja importante, esta foi considerada uma limitação desta pesquisa a ser complementada em futuros estudos.

É necessário fazer uma importante ressalva relativa ao objeto de estudo, dada a flexibilidade de obtenção do biogás apresentada em revisão bibliográfica. Cabe esclarecer que o biogás, resultante de processos de degradação de matéria orgânica em ambientes anaeróbios, pode ser obtido em processos de digestão anaeróbia (D.A.) que ocorrem tanto em biodigestores como em aterros sanitários. Logo, o presente estudo é restrito à geração de biogás a partir de aterros sanitários, que embora apresente similaridade com os processos ocorridos em biodigestores, possui diferenças importantes como a presença de contaminantes junto aos RSU, conforme verificado na revisão de literatura. Assim, a Figura 29 apresenta o recorte metodológico do objeto de estudo.

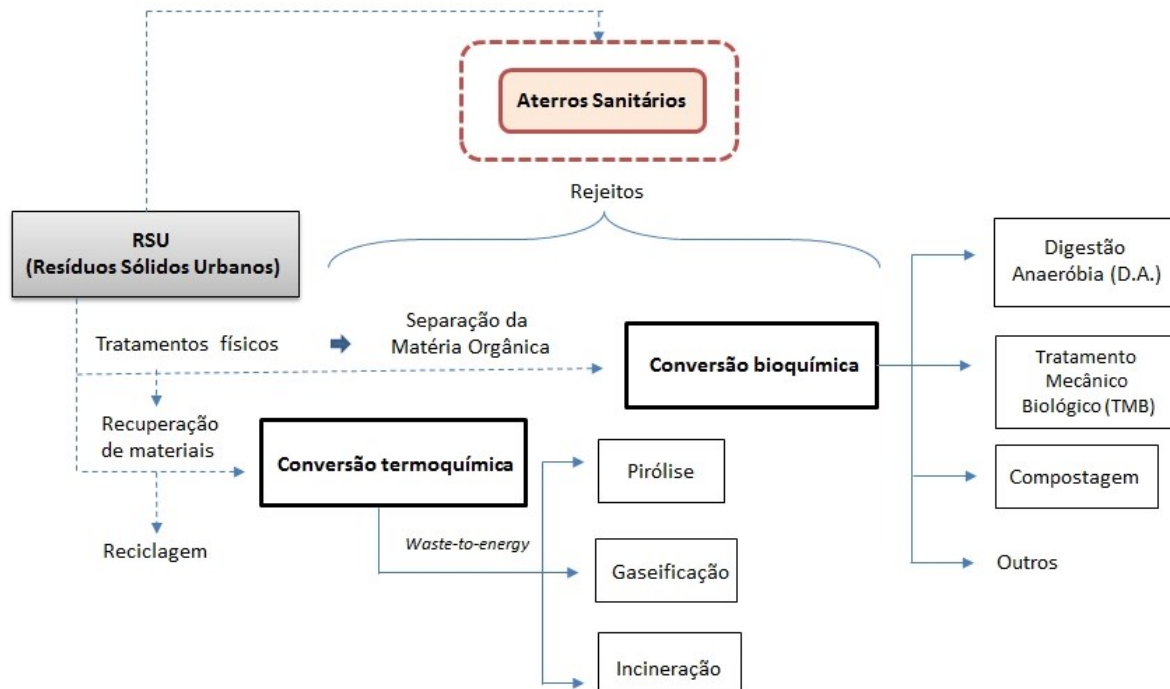
A partir da delimitação do objeto de estudo, esta pesquisa seguiu a metodologia sequencial de uma pesquisa convergente de métodos mistos que consistiu em duas fases distintas: quantitativa e qualitativa, conforme sugerido por Creswell e Clark (2013).

Para a fase técnica, o trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental (Lagesa) da UFES, contando com sua equipe de engenheiros e graduandos em engenharia ambiental. Destaca-se que para o desenvolvimento do projeto de pesquisa em questão, foram formados dois alunos de

graduação com seus Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC) no tema “previsão de geração de biogás proveniente de aterros sanitários no Espírito Santo”. Para esse projeto, foi aplicado o modelo LandGEM que será apropriadamente descrito a seguir.

Para a fase regulatória, foram empregadas pesquisa documental (leitura e análise de Leis, Portarias, Normas, Resoluções e Decretos da ANEEL, ANP, EPE, ARSP e outras), pesquisa bibliográfica (livros, artigos, teses, dissertações), bem como a aplicação de entrevistas com representantes do setor energético em âmbito nacional e Estadual. Também foram aplicados questionários utilizando a ferramenta *online* “GOOGLE FORMS” aos representantes das usinas termelétricas (UTES) de RSU em operação no Brasil. A estratégia metodológica para essa fase da pesquisa será detalhada a seguir. Todo o aparato regulatório analisado serviu como base para indicar viabilidade regulatória para inserção do biogás de RSU no mercado energético regional do Espírito Santo.

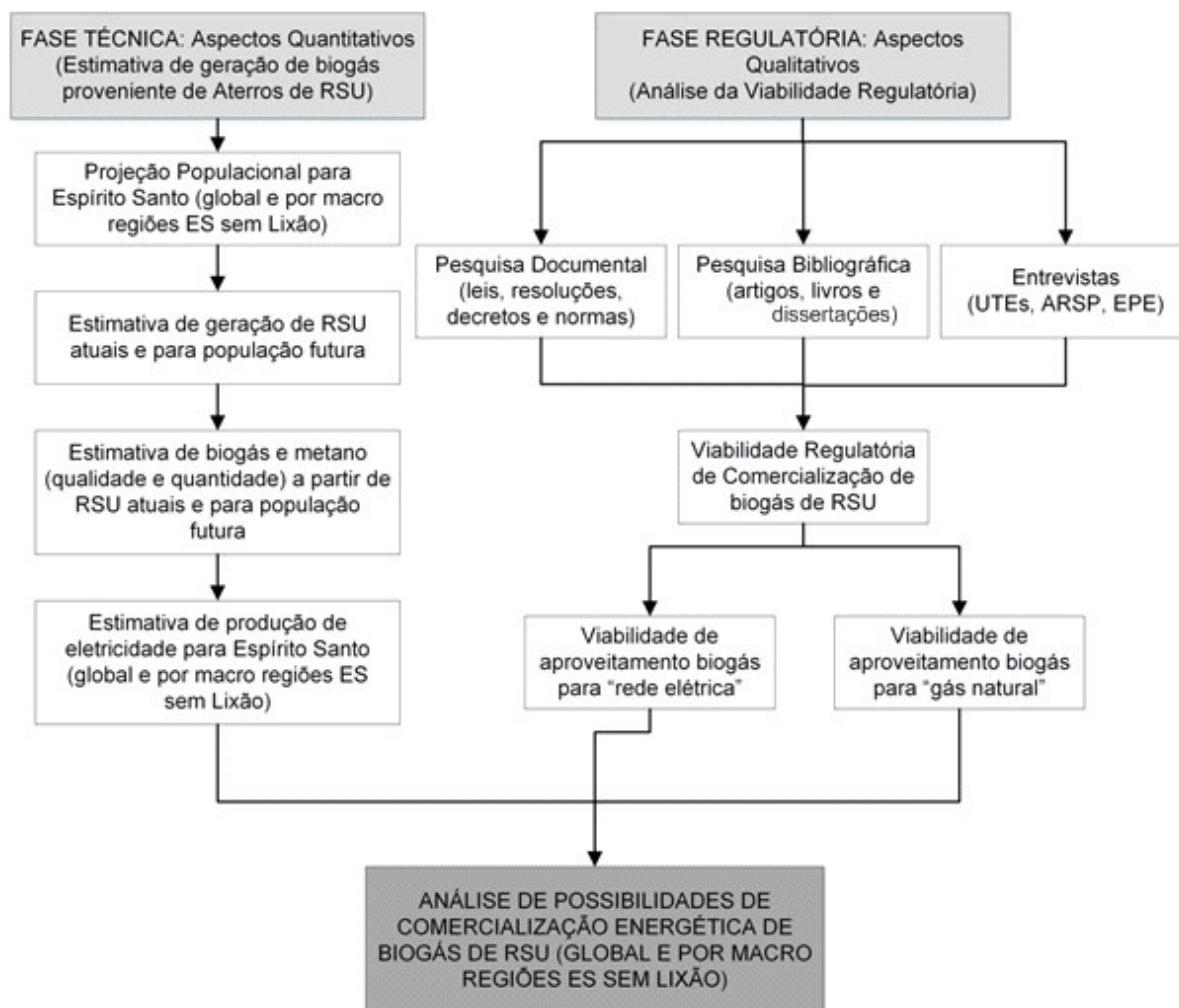
Figura 29 - Recorte metodológico do objeto de estudo



Fonte: Elaboração própria.

Na Figura 30 podem ser verificadas as fases propostas para o estudo, bem como as suas principais atividades.

Figura 30 – Fluxograma esquemático das fases e atividades propostas para a dissertação



Fonte: Elaboração própria.

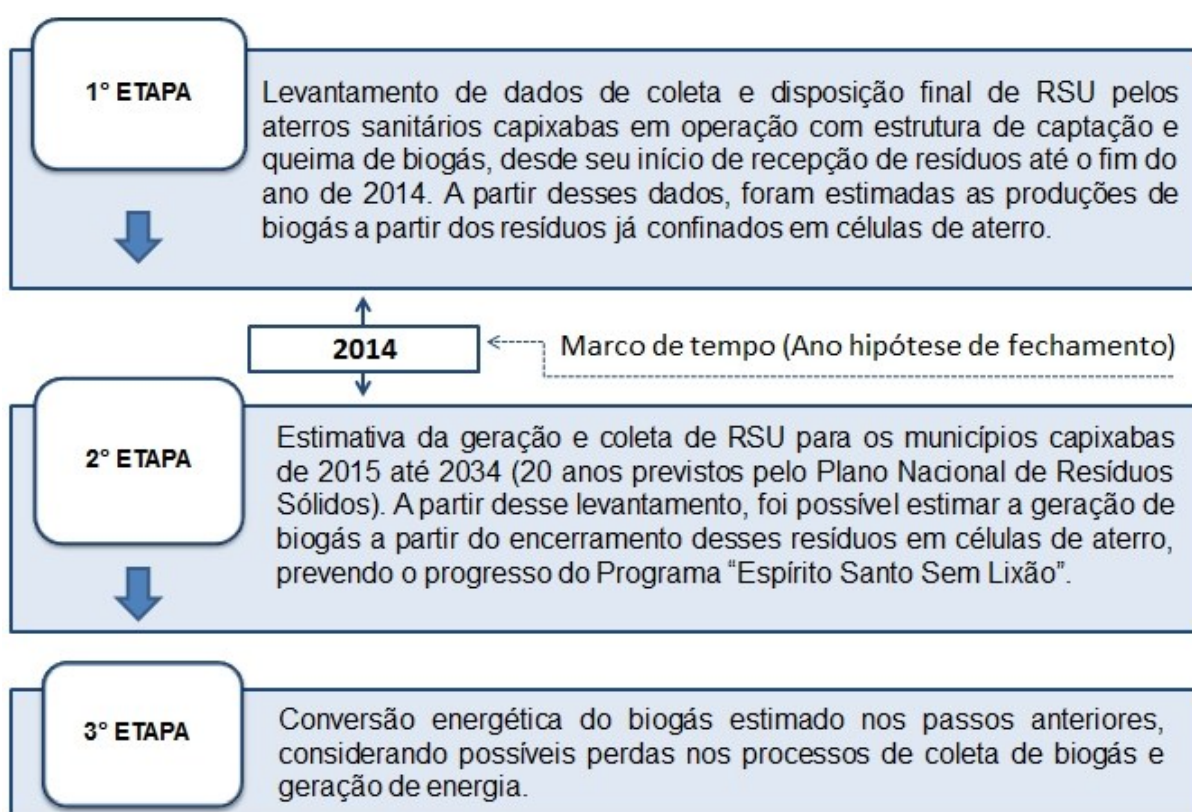
NOTAS: RSU (Resíduos Sólidos Urbanos); UTEs (Usinas Termelétricas); ARSP (Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo); EPE (Empresa de Pesquisa Energética).

## 6.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DA FASE TÉCNICA

A metodologia empregada na parte técnica deste trabalho tratou especificamente da estimativa do potencial energético procedente do biogás gerado a partir da destinação final ambientalmente adequada dos RSU dispostos em aterros sanitários no Espírito Santo. Para atingir este objetivo, fez-se necessária a divisão desta fase

em três etapas sequentes, conforme apresentado na Figura 31. Inicialmente, considerou-se apenas os principais aterros sanitários capixabas em operação com estrutura de captação e queima de biogás até o ano de 2014, sendo eles: Brasil Ambiental (Aracruz/ES), Central de Tratamento de Resíduos de Vila Velha (CTRVV - Vila Velha/ES) e Marca Ambiental (Cariacica/ES). Para as etapas seguintes, a expectativa de geração de biogás/energia considerou o cenário em que os municípios, em totalidade, fossem atendidos por mais aterros sanitários licenciados no âmbito do programa capixaba de erradicação dos lixões denominado *Espirito Santo Sem Lixão*. Em síntese, o presente trabalho realizou a estimativa de geração de biogás e energia elétrica a partir de três etapas principais, descritas sucintamente a seguir.

Figura 31 - Descrição das etapas iniciais da parte técnica



Fonte: Elaboração Própria.

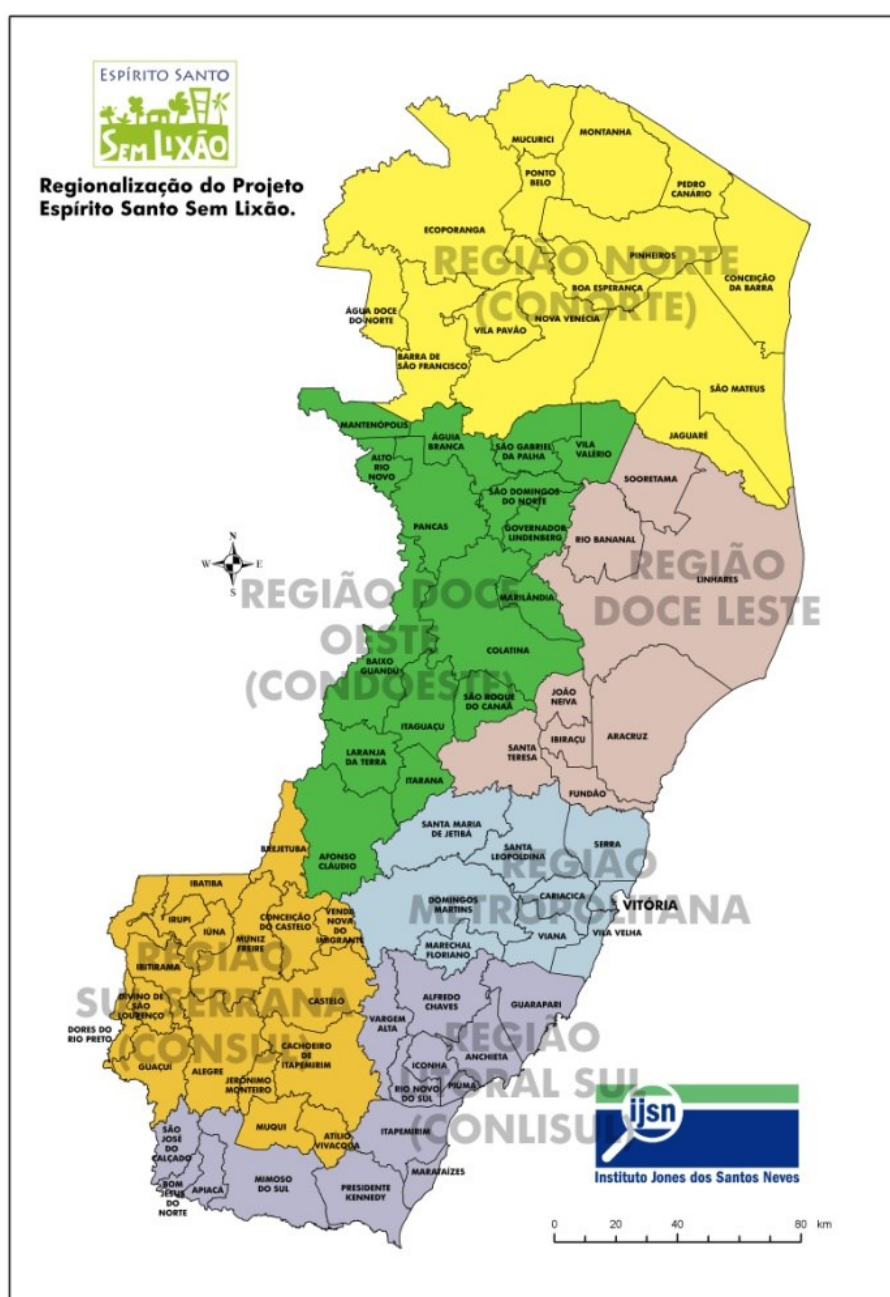
É necessário informar que o ano de 2014 foi indicado como marco temporal entre a primeira e segunda etapa. Ressalta-se que até esse momento considerou-se somente os aterros sanitários existentes com estrutura de coleta e queima de biogás no Estado, conforme mencionado. Tal fato justifica a inserção de apenas três



aterros utilizados neste período (Marca Ambiental, CTRVV e Brasil Ambiental), com exclusão do aterro de Cachoeiro de Itapemirim porque foi aberto somente em maio de 2013 e, portanto, ainda com geração de biogás supostamente inexpressiva neste período.

Os municípios capixabas agrupados segundo a sugestão do programa *Espírito Santo Sem Lixão*, atualmente já concluído, estão delimitados em seis regiões específicas, conforme ilustrado na Figura 32.

Figura 32 - Distribuição Municipal do programa Espírito Santo sem Lixão



Fonte: IEMA (acesso em 20 mai. de 2016).

O Quadro 16 indica os municípios que compõem cada região do programa mencionado.

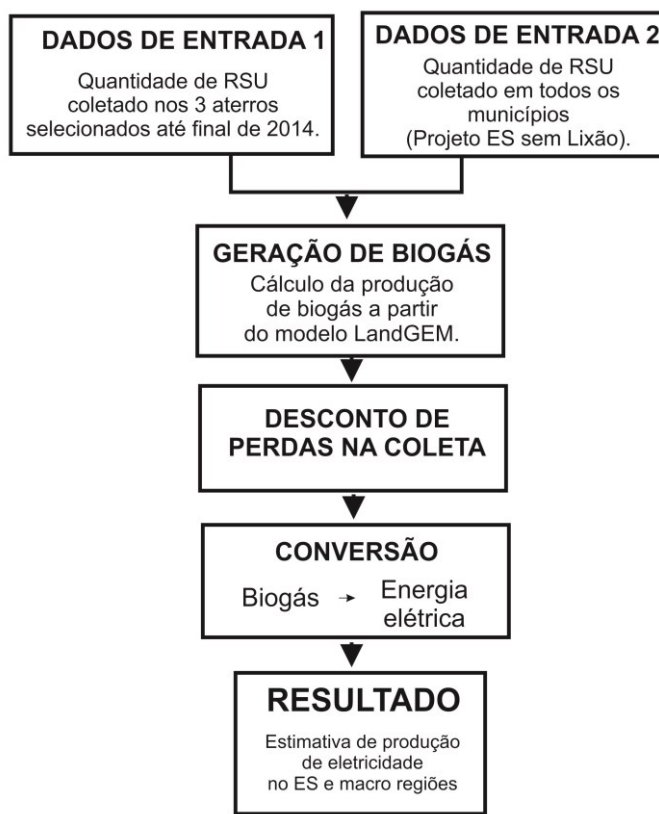
Quadro 16 - Municípios integrantes da divisão regional do Programa ES sem Lixão

REGIÕES		MUNICÍPIOS
1	REGIÃO NORTE (Conorte)	Ecoporanga, Mucurici, Montanha, Ponto Belo, Pedro Canário, Pinheiros, Água Doce do Norte, Boa Esperança, Conceição da Barra, Vila Pavão, Barra de São Francisco, Nova Venécia, São Mateus e Jaguaré.
2	REGIÃO DOCE OESTE (Condoeste)	Mantenópolis, Águia Branca, São Gabriel da Palha, Vila Valério, Alto Rio Novo, Pancas, São Domingos do Norte, Governador Lindenberg, Colatina, Marilândia, Baixo Guandu, Itaguaçu, São Roque do Canaã, Laranja da Terra, Itarana e Afonso Cláudio.
3	REGIÃO DOCE LESTE	Aracruz, Fundão, Ibiracu, João Neiva, Linhares, Rio Bananal, Santa Teresa e Sooretama.
4	REGIÃO METROPOLITANA	Cariacica, Domingos Martins, Marechal Floriano, Santa Leopoldina, Santa Maria De Jetibá, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória.
5	REGIÃO LITORAL SUL (Conlisul)	Vargem Alta, Alfredo Chaves, Guarapari, Anchieta, Iconha, Rio Novo do Sul, Piúma, Itapemirim, Marataízes, Presidente Kennedy, Mimoso do Sul, Muqui, São José do Calçado, Bom Jesus do Norte e Apiacá.
6	REGIÃO SUL SERRANA (Consul)	Brejetuba, Ibatiba, Irupi, Iúna, Conceição do Castelo, Venda Nova do Imigrante, Muniz Freire, Ibitirama, Divino de São Lourenço, Castelo, Dolores do Rio Preto, Guaçuí, Alegre, Jerônimo Monteiro, Cachoeiro de Itapemirim e Atílio Vivácqua.

Fonte: Elaborado a partir de IEMA (acesso em 20 mai. de 2016).

A partir da divisão regional apresentada tanto na Figura 32 como no Quadro 15, foi possível avaliar o potencial energético na totalidade dos municípios capixabas. Por outro lado, a Figura 33 apresenta o fluxograma que reúne os dados de entrada do modelo matemático, denominados Dados de Entrada 1 e 2, gerados respectivamente pelas Etapas 1 e 2, utilizados para a geração dos resultados.

Figura 33 - Metodologia da pesquisa quantitativa



Fonte: Elaboração própria.

## 6.2.1 Dados de entrada do modelo matemático

### 6.2.1.1 Dados de Entrada 1

Os Dados de Entrada 1 correspondem aos dados relativos à massa de resíduos recebida por três aterros sanitários: CTRVV, Brasil Ambiental e Marca Ambiental. Os dados referentes aos dois primeiros aterros foram coletados por meio de literatura a partir do trabalho de Gervazio e outros (2010). Os dados relativos ao terceiro aterro foram disponibilizados por Coelho (2013) a partir de um documento denominado Relatório de Avaliação, desenvolvido por uma empresa de consultoria contratada pela Marca Ambiental em 2013. Entretanto, embora o aterro sanitário desta empresa tenha entrado em funcionamento em 1995, os dados disponíveis consideravam

apenas registros de resíduos a partir do ano 2004. A Tabela 17 apresenta os valores de deposição de resíduos em células dos aterros sanitários.

Tabela 17 - RSU dispostos nos aterros sanitários existentes no ES até 2014 em Mg/ano.

Ano	Brasil Ambiental (Aracruz) <sup>1</sup>	Marca Ambiental (Cariacica) <sup>2</sup>	CTRVV (Vila Velha) <sup>1</sup>	TOTAL (até 2014)
2001	21500	-	-	<b>21.500</b>
2002	22300	-	12750	<b>35.050</b>
2003	22950	-	128522	<b>151.472</b>
2004	30800	247204	128729	<b>406.733</b>
2005	58000	302564	180000	<b>540.564</b>
2006	73740	305885	180000	<b>559.625</b>
2007	93600	331165	180000	<b>604.765</b>
2008	99840	409862	180000	<b>689.702</b>
2009	109200	416192	180000	<b>705.392</b>
2010	112476	495242	180000	<b>787.718</b>
2011	115850	508873	180000	<b>804.723</b>
2012	119325	533401	180000	<b>832.726</b>
2013	122906	569794	180000	<b>872.700</b>
2014	126593	578340	180000	<b>884.933</b>
<b>TOTAL</b>				<b>7.897.603</b>

FONTE: Oliveira e Cardoso (2017) elaborado a partir de GERVAZIO et al. (2010) e COELHO (2013).

Notas: 1) Gervazio et al. (2010); 2) Coelho (2013).

Os dados de coleta dos aterros foram inseridos em planilha do LandGEM a fim de gerar como resultado estimativas de geração de metano para cada aterro, considerando-se seu ano de abertura, parâmetros  $k$  e  $L_0$  e, hipoteticamente, seu encerramento no ano de 2014. Os resultados obtidos nesta 1ª ETAPA referem-se à geração anual de biogás. Tais resultados são então somados à etapa seguinte para compor a contribuição anual dos aterros em operação no Estado a partir de 2015, totalizando a geração estadual anual de biogás e metano a partir de RSU. A descrição da 2ª ETAPA é detalhada a seguir.

### 6.2.1.2 Estimativa de coleta municipal de RSU a partir de 2015

Os dados municipais de produção *per capita* de resíduos, cobertura de coleta e recuperação de recicláveis, que correspondem aos Dados de Entrada 2, foram obtidos com base no Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), do Ministério das Cidades (MC, 2014). A população prevista para o ano de 2015 a 2034 foi calculada a partir dos censos do IBGE dos anos de 2000 e 2010, conforme metodologia de Garcia (2016).

#### 6.2.1.2.1 *Projeção populacional*

Garcia (2016) realizou testes de projeção populacional para os habitantes dos municípios capixabas por meio das metodologias de projeção aritmética, projeção geométrica, regressão multiplicativa, taxa decrescente de crescimento e crescimento logístico. Dentre estas, a metodologia que se mostrou mais indicada para este trabalho foi a projeção aritmética por apresentar melhor desempenho diante dos números projetados pelo IBGE para a população do Estado.

Na projeção populacional calculada, o número de habitantes da população estadual, obtido a partir da soma das populações municipais estimadas pelo método da projeção aritmética, apresentou erro máximo de 5,24% quando comparado ano a ano com a projeção disponibilizada pelo IBGE para o período de 2015 a 2030, conforme apresentada na Tabela 18. Esse erro decresce com o incremento dos anos e é inferior a 3% no ano de 2030, ano máximo de projeção disponibilizado pelo IBGE (2010).

Tabela 18 - Projeção populacional do Espírito Santo calculada com progressão aritmética

REGIÕES ES s/ LIXÃO	POPULAÇÃO (IBGE)		PROJEÇÃO POPULACIONAL															
	2000	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030 <sup>1</sup>
REGIÃO NORTE (Conorte)	348.551	384.861	403.019	406.648	410.278	413.909	417.541	421.171	424.804	428.433	432.067	435.694	439.329	442.958	446.588	450.219	453.851	457.481
REGIÃO DOCE OESTE (Condoeste)	327.111	346.736	356.553	358.512	360.473	362.435	364.400	366.361	368.323	370.287	372.250	374.210	376.178	378.137	380.098	382.060	384.025	385.986
REGIÃO LITORAL SUL (Conlisul)	311.777	347.380	365.185	368.741	372.291	375.864	379.421	382.983	386.545	390.102	393.665	397.225	400.788	404.344	407.904	411.467	415.024	418.586
REGIÃO SUL SERRANA (Consul)	417.700	447.711	462.720	465.718	468.718	471.719	474.720	477.722	480.724	483.725	486.726	489.726	492.731	495.729	498.729	501.730	504.731	507.733
REGIÃO DOCE LESTE	270.922	330.346	360.060	366.001	371.944	377.885	383.828	389.770	395.714	401.655	407.598	413.539	419.484	425.425	431.368	437.309	443.252	449.194
REGIÃO METROPOLITANA	1.421.171	1.657.918	1.776.294	1.799.966	1.823.641	1.847.316	1.870.990	1.894.665	1.918.340	1.942.014	1.965.689	1.989.364	2.013.041	2.036.713	2.060.388	2.084.063	2.107.737	2.131.412
	Total ES Projetado:		3723812	3765584	3807356	3849128	3890900	3932672	3974444	4016216	4057988	4099760	4141532	4183304	4225076	4266848	4308620	4350392
	Total ES IBGE:		3929911	3973697	4016356	4058079	4098852	4138657	4177644	4215796	4252873	4288849	4323701	4357586	4390464	4422131	4452546	4481671
	Margem de Erro:		5,24%	5,24%	5,20%	5,15%	5,07%	4,98%	4,86%	4,73%	4,58%	4,41%	4,21%	4,00%	3,77%	3,51%	3,23%	2,93%

Nota: (1) Ano máximo disponibilizado pelo IBGE.

Fonte: Elaborado a partir de Oliveira e Cardoso (2017).

Ainda com base na Tabela 18, devido ao pequeno erro relativo, optou-se por estender a projeção até o ano de 2034, admitindo-se que tal diferença populacional é pouco expressiva em termos de produção de biogás, diante dos altos percentuais de perdas que ocorrem durante a coleta do gás e sua conversão em energia elétrica.

Os municípios foram agrupados conforme a proposta de destinação de RSU do programa *Espírito Santo sem Lixão* apresentada na Figura 31. Os dados de coleta de resíduos referentes a cada aterro foram inseridos no *software* de modelagem, originando estimativas anuais de geração de biogás e metano individuais por aterro, que em seguida foram somadas à geração calculada na 1ª ETAPA a fim de integrar o total estadual anual.

Os valores estimados de geração anual de resíduos baseados na população projetada, na geração per capita de resíduos e no agrupamento de municípios previstos pelo *Espírito Santo sem Lixão* estão dispostos na Tabela 19. Para tais estimativas considerou-se, além de uma projeção aritmética populacional, que a geração per capita de resíduos se manteria constante ao longo dos 20 anos da projeção.

Tabela 19 - Estimativa de geração anual de resíduos em Mg/ano a serem coletados pelos aterros previstos pelo ES sem Lixão.

							(Continua)
Ano	Região 1 CONORTE	Região 2 CONDOESTE	Região 3 Região Doce Leste	Região 4	Região 5 CONLISUL	Região 6 CONSUL	TOTAL
2015	99357,853	83347,244	84504,476	558694,449	77773,744	91747,917	<b>995425,6824</b>
2016	100222,954	83807,051	85913,076	565843,657	78567,883	92319,528	<b>1006674,149</b>
2017	101088,055	84266,859	87321,677	572992,864	79362,021	92891,139	<b>1017922,615</b>
2018	101953,156	84726,667	88730,277	580142,071	80156,159	93462,751	<b>1029171,082</b>
2019	102818,257	85186,475	90138,878	587291,279	80950,297	94034,362	<b>1040419,548</b>
2020	103683,359	85646,283	91547,478	594440,486	81744,436	94605,973	<b>1051668,015</b>
2021	104548,460	86106,090	92956,079	601589,694	82538,574	95177,585	<b>1062916,481</b>
2022	105413,561	86565,898	94364,679	608738,901	83332,712	95749,196	<b>1074164,947</b>
2023	106278,662	87025,706	95773,280	615888,109	84126,850	96320,807	<b>1085413,414</b>
2024	107143,763	87485,514	97181,880	623037,316	84920,989	96892,418	<b>1096661,88</b>
2025	108008,865	87945,322	98590,481	630186,523	85715,127	97464,030	<b>1107910,347</b>
2026	108873,966	88405,129	99999,081	637335,731	86509,265	98035,641	<b>1119158,813</b>
2027	109739,067	88864,937	101407,682	644484,938	87303,403	98607,252	<b>1130407,28</b>
2028	110604,168	89324,745	102816,282	651634,146	88097,542	99178,864	<b>1141655,746</b>
2029	111469,269	89784,553	104224,883	658783,353	88891,680	99750,475	<b>1152904,212</b>

Tabela 19 - Estimativa de geração anual de resíduos em Mg/ano a serem coletados pelos aterros previstos pelo ES sem Lixão.

Ano	Região 1	Região 2	Região 3	Região 4	Região 5	Região 6	TOTAL
	CONORTE	CONDOESTE	Região Doce Leste		CONLISUL	CONSUL	
2030	112334,371	90244,361	105633,483	665932,6	89685,818	100322,086	<b>1164152,68</b>
2031	113199,472	90244,361	107042,083	673081,8	90479,956	100893,697	<b>1.174.941,34</b>
2032	114064,573	91163,976	108450,684	680231	91274,094	101465,309	<b>1.186.649,61</b>
2033	114929,674	91623,784	109859,284	687380,2	92068,233	102036,92	<b>1.197.898,08</b>
2034	115794,775	92083,592	111267,885	694529,4	92862,371	102608,531	<b>1.209.146,55</b>

Fonte: Oliveira e Cardoso (2017) elaborado a partir de GERVAZIO et al. (2010) e COELHO (2013).

### 6.2.2 Geração teórica de biogás

Tendo em vista que os aterros previstos estão ainda em fase de construção ou projeto, o que permite a definição prévia das características futuras de degradação dos resíduos nesses aterros, optou-se por adotar uma diferenciação no cálculo em relação à 1ª ETAPA, considerando-se três valores diferentes de  $k$  e  $L_0$  para cada aterro. Cada par ( $k$ ,  $L_0$ ) constituiu um cenário diferente para os DADOS DE ENTRADA 2 visando à análise de algumas possibilidades de geração de biogás e aproveitamento energético.

Os dados de geração estimada anual de RSU foram inseridos na planilha de cálculo do software LandGEM, versão 3.02, que nos retorna a produção de biogás e metano para cada ano, considerando as massas anuais de resíduos recebidos pelos aterros desde o início da aceitação de resíduos até o ano considerado para seu fechamento.

Conforme mencionado, o LandGEM considera a geração do biogás a partir do ano seguinte ao de deposição da massa de resíduos. A partir de então, considera sempre decrescente a geração por aquela massa ano a ano. No entanto, havendo nova deposição de resíduos no ano seguinte, a geração de gás por essa nova massa soma-se à gerada naquele ano pela deposição anterior, de forma que o volume total de biogás é sempre crescente até que haja o encerramento das deposições. Por esse motivo, a geração de biogás tem seu pico no ano seguinte ao do fechamento do aterro ou célula, passando a decrescer em seguida.



Para os três aterros sanitários atuais considerou-se o ano de 2014 como de encerramento hipotético, embora continuem, na realidade, em funcionamento. Essa opção foi escolhida apenas para que se pudesse realizar a modelagem considerando a coleta e destinação final por todos os municípios do Estado a partir de 2015. Os parâmetros  $k$  e  $L_0$  utilizados foram 0,17 e 79,18 para a Brasil Ambiental (Aracruz); 0,1 e 164 para a Marca Ambiental (Cariacica); e 0,1 e 140 para CTRVV (Vila Velha) conforme descrito por Gervazio e outros (2010).

Já para os novos aterros previstos pelo programa *Espírito Santo sem Lixão* (2ª ETAPA), foram estabelecidos três cenários comparativos, adotando-se valores diferentes de  $k$  e  $L_0$  para cada, conforme apresentado na Tabela 20.

Para o Cenário 1 foram utilizados valores de  $k$  e  $L_0$  sugeridos pela USEPA (2005) para aterros sanitários convencionais nos casos em que não existem informações de campo suficientes. Para o Cenário 2 foram considerados os valores de  $k$  e  $L_0$  descritos por Kumar e Sharma (2014) para aterros em Bophal, Índia, devido à baixa estimativa de geração realizada no local. Por último, no Cenário 3, estabeleceu-se para  $k$  e  $L_0$  a média ponderada entre os valores descritos na revisão bibliográfica, considerando-se a proximidade das características e dos valores de precipitação daqueles locais com os dos aterros do Espírito Santo. A Tabela 20 resume a adoção de tais valores.

Tabela 20 - Valores de  $k$  e  $L_0$  utilizados no LandGEM para a estimativa de geração estadual de biogás e metano.

CENÁRIOS	Parâmetro	Fonte
Cenário 1	$k=0,05$ $L_0=170$	USEPA (2005)
Cenário 2	$k=0,05$ $L_0=48,46$	KUMAR, SHARMA (2014)
Cenário 3	$k=0,0778$ $L_0=81,0447$	Média das Referências

Fonte: Oliveira; Cardoso (2017).

Cabe informar que os valores adotados do cenário 3 tendem a gerar resultados mais conservadores para a geração de biogás, se comparados aos valores já adotados para os aterros existentes sem recirculação de chorume. Ao se prever a geração de energia a partir do cenário 3, espera-se uma subestimativa dessa geração, o que

pode ser mais interessante em termos de estudo de viabilidade, pois uma vez sendo verificada viabilidade para um valor subestimado, é coerente pensar que os valores reais podem gerar uma situação economicamente positiva. Sendo assim, o cenário 3 foi selecionado para apresentar os resultados obtidos neste trabalho.

### 6.2.3 Conversão de biogás em energia elétrica

Conforme já mencionado, parte do biogás coletado nas células de deposição de resíduos se perde para a atmosfera a partir da superfície do aterro ou no próprio sistema de drenos e processo de conversão energética. O percentual restante situa-se em torno de 75%, valor sugerido pela USEPA (2015) e adotado nos cálculos de conversão energética deste trabalho.

A partir da coleta do biogás, apenas a parte indicativa ao metano é considerada para o objetivo de geração de energia elétrica. Na literatura, alguns valores foram encontrados para o poder calorífico do metano, com poucas variações quando considerado o mesmo percentual de metano no biogás, conforme observado na Tabela 21.

Tabela 21 - Valores de poder calorífico de metano

Parâmetro	Valor	Fonte
Poder calorífico inferior do CH <sub>4</sub>	5.800 kcal/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> com [CH <sub>4</sub> ] entre 40 e 55% no biogás	Muylaert (2000 apud ABREU, 2008)
Poder calorífico inferior do CH <sub>4</sub>	5500 kcal/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> com [CH <sub>4</sub> ] em 50% no biogás	Felca (2015)

Fonte: Oliveira; Cardoso (2017).

O rendimento do grupo motogerador utilizado por Valente (2015) sugere valores de rendimento elétrico e custo associados à potência instalada conforme descritos na Tabela 22. Neste caso, considerou-se apenas o rendimento elétrico e custo como sistema completo motogerador.

Tabela 22 - Valores de eficiências (%) e custo (R\$/KW) dos motores, conforme sua potência.

Potência do motor	<=30kW	34-50kW	51-100kW	101-250KW	251-400KW	401-800KW	801-1200KW
Rendimento elétrico	28%	32%	36%	38%	40%	42%	42%
Custo (R\$/KW)	10.000	9.000	7.300	5.400	4.400	3.200	2.600

Fonte: Valente (2015); Oliveira; Cardoso (2017).

Logo, para este trabalho, adotou-se um percentual de metano de 55% em volume no biogás, bem como um poder calorífico inferior de 5800 kcal/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>, ou 6,740889 kWh/m<sup>3</sup>. Tendo em vista o custo e os valores de potência instalada provável para cada aterro verificado nos resultados, considerou-se um rendimento elétrico do grupo motogerador de 42%.

As equações utilizadas para obtenção da eletricidade gerada e consumida com base na capacidade instalada da planta de geração de energia elétrica e na disponibilidade de operação da planta adaptadas de Valente (2015) são descritas em sequência:

- Energia disponível no metano produzido diariamente (Equação 6)

$$E_{metano} = V_{metano} \times PCI_{metano} \quad (6)$$

Onde:

$E_{metano}$  = Energia contida no metano (kWh/dia)

$V_{metano}$  = Volume diário de metano gerado no aterro sanitário (Nm<sup>3</sup>/dia)

$PCI_{metano}$  = Poder Calorífico inferior do metano (kWh/m<sup>3</sup>) - com 55% de CH<sub>4</sub> no biogás.

- Geração diária de energia elétrica (Equação 7)

$$E_{elétrica} = E_{metano} \times \eta_{motor} \quad (7)$$

Onde:

$E_{elétrica}$  = Eletricidade gerada por dia (kWh/dia)

$\eta_{motor}$  = Eficiência elétrica do motogerador

- Potência Instalada (Equação 8)

$$P = E_{elétrica} / H \quad (8)$$

Onde:

$P$  = Eletricidade gerada por dia (kWh/dia)

$H$  = Regime de geração (h)

Os valores obtidos de geração estimada de energia elétrica foram utilizados para a simulação de número de residências atendidas, considerando-se para tanto o valor de consumo residencial médio para residências brasileiras, apontado por EPE (2014), como sendo de 150 kWh/mês. Na Tabela 23 apresentam-se os valores adotados nos cálculos.

Tabela 23 – Resumo dos parâmetros adotados para o cálculo de geração de energia elétrica.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidade</b>
<b>Poder calorífico inferior do CH<sub>4</sub></b>	5800	kcal/m <sup>3</sup>
<b>Poder calorífico inferior do CH<sub>4</sub></b>	6,740	kWh/m <sup>3</sup>
<b>Eficiência de coleta do sistema</b>	75	%
<b>Rendimento elétrico do motogerador</b>	42	%
<b>Tempo de operação dos motores</b>	95	%

Fonte: Oliveira; Cardoso (2017).

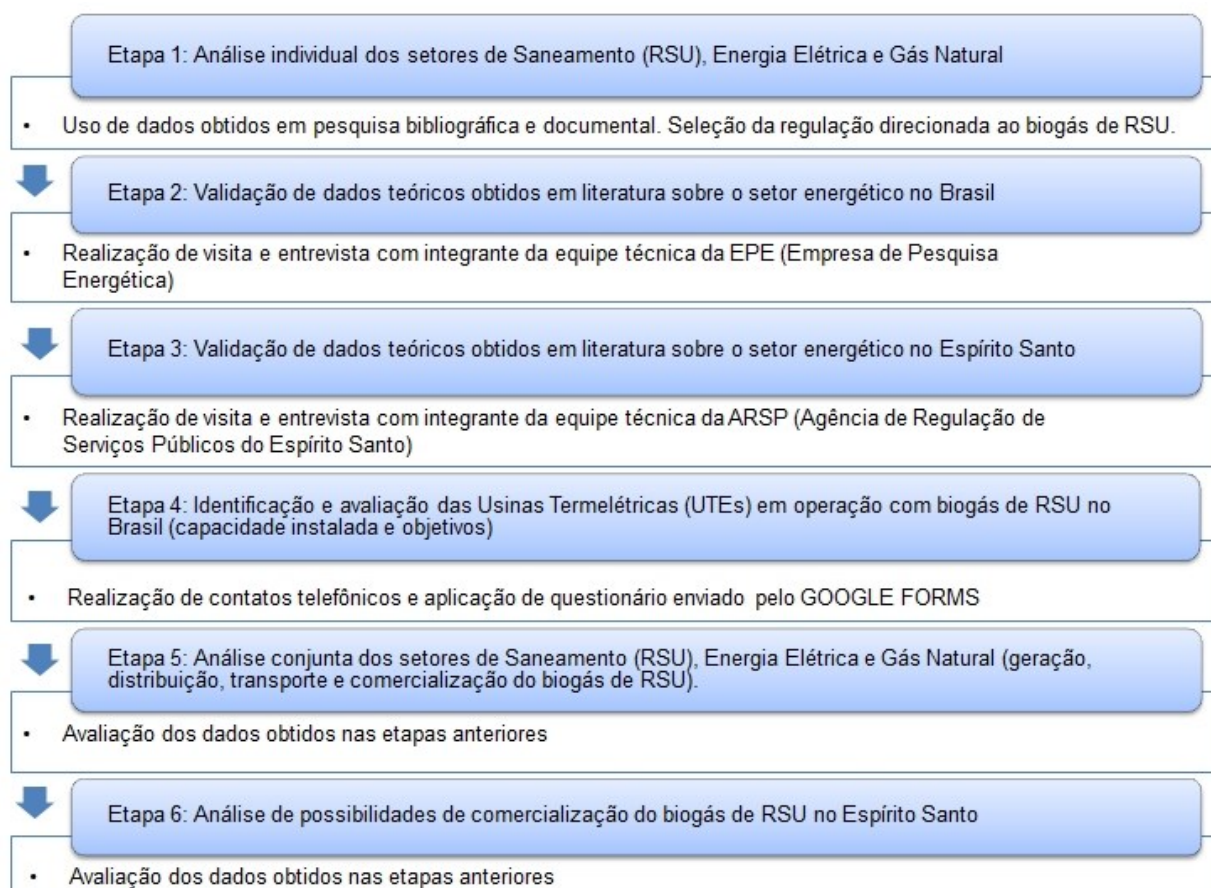
### 6.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO DA FASE REGULATÓRIA

O método qualitativo foi empregado para realizar a análise documental e bibliográfica da regulação que envolve os setores de resíduos, gás natural e energia elétrica no Brasil e no Espírito Santo. Para tal, utilizou-se pesquisa documental em Leis, Portarias, Normas, Resoluções e Manuais da EPE – Empresa de Pesquisa Energética, ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, ANP – dentre outras, além de pesquisa bibliográfica em livros, artigos, teses e dissertações da área. Os artigos utilizados foram publicados em periódicos nacionais e internacionais conceituados sob critérios do sistema QUALIS. Procedeu-se em seguida a

realização de entrevistas diretas com representantes do setor energético e RSU em âmbito federal e regional, respectivamente, da EPE e ARSP com o intuito de validar as informações teóricas contidas em literatura. Aliado a este procedimento, também foram aplicados questionários aos representantes das 15 usinas termelétricas (UTES) de RSU em operação no Brasil por meio de ferramenta online denominada “GOOGLE FORMS”. Tais procedimentos foram empregados a fim de ampliar o conhecimento relacionado ao objeto de estudo, complementar os dados teóricos verificados e inteirar-se das mudanças ocorridas nos setores estudados.

De maneira geral, na Figura 34 podem ser verificadas as etapas de trabalho desta pesquisa e as principais metodologias empregadas, descritas a seguir.

Figura 34 - Sequência de execução metodológica da fase regulatória



Fonte: Elaboração própria.

A abordagem qualitativa, desenvolvida conforme sequência apresentada na Figura 34, consistiu na realização de um levantamento dos aspectos regulatórios que

delimitaram a parte teórica da fase regulatória. Assim, segundo Okoli e Schabram (2010), algumas das técnicas empregadas em revisões sistemáticas de literatura foram adotadas nesta fase com o objetivo de realizar a apropriação inicial dos dados utilizados na presente pesquisa. Justifica-se o uso de tal técnica para garantir a captura de estudos recentes e relevantes relacionados ao tema pesquisado. Assim, o material correspondente à pesquisa documental, à pesquisa bibliográfica e entrevistas foi selecionado para compor a análise regulatória do aproveitamento energético do biogás de RSU.

Inicialmente, na Etapa1, a análise dos setores (saneamento, elétrico e gás natural) foi realizada separadamente a partir do estudo do contexto histórico relativo às mudanças ocorridas nesses segmentos. Em seguida, identificou-se o arcabouço legal direcionado à produção do biogás de RSU em cada setor.

No setor de saneamento buscou-se verificar em âmbito federal e estadual a regulação dos RSU que indicasse os aspectos relativos à gestão e tratamento destes com foco no aproveitamento energético.

No setor de energia elétrica, buscou-se analisar aspectos relacionados à regulação econômica, com incidência de tributação, tarifas, incentivos, especificidades técnicas e escalas para abastecimento e comercialização de eletricidade proveniente do biogás de RSU.

No setor de gás, semelhante ao setor de energia elétrica, também buscou-se verificar tarifações, especificações técnicas e escalas para suprimento e comercialização de gás natural, além de aspectos associados à distribuição, transporte e limitações quanto ao uso do biogás de aterro.

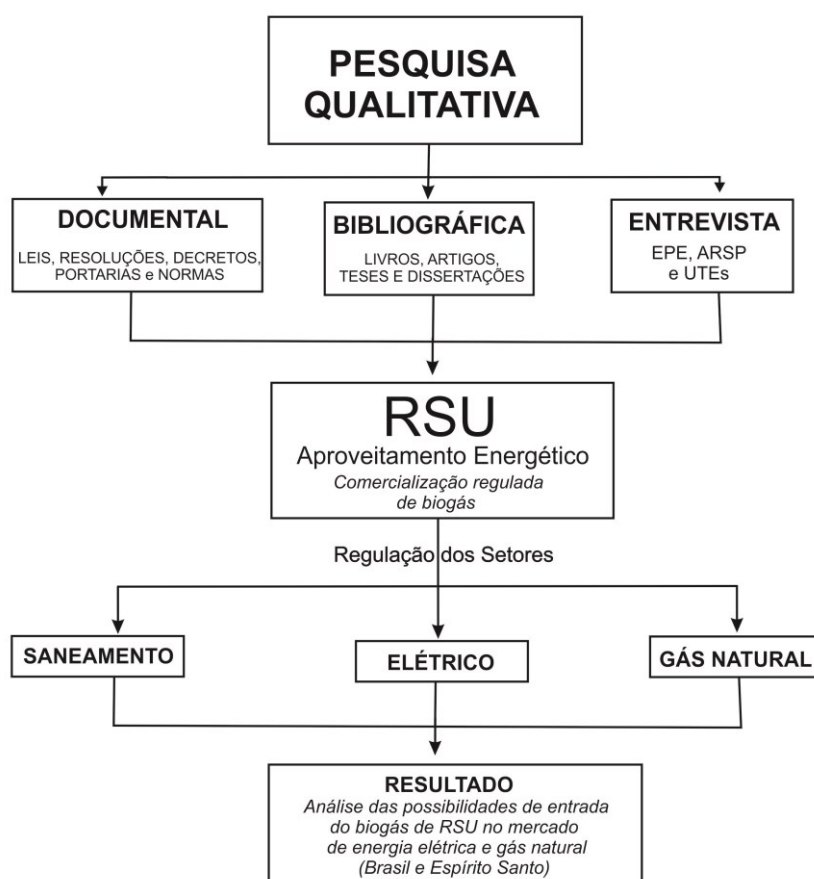
Na sequência, especificamente nas Etapas 2 e 3, a realização de entrevistas com representantes do setor energético em âmbito federal e estadual por meio de conversa serviu para complementar o estudo teórico já realizado em etapa anterior. Em seguida, a aplicação dos questionários junto às UTEs, realizada na Etapa 4, foi importante para comparar aspectos teóricos e práticos verificados, além de constatar a capacidade instalada e objetivos da produção de biogás por essas usinas. A descrição detalhada desses procedimentos encontra-se no item 6.3.1.

Na Etapa 5 foi possível então realizar uma análise conjunta dos setores estudados, considerando aspectos relativos à geração, transporte, distribuição e comercialização do gás para uso elétrico e como gás natural.

E por fim, na Etapa 6, foi possível direcionar a análise para o Estado do Espírito Santo, permitindo assim indicar as possibilidades de comercialização energética do biogás de RSU nesta região. Cabe ressaltar que os dados obtidos na fase quantitativa foram utilizados nesta última etapa para embasar a análise regulatória a fim de indicar o aproveitamento deste energético nas escalas encontradas para o Espírito Santo.

Na Figura 35 pode-se verificar o fluxograma metodológico da pesquisa qualitativa, correspondente à parte regulatória.

Figura 35 - Metodologia da pesquisa qualitativa



Fonte: Elaboração própria.

### 6.3.1 Questionários e entrevistas

A coleta de dados referente às UTEs foi realizada utilizando a ferramenta online “GOOGLE FORMS” aplicada aos representantes das usinas termelétricas (UTEs) de RSU em operação no Brasil. Desta forma, realizou-se um levantamento do tipo Survey<sup>59</sup> composto por um questionário contendo na primeira parte questões abertas e na segunda parte questões fechadas.

Desta forma, a pesquisa *Survey* foi elaborada para atender aos objetivos desta pesquisa, pretendendo-se com ela obter um diagnóstico sobre as usinas que produzem energia elétrica a partir da fonte biogás de RSU no Brasil. De forma geral, o questionário foi enviado por correio eletrônico e as respostas foram organizadas automaticamente pela ferramenta Google Forms. Essa ferramenta apresenta o resultado em gráficos e planilhas para facilitar as análises estatísticas e tabulação dos dados. Juntamente por correio eletrônico também foi enviado um ofício para apresentar a pesquisa, solicitar a participação dos responsáveis e assegurar o uso das informações apenas para fins acadêmicos, além de garantir sigilo de nomes e empresas envolvidas.

No Quadro 17 apresenta-se um resumo das informações coletadas no questionário.

Quadro 17 – Resumo das informações coletadas na pesquisa *Survey*

	Item	Descrição
<b>Questionário Técnico</b>	Informações gerais	Nome, endereço, telefone, email e data de operação
	Estimativas	Quantidade prevista de geração e captação de biogás
	Processo produtivo	Quantidade de biogás produzido e tecnologia utilizada
<b>Questionário Geral</b>	Mercado	Objetivo da produção e incentivos

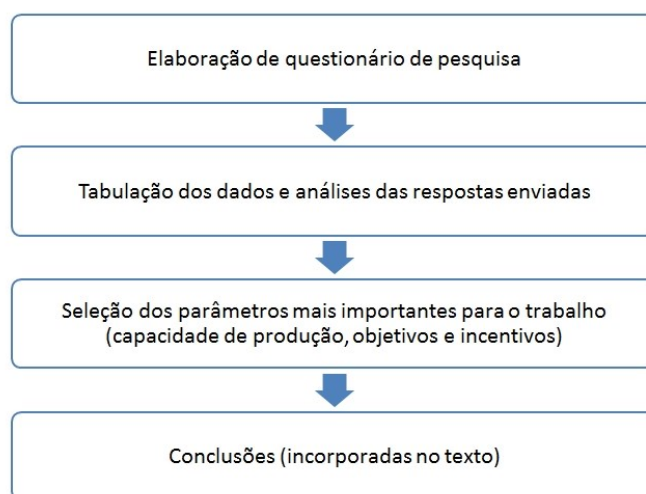
Fonte: Elaboração própria.

<sup>59</sup> De acordo com Freitas e outros (2000), a pesquisa do tipo Survey pode ser descrita como a obtenção de dados sobre características, ações ou opiniões de determinado grupo de pessoas, indicado como representante de uma população-alvo por meio de um instrumento de pesquisa, geralmente um questionário.



A Survey realizada com as UTEs apresentou dados reais sobre a captação, geração e aproveitamento do biogás de RSU para geração de energia elétrica. O contato inicial da pesquisa ocorreu no mês de setembro de 2016 por contatos telefônicos e emials. Em seguida, após confirmação dos responsáveis pelas informações solicitadas, foi realizada a aplicação dos questionários. A pesquisa ocorreu nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2016. No mês de janeiro de 2017 houve novo contato e reaplicação dos questionários para as usinas que não ainda haviam remetido resposta. Os questionários foram respondidos pelos responsáveis pela área de produção do biogás nas organizações, sendo eles engenheiros, técnicos, gerentes e diretores. Na Figura 36 mostra-se a sequência utilizada para execução da pesquisa com os questionários. O questionário completo e o ofício podem ser visualizados no Apêndice A e B.

Figura 36 - Sequência de execução da pesquisa realizada com as UTEs



Fonte: elaboração própria.

Participaram da pesquisa 15 UTEs, o que determina uma representatividade de 100% das usinas que operam com RSU até o ano de 2016, registradas na ANEEL. Desse total, 5 usinas responderam o questionário, o que determina uma representatividade de 33% das UTEs estudadas. Notou-se elevada dificuldade por parte dos entrevistados em responderem as perguntas por diversos fatores como: ausência de funcionário responsável pela área técnica, falta de tempo, sigilo de

informações, dificuldade para abrir o questionário no link enviado e desconhecimento de algumas informações solicitadas. Embora a quantidade de UTEs que responderam ao questionário represente apenas essa percentagem do banco de dados (33%), os dados obtidos a apresentam relevantes informações sobre o mercado de produção de energia com o Biogás de RSU no Brasil. Esses dados foram incorporados no texto dos resultados e discussões apresentado no capítulo 7.

As entrevistas foram realizadas pessoalmente com representantes do setor energético em âmbito federal e estadual, sem aplicação de questionário, de modo a realizar-se como uma conversa. Em âmbito federal esta pesquisa ocorreu com um representante da Equipe Técnica da EPE e em âmbito estadual com um servidor público e colaborador da ARSP. Os nomes de tais representantes foram preservados e as informações obtidas por meio destas fontes foram incorporadas ao texto, uma vez que o objetivo desta foi somente explorar e atualizar informações sobre o setor.

#### 6.4 PREMISSAS E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Durante o desenvolvimento desta pesquisa verificou-se duas limitações principais: (1) projeção populacional e (2) estimativa de geração de resíduos.

A primeira limitação, embora elaborada por ferramenta apropriada de projeção aritmética indicada por Garcia (2016), possui desvios que, com a futura existência de dados censitários, podem ser comparados para ajustes. No entanto, salienta-se que este método foi empregado devido ao menor erro relativo (3% a 5%) apresentado na comparação de cinco metodologias analisadas pelo autor quando comparadas à projeção do IBGE publicada no ano 2013 para o período de 2015 a 2030.

A segunda limitação, relativa à estimativa de geração de resíduos, apresenta ainda duas questões importantes, a saber: (I) ausência de dados que indicassem a exata composição gravimétrica dos resíduos sólidos nos municípios capixabas. Por isso, foram utilizados dados deficitários da composição gravimétrica que consta na minuta do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, elaborado pelo IPEA no período de 1995 e 2008 (IPEA, 2011). Esses estudos não consideram as diferenças regionais que existem nos municípios do Brasil, o que pode influenciar os resultados. No Espírito

Santo, futuramente, quando os municípios realizarem a sua efetiva caracterização gravimétrica e implantarem um sistema de gerenciamento quali-quantitativo de resíduos sólidos municipais, desvios desse tipo poderão ser apurados para gerar resultados mais próximos da realidade local. (II) Durante todo o período de projeção populacional (20 anos), foi utilizada a mesma proporção de resíduos (secos e úmidos). Neste caso, sabe-se que atualmente a taxa de geração de resíduos possui um crescimento com velocidade superior à taxa de crescimento populacional. No entanto, como a influência das estratégias de gerenciamento de resíduos, considerados os critérios de não geração e redução/minimização, ainda não foi analisada, aceita-se a impossibilidade de avaliar a mudança na taxa de geração de resíduos ao longo dos anos estudados nesta pesquisa. Sendo assim, optou-se por manter constante a composição gravimétrica e a geração per capita de resíduos.

A escolha do modelo LandGEM foi norteadada por várias premissas. Cho, Moon e Kim (2012) afirmam que é um software amplamente aplicado para prever os potenciais anuais de metano em aterros. Felca, Glória e Barros (2015) argumentam que é um modelo mais recente e que apresenta um maior número de fatores que são considerados nos cálculos, o que aumenta a sua precisão. Em estudo comparativo com o modelo do Banco Mundial, por exemplo, o LandGEM demonstrou ser um método mais adequado porque é calculado por meio de um maior número de variáveis. Entretanto, não desqualifica o modelo do Banco Mundial, apenas indica o LandGEM como uma solução mais precisa para o cálculo da geração do biogás. Do mesmo modo, Faour, Reinhart e You (2007) também assumem posição favorável sobre o uso deste software e recomendam o uso deste modelo por causa de sua ampla utilização, simplicidade e bom ajuste de dados. Mustafa Sameer, Mustafa Sameerah e Mutlag (2013) atestam que o LandGEM é considerado uma melhor ferramenta de triagem dos dados de entrada e de melhores estimativas. De forma semelhante, no estudo de Emkes, Coulon e Wagland (2015) este modelo de resíduos foi escolhido principalmente por requerer uma pequena quantidade de dados de entrada e fornecer uma estimativa da evolução das emissões de gases de aterro cumulativos ao longo do tempo, o que oferece vantagens em relação aos modelos mais simples.

Por outro lado, Aydi e outros (2015) afirmam que uma desvantagem do modelo LandGEM é não considerar diferenças no teor de matéria orgânica no aterro, pois

atesta todos os resíduos como RSU, o que não é o caso. Por exemplo, uma composição de resíduos com teor mais elevado de celulose possui valor de  $L_0$  mais elevado e, portanto, produz uma saída de metano maior. Por isso, é fornecido um guia como parâmetro para cada gama de valores de  $L_0$  utilizadas no modelo LandGEM baseado em biorreator úmido de aterros convencionais e os valores de regulação CAA (USEPA, 2005). Por conseguinte, o valor potencial da capacidade de geração de metano pode ser alterada pelo utilizador, dependendo da composição dos resíduos, se conhecida.

Aydi, Abichou e Zairi (2015) acrescentam ainda que, embora nenhum modelo combine perfeitamente com os dados de recuperação de biogás coletado manualmente, alguns modelos se encaixam melhor do que outros. Em seus estudos, o modelo LandGEM foi selecionado como a melhor ferramenta para determinar as taxas de geração de gás de aterro de forma mais representativa, uma vez que é mais confiável. Dito isto, justifica-se a aplicação do modelo LandGEM nesta pesquisa.

## **7 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

No presente capítulo são apresentados tanto os resultados da fase técnica como os resultados da fase regulatória. Os resultados técnicos incluem os aspectos quantitativos referentes à estimativa de geração de biogás oriundo de aterros sanitários em regiões do Espírito Santo. Os resultados regulatórios apresentam os aspectos qualitativos referentes à geração, transporte, distribuição e comercialização deste energético no Brasil e Espírito Santo.

### **7.1 RESULTADOS DA FASE TÉCNICA**

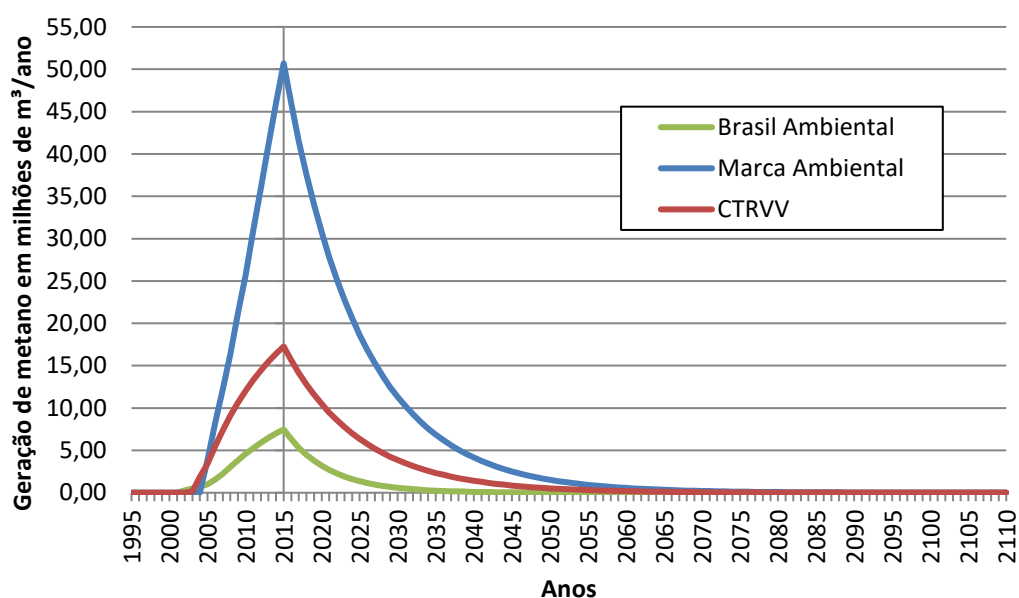
Inicialmente estimou-se a produção de metano dos aterros em operação até o final do ano de 2015. Em seguida, calculou-se a estimativa de produção de metano no período do ano seguinte, entre os anos 2016 até 2035. Foram gerados três cenários a partir dos períodos mencionados. O cenário 3 foi destacado para apresentar o potencial de geração de energia elétrica porque representa a média ponderada dos valores de  $k$  (Taxa de geração de metano) e  $L_0$  (Potencial de geração de metano).

#### **7.1.1 Estimativa de geração de metano até 2015**

Para estimar a geração atual de metano proveniente dos RSU depositados nos três aterros em operação no Espírito Santo - Brasil Ambiental, CTRVV e Marca Ambiental - até o final do ano de 2015, inicialmente considerou-se o fechamento de tais aterros no ano de 2014.

Os dados organizados na Tabela 18, correspondentes à coleta de resíduos, foram introduzidos no modelo LandGEMa fim de obter como resultado a quantidade de biogás e metano gerados. O período representado compreende o ano considerado para a abertura do aterro e o ano de 2110, empregado como limite de cálculo para que fosse possível visualizar o período de menor geração de gás em todas as curvas do gráfico. No Gráfico 1 visualiza-se a geração de metano para cada um dos três aterros em operação.

Gráfico 1 – Estimativa de geração de metano dos aterros sanitários das empresas Brasil Ambiental, CTRVV e Marca Ambiental considerando seu fechamento hipotético em 2014.



FONTE: OLIVEIRA; CARDOSO (2017).

Observa-se que todas as curvas do gráfico apresentam o mesmo percurso, que corresponde a um crescimento enquanto ocorre a deposição de resíduos, e em seguida começa a decair a partir do ano seguinte àquele determinado como limite da deposição, de acordo com a taxa de decréscimo apresentada na Equação 2.

Ainda no Gráfico 1, nota-se que o pico de geração de metano ocorre no ano de 2015 e que por volta de 30 anos após o hipotético encerramento desses aterros essa geração torna-se mínima. Percebe-se a elevada estimativa de geração de metano do aterro sanitário da Marca Ambiental quando comparada ao do aterro da Brasil Ambiental, com uma diferença de pico de geração quase dez vezes maior.

Essa elevada geração pode ser justificada tanto pelo maior valor de  $L_0$  adotado como pelo grande volume de resíduos recebidos, uma vez que o aterro da Marca Ambiental insere-se na região metropolitana, a qual apresenta maior produção de RSU do Estado.

A estimativa do total de metano gerado até 2015 por esses aterros, resumida no Gráfico 2, totaliza aproximadamente  $4,69 \times 10^8 \text{ m}^3$ , oriundo de aproximadamente 7,9

milhões de toneladas de resíduos.<sup>60</sup> Cabe informar que a massa acumulada de resíduos permanece gerando metano continuamente, mas de forma decrescente. A importância desse resultado reside no fato de que esse metano é somado ao metano produzido pelos resíduos dos demais municípios do Estado na Etapa 2, para então gerar a estimativa de aproveitamento energético do Espírito Santo.

É necessário ressaltar que o potencial de geração de metano ( $L_0$ ) apresentado por Gervázio e outros (2010) para os aterros são bem diferentes, pois enquanto o aterro da Brasil Ambiental apresentou um  $L_0$  igual a 79,18  $m^3/Mg$ , a Marca Ambiental apresentou um  $L_0$  igual a 164  $m^3/Mg$  e a CTRVV um  $L_0$  igual a 140  $m^3/Mg$ . Nesse quesito, Abreu (2009) reforça que, quanto mais elevada a fração orgânica contida nos RSU, mais alto tende ser o valor de  $L_0$ . Portanto, nesse aspecto, a Marca Ambiental também indica maior concentração de matéria orgânica nos RSU e com isso maior capacidade de geração de metano.

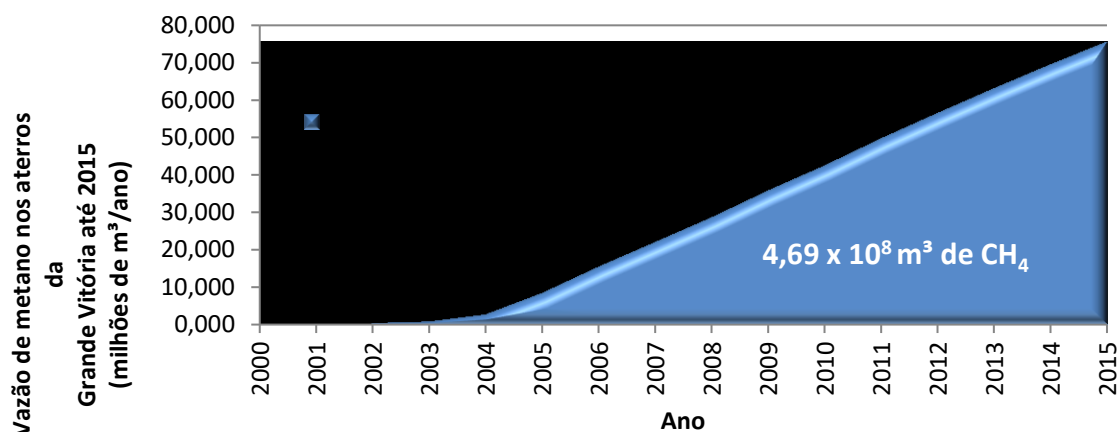
Com relação à taxa de geração de metano ( $k$ ), determinante da velocidade da taxa de geração de metano para a massa de resíduos do aterro, os valores obtidos para os três aterros não possuem diferença expressiva. Todos os três aterros apresentaram características semelhantes tais como: teor de umidade, precipitação média anual e temperatura. Os valores apresentados,  $k=0,17 \text{ ano}^{-1}$  para Brasil Ambiental e  $k=0,1 \text{ ano}^{-1}$  para os demais aterros sanitários, representam o Estado do Espírito Santo de forma significativa, uma vez que os valores elevados de  $k$  estão associados a regiões de alta umidade, conforme já mencionado por Abreu (2009).

A área azul no Gráfico 2 expõe o total acumulado da estimativa de geração de metano ( $4,69 \times 10^8 \text{ CH}_4$ ) dos três aterros em operação na Grande Vitória até final do ano de 2015. Tal resultado representa a quantidade de gás metano que poderia ser utilizada caso esses aterros possuísem um sistema instalado para aproveitamento energético.

---

<sup>60</sup> As informações desse resultado correspondem aos Dados de Entrada 1 e podem ser verificadas no item 6.2.1.1. Ver também os valores de  $k$  e  $L_0$  na Tabela 21, utilizados para obter a estimativa de geração estadual de biogás e metano.

Gráfico 2 – Estimativa de geração de metano nos aterros da Grande Vitória até 2015

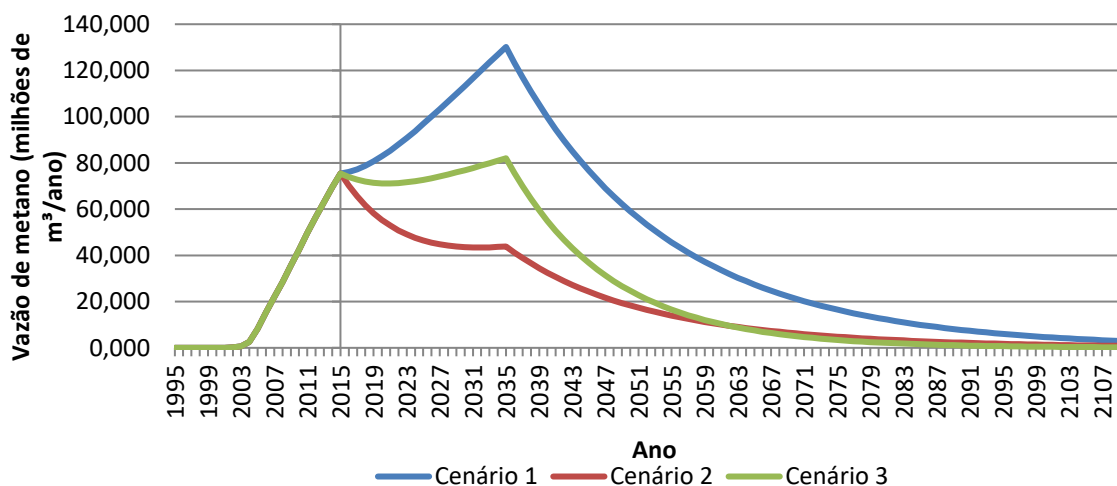


Fonte: OLIVEIRA; CARDOSO (2017).

### 7.1.2 Estimativa de geração de metano a partir do ano 2015

Conforme mencionado, o metano gerado nos três aterros em operação até 2015 soma-se à geração de metano dos aterros propostos pelo programa *Espírito Santo sem Lixão*. Logo, forma-se dois picos de geração de metano: o primeiro em 2015 devido aos resíduos depositados nos atuais aterros da Grande Vitória e o segundo em 2035, ano subsequente ao fechamento dos demais aterros. Considerou-se o fechamento neste ano para compor o período projetado de 20 anos. Assim, no Gráfico 3 demonstra-se tal situação e apresentam-se os três cenários.

Gráfico 3 – Estimativa de geração acumulada de metano de 1995 a 2110



FONTE: OLIVEIRA; CARDOSO (2017).



A coincidência das linhas de geração de metano até o ano de 2015 refere-se à soma das estimativas de geração de metano dos aterros Brasil Ambiental, Marca Ambiental e CTRVV. Após esse ano, obviamente notam-se três curvas diferentes, referentes aos cenários já estudados para a geração de metano por parte dos demais aterros do programa, considerados com características similares.

A elaboração desses cenários é importante para direcionar decisões de investimento em empreendimentos com as escalas encontradas. A alteração dos valores de  $k$  e  $L_0$  resulta em diferentes potenciais e velocidades de geração de metano indicados por essas variáveis em cada cenário. Assim, essas variáveis foram modificadas em cada cenário de modo a apontar o cenário 3 como mais indicado para uma análise de investimento. Tal fato justifica-se pelo cenário 3 representar um cenário moderado, uma vez que corresponde a média entre um cenário de maior estimativa, representado pelo cenário 1, e de menor estimativa, representado pelo cenário 2.

Conforme números apresentados, constatou-se que o cenário 1 indicou uma geração de metano bem acima dos demais cenários, por conta do elevado valor de  $L_0$ . Tal valor, no entanto, foi empregado propositalmente acima do valor fornecido pelos aterros da Marca Ambiental e CTRVV, de modo a indicar uma superestimativa em relação à real geração, uma vez que nenhum dos três aterros atinge esse valor de  $L_0$ .

Por outro lado, o cenário 2 apresenta uma estimativa mais pessimista para a geração de metano devido ao menor valor de  $L_0$  adotado. Embora os valores dos parâmetros de precipitação e temperatura da região de Bhopal (Índia) se aproximem dos valores do Espírito Santo, conforme identificado na Tabela 16, as características de composição dos RSU apresentadas por Kumar e Sharma (2014) possuem diferenças importantes como menor concentração de carbono orgânico disponível, o que resulta numa produção de metano mais reduzida.

Por fim, o cenário 3 apresenta valores intermediários aos dois cenários anteriores, embasados na média ponderada de  $k$  e  $L_0$  apresentados na Tabela 16. Cabe apontar que esse cenário ainda tende a ser uma subestimativa da geração de metano por ter um valor de  $L_0$  menor que os adotados para os aterros existentes. Neste estudo, adotou-se então o valor de  $L_0 = 81,0447 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{Mg}$  de resíduos.

Na sequência, apresenta-se um resumo dos principais resultados obtidos para o cenário 3, selecionado para exposição no presente trabalho.

### 7.1.3 Elaboração de cenário com média ponderada de k e L<sub>0</sub>

#### 7.1.3.1 Vazão de metano em m<sup>3</sup>/h

Os dados de disposição de RSU apresentados nas Tabelas 18 e 20 foram inseridos no modelo LandGEM, cujo resultado permitiu obter a quantidade de biogás e de metano gerado ao longo de todo o período considerado, tomando-se como parâmetros os valores de k e L<sub>0</sub> adotados para o cenário 3. Assim, para estimar a geração de metano para o período de 20 anos após a abertura dos novos aterros do programa, definiu-se um período de tempo entre os anos de 2016 a 2035.

Para a geração de energia elétrica, considerou-se somente a fração de metano no biogás, cuja estimativa de geração anual no período calculado é apresentada na Tabela 24. Na sequência, o Gráfico 4 mostra a estimativa da geração acumulada de metano para o período.

Tabela 24 - Vazão de metano gerada e possível de ser recuperada, em m<sup>3</sup>/ano.

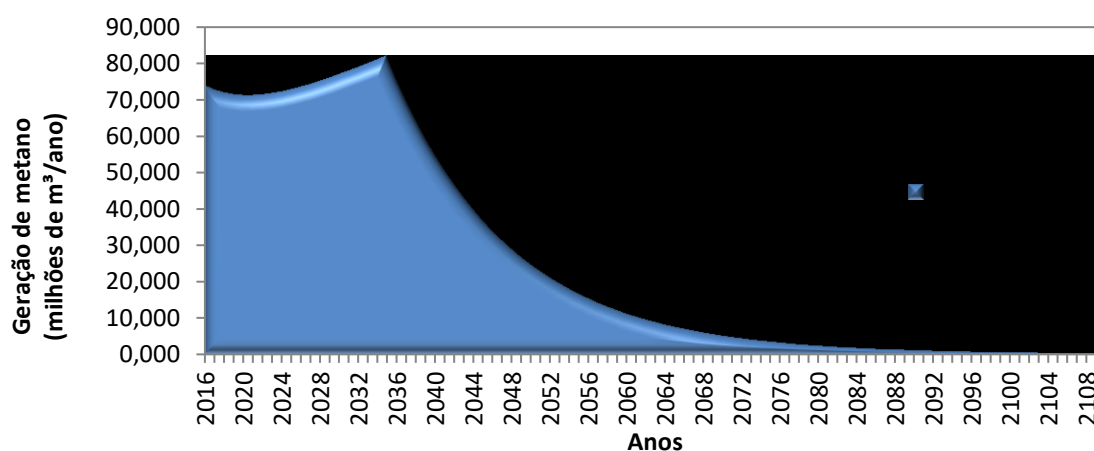
(Continua)	
Ano	Geração de metano (m <sup>3</sup> /ano)
2016	73.873.932,959
2017	72.711.724,951
2018	71.904.241,220
2019	71.401.056,224
2020	71.158.559,111
2021	71.139.034,188
2022	71.309.867,958
2023	71.642.864,831
2024	72.113.656,189
2025	72.701.189,732
2026	73.387.287,892
2027	74.156.265,734

Tabela 24 - Vazão de metano gerada e possível de ser recuperada, em m<sup>3</sup>/ano.

Ano	(conclusão)
	Geração de metano (m <sup>3</sup> /ano)
2029	75.890.642,996
2030	76.834.373,061
2031	77.817.180,081
2032	78.828.877,753
2033	79.868.951,567
2034	80.928.972,244
2035	82.004.335,167
<b>TOTAL</b>	<b>1.494.667.613,964</b>

FONTE: OLIVEIRA; CARDOSO (2017).

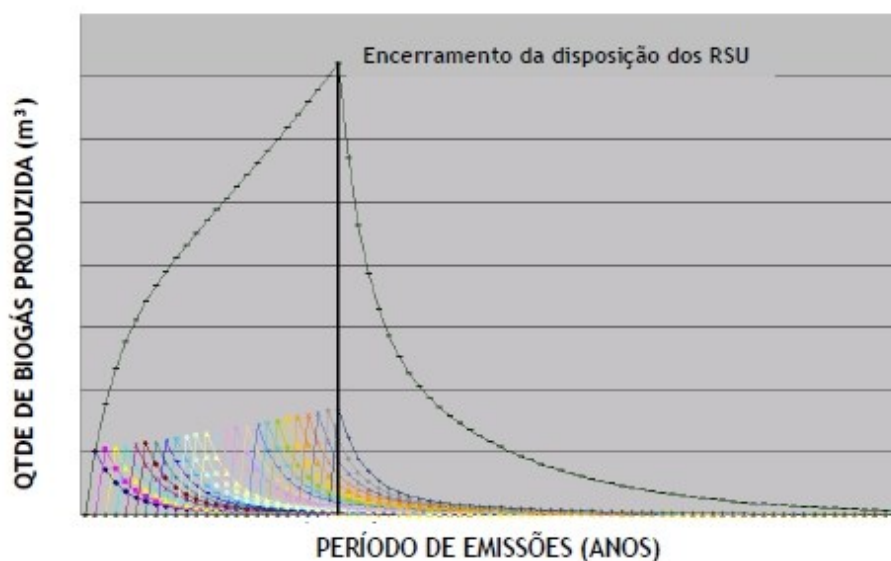
Cabe ressaltar que, tanto no Gráfico 4 como na Tabela 25, há uma redução inicial na produção de metano, referente a pouca influência dos novos resíduos sobre a geração total de metano. Todavia, a partir de 2022, devido à continuidade da deposição de resíduos, a geração total tende a subir e chegar a seu pico em 2035, quando decai significativamente em consequência da redução da quantidade de matéria orgânica disponível para decomposição. No decaimento, a curva é dirigida pela constante  $k$  que, de acordo com EPA (2005), tende a decair ao longo do tempo após estabilização da matéria orgânica dentro da célula do aterro.

Gráfico 4 – Geração de metano em milhões de m<sup>3</sup>/ano conforme o Cenário 3

FONTE: OLIVEIRA; CARDOSO (2017).

Ainda no Gráfico 4, pode-se observar também que após o fechamento do aterro no ano de 2035 a geração de metano ainda continua por um período de tempo, cerca de 30 anos, até atingir o valor zero por volta do ano de 2084. Esse comportamento da curva é similar ao apresentado em estudo da EPE (2014a), conforme visualizado na Figura 37.

Figura 37 - Evolução típica da produção de biogás em aterro sanitário



Fonte: EPE (2014a).

As estimativas de geração de metano até aqui verificadas foram importantes para atingir o objetivo de calcular a produção de eletricidade para o Espírito Santo. Os resultados referente a este procedimento são descritos a seguir.

#### 7.1.3.2 Geração de energia elétrica

Conforme já indicado, considerou-se que 75% do volume de metano gerado nos aterros podem ser recuperados em um projeto de captação de biogás. A Tabela 25 apresenta a estimativa do volume anual de metano gerado e possível de ser recuperado, assim como também a energia elétrica possível de ser gerada a partir desse biogás, bem como a potência instalada correspondente, calculadas a partir das equações (7) a (9). Para tal, considerou-se o rendimento de 42% do conjunto motogerador para a conversão energética e um tempo de operação de 95%, conforme resumo de parâmetros já mencionados (ver Tabela 23).

Tabela 25 – Energia disponível a partir da geração gás metano estimado.

Ano	Volume gerado de metano pela massa de resíduos.	Energia Disponível no metano coletado (eficiência de coleta de 75%)	Energia Gerada com eficiência de 42% do motogerador	Potência instalada
	[m³/ano]	[MWh/ano]	[MWh/ano]	[MW]
2016	73.873.932,959	373.481,980	156.862,432	18,849
2017	72.711.724,951	367.606,244	154.394,623	18,553
2018	71.904.241,220	363.523,876	152.680,028	18,347
2019	71.401.056,224	360.979,940	151.611,575	18,218
2020	71.158.559,111	359.753,955	151.096,661	18,156
2021	71.139.034,188	359.655,244	151.055,202	18,151
2022	71.309.867,958	360.518,922	151.417,947	18,195
2023	71.642.864,831	362.202,444	152.125,026	18,28
2024	72.113.656,189	364.582,608	153.124,695	18,4
2025	72.701.189,732	367.552,982	154.372,252	18,55
2026	73.387.287,892	371.021,665	155.829,099	18,725
2027	74.156.265,734	374.909,361	157.461,932	18,921
2028	74.994.600,104	379.147,700	159.242,034	19,135
2029	75.890.642,996	383.677,794	161.144,674	19,364
2030	76.834.373,061	388.448,979	163.148,571	19,604
2031	77.817.180,081	393.417,723	165.235,444	19,855
2032	78.828.877,753	398.532,530	167.383,662	20,113
2033	79.868.951,567	403.790,796	169.592,134	20,379
2034	80.928.972,244	409.149,907	171.842,961	20,649
2035	82.004.335,167	414.586,584	174.126,365	20,924
<b>MÉDIA</b>				
<b>TOTAL</b>	1.494.667.613,964	<b>7.556.541,234</b>	<b>3.173.747,318</b>	

FONTE: OLIVEIRA; CARDOSO (2017).

Na Tabela 25 permite-se apontar que a energia disponível para abastecimento, acumulada no período de 2016 a 2035, é de aproximadamente  $3,17 \times 10^9$  kWh ou uma média anual de 158.687 MWh/ano. Ao considerar uma perda de 17,2% na rede de distribuição para a Região Sudeste (EPE, 2015) e um consumo residencial médio brasileiro de 150 kWh/mês (EPE, 2014a), é possível atender anualmente uma média de 72.996 residências.

Ao se considerar uma ocupação quatro habitantes por residência, seria possível atender aproximadamente 352.639 habitantes, o que corresponde a uma população

superior à da capital do Estado, Vitória, estimada em 349.099 habitantes para o ano de 2016 segundo dados do IBGE (2010).

Em seguida, a Tabela 26 exhibe os valores anuais estimados de kWh/t de RSU para o período estudado. Nota-se que a média para o período situa-se em 144,135 kWh/t de RSU. Este resultado assemelha-se com o estimado por Pecora e outros (2012), os quais calcularam 145 kWh/t de RSU gerados na cidade de São Paulo.

Tabela 26 - Geração de energia por tonelada de resíduos.

<b>Geração de energia por tonelada de resíduos</b>			
<b>Ano</b>	<b>RSU dispostos no ano anterior</b>	<b>MWh</b>	<b>kWh/t de RSU</b>
2016	995.425,682	156.862,432	157,5832677
2017	1.006.674,149	154.394,623	153,3710016
2018	1.017.922,615	152.680,028	149,9917827
2019	1.029.171,082	151.611,575	147,3142585
2020	1.040.419,548	151.096,661	145,2266651
2021	1.051.668,015	151.055,202	143,6339228
2022	1.062.916,481	151.417,947	142,4551695
2023	1.074.164,947	152.125,026	141,6216631
2024	1.085.413,414	153.124,695	141,0749981
2025	1.096.661,880	154.372,252	140,765586
2026	1.107.910,347	155.829,099	140,6513621
2027	1.119.158,813	157.461,932	140,6966819
2028	1.130.407,280	159.242,034	140,8713805
2029	1.141.655,746	161.144,674	141,1499693
2030	1.152.904,212	163.148,571	141,5109506
2031	1.164.152,679	165.235,444	141,9362312
2032	1.174.941,338	167.383,662	142,4612933
2033	1.186.649,612	169.592,134	142,916774
2034	1.197.898,078	171.842,961	143,4537414
2035	1.209.146,545	174.126,365	144,0076606
<b>TOTAL:</b>	<b>22.045.262,462</b>	<b>3.173.747,318</b>	<b>-</b>
<b>MÉDIA:</b>	<b>1.102.263,123</b>	<b>158.687,366</b>	<b>144,135</b>

FONTE: OLIVEIRA; CARDOSO (2017).

## 7.1.3.3 Gerações regionais de metano e energia elétrica

Embasado na estimativa de geração regional de RSU, conforme distribuição definida pelo *Espírito Santo Sem Lixão*, na Tabela 20, as estimativas de potencial de geração de metano e de energia elétrica foram calculadas para as regiões que compõem tal programa, considerados os parâmetros definidos para o cenário 3. Os resultados potenciais são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 - Metano/ano e energia/ano para as Regiões do Espírito Santo Sem Lixão.

(Continua)

Ano	Região 1 CONORTE Reg. Norte (São Mateus)			Região 2 CONDOESTE Região Doce Oeste (Colatina)			Região 3 Região Doce Leste (Aracruz)		
	Geração regional de metano	Potencial de geração de energia elétrica	Potência instalada	Geração regional de metano	Potencial de geração de energia elétrica	Potência instalada	Geração regional de metano	Potencial de geração de energia elétrica	Potência instalada
	(m³/ano)	(MWh/ano)	(KW)	(m³/ano)	(MWh/ano)	(KW)	(m³/ano)	(MWh/ano)	(KW)
2016	605.076,37	1.284,81	154,39	507.573,85	1.077,77	129,51	514.621,24	1.092,74	131,31
2017	1.170.130,78	2.484,63	298,56	979.955,68	2.080,82	250,04	999.300,99	2.121,90	254,97
2018	1.698.158,91	3.605,84	433,29	1.419.779,63	3.014,73	362,26	1.456.280,37	3.092,24	371,57
2019	2.191.932,19	4.654,30	559,28	1.829.482,68	3.884,69	466,80	1.887.632,79	4.008,16	481,63
2020	2.654.014,62	5.635,48	677,18	2.211.319,40	4.695,47	564,22	2.295.276,43	4.873,74	585,65
2021	3.086.778,27	6.554,40	787,60	2.567.375,59	5.451,51	655,07	2.680.985,90	5.692,75	684,06
2022	3.492.417,67	7.415,73	891,10	2.899.580,95	6.156,91	739,84	3.046.403,00	6.468,67	777,30
2023	3.872.963,09	8.223,77	988,20	3.209.720,72	6.815,46	818,97	3.393.046,62	7.204,73	865,74
2024	4.230.292,82	8.982,52	1.079,37	3.499.446,52	7.430,65	892,89	3.722.321,96	7.903,90	949,76
2025	4.566.144,58	9.695,66	1.165,06	3.770.286,36	8.005,75	962,00	4.035.529,05	8.568,96	1.029,68
2026	4.882.125,99	10.366,61	1.245,69	4.023.653,85	8.543,75	1.026,65	4.333.870,60	9.202,45	1.105,80
2027	5.179.724,38	10.998,52	1.321,62	4.260.856,81	9.047,42	1.087,17	4.618.459,32	9.806,74	1.178,41
2028	5.460.315,71	11.594,33	1.393,21	4.483.105,16	9.519,34	1.143,88	4.890.324,60	10.384,02	1.247,78
2029	5.725.172,97	12.156,72	1.460,79	4.691.518,27	9.961,88	1.197,05	5.150.418,81	10.936,30	1.314,14
2030	5.975.473,87	12.688,20	1.524,66	4.887.131,71	10.377,24	1.246,96	5.399.623,01	11.465,45	1.377,73
2031	6.212.307,97	13.191,09	1.585,09	5.070.903,55	10.767,46	1.293,85	5.638.752,33	11.973,21	1.438,74
2032	6.436.683,25	13.667,52	1.642,34	5.240.919,96	11.128,46	1.337,23	5.868.560,89	12.461,18	1.497,38
2033	6.649.532,27	14.119,48	1.696,65	5.403.810,88	11.474,34	1.378,80	6.089.746,33	12.930,85	1.553,81
2034	6.851.717,77	14.548,80	1.748,23	5.557.309,50	11.800,28	1.417,96	6.302.954,11	13.383,57	1.608,22
2035	7.044.037,93	14.957,17	1.797,30	5.702.118,83	12.107,77	1.454,91	6.508.781,37	13.820,62	1.660,73
<b>TOTAL</b>	<b>87.985.001,42</b>	<b>186.825,59</b>		<b>72.215.849,89</b>	<b>153.341,69</b>		<b>78.832.889,71</b>	<b>167.392,18</b>	

Tabela 27 - Metano/ano e energia/ano para as Regiões do Espírito Santo Sem Lixão.

(Conclusão)

Ano	Região 4 Região Metropolitana			Região 5 CONLISUL Região Litoral Sul (Itapemirim)			Região 6 CONSUL Região Sul Serrana (Cachoeiro de Itapemirim)		
	Geração regional de metano	Potencial de geração de energia elétrica	Potência instalada	Geração regional de metano	Potencial de geração de energia elétrica	Potência instalada	Geração regional de metano	Potencial de geração de energia elétrica	Potência instalada
	(m³/ano)	(MWh/ano)	(KW)	(m³/ano)	(MWh/ano)	(KW)	(m³/ano)	(MWh/ano)	(KW)
2016	3.402.376,36	7.224,54	868,13	473.631,96	1.005,70	120,85	558.732,85	1.186,40	142,56
2017	6.593.620,67	14.000,76	1.682,38	916.648,51	1.946,39	233,89	1.079.125,27	2.291,39	275,34
2018	9.589.536,29	20.362,23	2.446,80	1.331.341,21	2.826,94	339,70	1.564.047,07	3.321,07	399,07
2019	12.404.743,69	26.339,98	3.165,10	1.719.830,13	3.651,85	438,82	2.016.153,23	4.281,06	514,43
2020	15.052.768,97	31.962,75	3.840,75	2.084.076,64	4.425,29	531,76	2.437.900,03	5.176,59	622,04
2021	17.546.125,82	37.257,09	4.476,94	2.425.895,29	5.151,10	618,97	2.831.559,89	6.012,48	722,48
2022	19.896.391,24	42.247,60	5.076,62	2.746.964,81	5.832,85	700,90	3.199.235,12	6.793,19	816,29
2023	22.114.275,72	46.957,01	5.642,52	3.048.838,31	6.473,84	777,92	3.542.870,69	7.522,86	903,97
2024	24.209.688,03	51.406,37	6.177,17	3.332.952,60	7.077,12	850,41	3.864.265,99	8.205,31	985,98
2025	26.191.795,30	55.615,13	6.682,90	3.600.636,97	7.645,52	918,71	4.165.085,70	8.844,06	1.062,73
2026	28.069.078,47	59.601,32	7.161,90	3.853.121,22	8.181,64	983,13	4.446.869,93	9.442,39	1.134,63
2027	29.849.383,68	63.381,58	7.616,15	4.091.543,07	8.687,90	1.043,97	4.711.043,49	10.003,34	1.202,04
2028	31.539.969,78	66.971,34	8.047,51	4.316.955,12	9.166,54	1.101,48	4.958.924,55	10.529,68	1.265,28
2029	33.147.552,31	70.384,85	8.457,68	4.530.331,14	9.619,61	1.155,93	5.191.732,60	11.024,02	1.324,68
2030	34.678.344,12	73.635,30	8.848,27	4.732.572,05	10.049,05	1.207,53	5.410.595,89	11.488,75	1.380,53
2031	36.138.093,04	76.734,90	9.220,73	4.924.511,31	10.456,61	1.256,50	5.616.558,17	11.926,09	1.433,08
2032	37.532.116,68	79.694,95	9.576,42	5.106.920,01	10.843,93	1.303,04	5.810.585,10	12.338,08	1.482,59
2033	38.865.334,61	82.525,87	9.916,59	5.280.511,51	11.212,53	1.347,34	5.993.570,04	12.726,63	1.529,28
2034	40.142.298,16	85.237,35	10.242,41	5.445.945,79	11.563,81	1.389,55	6.166.339,49	13.093,48	1.573,36
2035	41.367.218,02	87.838,32	10.554,95	5.603.833,42	11.899,07	1.429,83	6.329.658,09	13.440,27	1.615,03
<b>TOTAL</b>	<b>508.330.710,95</b>	<b>1.079.379,27</b>		<b>69.567.061,06</b>	<b>147.717,31</b>		<b>79.894.853,20</b>	<b>169.647,13</b>	

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA; CARDOSO (2017).

Nota: Coluna verde indica comercialização por Minigeração Distribuída conforme Resolução ANEEL nº687/2015; Coluna azul indica comercialização por Produtor Independente de Energia (PIE) ou Autoprodução (APE) conforme Decreto ANEEL nº 2.003/1996.

Na Tabela 28 destaca-se a Região 4, correspondente à Região Metropolitana<sup>61</sup>, por absorver o potencial mais elevado de geração de metano (508.330.710,95 m³/ano) e, conseqüentemente, maior potencial de geração de energia elétrica (1.079.379,27 MWh/ano). Tal situação associa-se ao fato desta região abarcar os municípios que

<sup>61</sup> Os municípios inseridos nesta divisão são: Cariacica, Domingos Martins, Marechal Floriano, Santa Leopoldina, Santa Maria De Jetibá, Serra, Viana, Vila Velha e Vitória (Ver Figura 32 e Quadro 15).



possuem maior concentração populacional e maior geração de RSU. Nota-se que até o ano 2022 a estimativa referente à potência instalada de energia elétrica indica a possibilidade de uma central geradora de Minigeração Distribuída (até 5MW) conforme Resolução Normativa ANEEL nº687/2015. Nos anos seguintes, devido ao elevado crescimento da geração regional de metano, a potência instalada de energia elétrica (selecionada na cor azul) aponta possibilidades de comercialização fora da Resolução Normativa ANEEL nº687/2015, porém com possibilidades de comercialização na categoria PIE e PAE.

Em ordem decrescente de potenciais, apresentam-se as regiões 1 (Conorte), 6 (Consul), 3 (Doce Leste), 2 (Condoeste) e 5 (Conlisul)<sup>62</sup>. Esta última, correspondente à região Litoral Sul, apresenta menor concentração populacional e obviamente menor geração de RSU. Todavia, todas essas regiões possuem potenciais que podem ser aproveitados por uma usina de Minigeração Distribuída de energia elétrica, conforme Resolução Normativa ANEEL nº687/2015.

Observa-se ainda que, o menor valor da Tabela 27, 1.005,70 MWh, referente ao potencial de geração de energia elétrica da Região 5 para o ano de 2016, é um valor interessante, uma vez que corresponde a 83.808,33 kWh/mês, suficientes para abastecer 558 residências, se considerado um consumo residencial de 150kWh/mês.

Como indicam os resultados, ao considerar a totalidade das seis Regiões e a hipótese de todos os resíduos destinados seguirem para um único aterro para atender uma única central geradora de energia elétrica, o Espírito Santo dispondia de um total de energia acumulada no período de 2016 a 2035 de aproximadamente  $3,17 \times 10^9$  kWh ou uma média anual de 158.687 MWh/ano, poderia abastecer anualmente cerca de 88.160 residências, se considerar o consumo residencial brasileiro na faixa de 150 kWh/mês como sugerido pela EPE (2014a).

Se a potência da usina se mantiver até 30.000 kW, será possível obter benefícios de redução não inferior a 50% nas tarifas de uso dos sistemas elétricos (TUST e TUSD), conforme disposto no artigo 26, parágrafo primeiro da Lei nº9.427/1996. Desta forma, será possível comercializar energia elétrica de forma direta com um

---

<sup>62</sup> Os municípios de cada região mencionada podem ser verificados na Figura 32 e Quadro 15.

consumidor de carga maior ou igual a 500 kW, conforme disposto no artigo 26, parágrafo quinto, da mesma Lei referida.

No aspecto relativo à capacidade das UTEs que já operam no Brasil, a pesquisa identificou que 80% das UTEs possuem capacidade instalada de até 5 kW enquanto 20% possuem capacidade acima de 5kW até o limite de 30 kW. Esse resultado indica que a maior parte das usinas que operam com Biogás de RSU no Brasil é de pequeno porte, o que confere com a realidade constatada para o Espírito Santo até o ano de 2022.

## 7.2 RESULTADOS DA FASE REGULATÓRIA

Os resultados regulatórios abordam aspectos qualitativos que foram empregados com o intuito de indicar viabilidade regulatória na inserção do biogás de RSU no mercado de energia elétrica e gás natural no Brasil e no Espírito Santo. Para tanto, o arcabouço regulatório que abarca o tema, assim como artigos, livros e teses sobre o assunto foram analisados, além da aplicação de entrevistas com representantes do setor energético.

Constatou-se que existem formas variadas para a utilização da energia gerada a partir do biogás de RSU, mas esta pesquisa concentrou-se na utilização para energia elétrica e gás natural (biometano). E para ambas finalidades, tanto para energia elétrica como gás natural, existe um mercado em que operam diversos atores, sob influência de regulação específica – ANEEL e ANP no Brasil e ARSP no Espírito Santo. Desta forma, algumas possibilidades regulatórias aplicadas aos RSU no Brasil foram selecionadas e resumidas no Quadro 18 e no Espírito Santo, no Quadro 19.

Quadro 18 – Arcabouço legal para o uso energético a partir de RSU no Brasil

ARCABOUÇO LEGAL		DESCRIÇÃO
LEIS	Lei nº 9.427/1996	Cria ANEEL, regulamentada pelo Decreto nº 2.335/1997.
	Lei nº 9.478/1997	Cria ANP, regulamentada pelo Decreto nº 2.455/1998.
	Lei nº 10.848/2004	Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica.
	Lei nº 12.305/2010	Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
	Lei nº 11.488/2007	O "REIDI" (Regime especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura), exonera o pagamento de PIS/COFINS na importação de maquinário para geração de energia renovável.
	Lei nº 11.196/2005	A "Lei do Bem", cria a concessão de incentivos fiscais às pessoas jurídicas que realizarem pesquisa e desenvolvimento de inovação tecnológica.
DECRETOS	Decreto nº 7.404/2010	Regulamenta a Lei nº 12.305/2010.
	Decreto nº 5.163/2004	Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica.
	Decreto nº 2.003/1996	Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor.
NOTAS TÉCNICAS	NT EPE nº 13/14/2014	Compõem os estudos do Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050).
	NT EPE nº 16/2014	Apresenta a análise e identificação dos potenciais econômicos, dos custos das energias e mercados competitivos dos RSU.
	NT EPE nº 18/2014	Analisa as principais questões da disponibilidade e caracterização dos RSU, as condições técnicas para aproveitamento energético e mapeamento do potencial de aproveitamento energético destes.
	NT ANEEL nº 0043/2010	Apresenta os principais instrumentos regulatórios utilizados no Brasil e outros países para a geração distribuída de pequeno porte, a partir de fontes renováveis de energia.
	NT ANP nº 132/2013/SBQ-RJ	Estas Notas Técnicas têm por objetivo consolidar as informações obtidas pelo Grupo de Trabalho (GT) sobre a regulamentação do biometano.
	NT ANP nº 157/2014/SBQ/RJ	
RESOLUÇÕES ANEEL <sup>1</sup>	R ANEEL nº 247/2006	Estabelece as condições para a comercialização de energia elétrica, oriunda de empreendimentos de geração que utilizem fontes primárias incentivadas, com unidade ou conjunto de unidades consumidoras cuja carga seja maior ou igual a 500 kW e dá outras providências.
	R ANEEL nº 271/2007	Estabelece procedimentos com redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência injetada seja menor ou igual a 30.000 Kw.
	R ANEEL nº 376/2009	Estabelece as condições para contratação de energia elétrica, no âmbito do Sistema Interligado Nacional – SIN, por Consumidor Livre.
	R ANEEL nº 390/2009	Estabelece os requisitos necessários à outorga de autorização para 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.
	R ANEEL nº 482/2012	Estabelece 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 outras providências.
	R ANEEL nº 687/2015	Altera a Resolução Normativa nº 482/2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.
RESOLUÇÕES ANP <sup>2</sup>	R ANP nº 8/2015	Resolução que estabelece a especificação do biometano, orienta sobre a aplicação e uso do biometano oriundo de produtos e resíduos orgânicos agrossilvopastoris e comerciais destinado ao uso veicular (GNV) e às instalações residenciais e comerciais.
	R ANP nº 21/2016	Resolução que estabelece regras para os agentes envolvidos no uso de combustível experimental e suas misturas com combustíveis ou biocombustíveis especificados.
PORTARIAS	Portaria MME nº 44/2015	Trata da contratação de geração própria de unidade consumidora.

Fonte: Elaboração própria.

Notas: (1) Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); (2) Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Cabe ressaltar que tais possibilidades não se esgotam nesta seleção, uma vez que o aproveitamento energético a partir da fonte RSU é uma atividade relativamente recente e, portanto, inserida num mercado em constante modificação.

No caso do Espírito Santo, as possibilidades regulatórias aplicadas aos RSU e à geração de energia em esfera estadual estão resumidas no Quadro 19.

Quadro 19 - Legislação Estadual do Espírito Santo aplicada aos RSU *versus* Energia

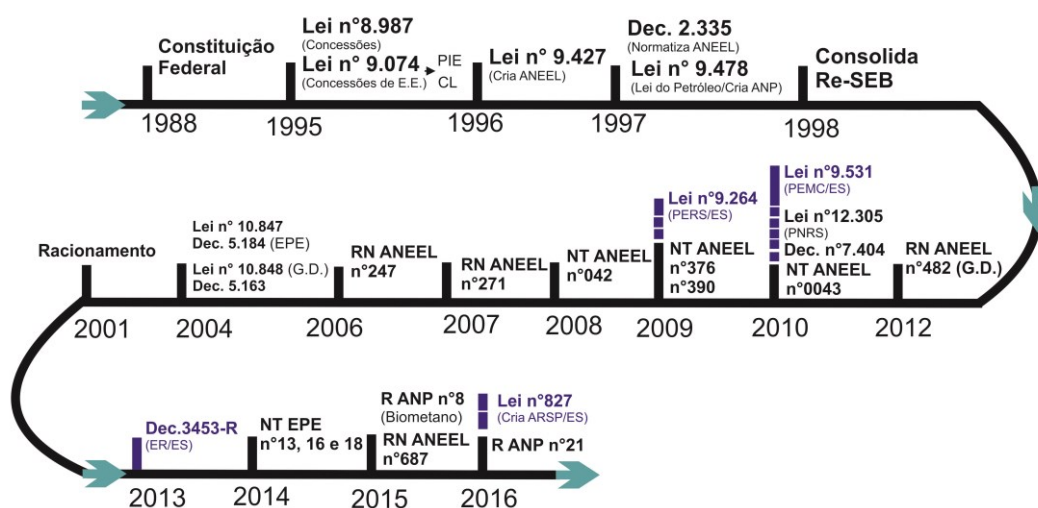
Legislação	Fundamentação
Lei nº 9.264/2009	Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências correlatas.
Lei nº 9.531/2010	Institui a Política Estadual de Mudanças Climáticas - PEMC
Lei nº 827/2016	Cria a Agência de Regulação de Serviços Públicos (ARSP) por Lei Complementar em 1º de julho 2016.
Decreto nº 3453-R/2013	Dispõe sobre a política estadual de incentivo as energias renováveis - eólica, solar e da biomassa e outras fontes renováveis.

Fonte: Elaboração própria.

Apesar da importância da Política Estadual de Resíduos Sólidos e da Política Estadual de Mudanças Climáticas, neste estudo destacou-se o Decreto nº 3.453-R/2013, uma vez que está em conformidade com tais políticas e diretamente relacionado ao objeto de estudo.

Do ponto de vista regulatório, os marcos legais selecionados para o biogás de RSU estão expostos na Figura 38, a qual representa a linha do tempo deste energético em âmbito federal e estadual, com destaque para o Estado do Espírito Santo.

Figura 38 – Marcos regulatórios para o biogás de RSU



Fonte: Elaboração própria.

Notas: Cor azul indica marcos do ES. PIE (Produtor Independente de Energia); CL (Consumidor Livre); Re-SEB (Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro); EPE (Empresa de Pesquisa Energética); G.D. (Geração Distribuída); R (Resolução); RN (Resolução Normativa); NT (Nota Técnica).

Ao selecionar o biogás de resíduos como objeto de estudo regulatório para verificar a viabilização deste no mercado de energia, fez-se necessário estudar os setores de saneamento, energia elétrica e gás natural, respectivamente apresentados na revisão bibliográfica, uma vez que estes setores estão associados ao biogás de resíduos. A literatura verificada até então permitiu observar que esses setores estão diretamente relacionados com o desenvolvimento econômico do país e bem estar social e, sendo assim, estão configurados como serviços públicos. De forma geral pode-se dizer que alguns segmentos desses setores estão configurados como indústria de rede, em situação de monopólio ou em outras partes como concorrenciais. Todos esses setores sofreram importantes mudanças nos últimos anos. Tais modificações foram específicas para permitir a concorrência, a redução de custos, a redução de preços, a ampliação e universalização do serviço, bem como a implantação de melhorias do serviço no que concerne à qualidade, preço e quantidade. Para tal, a regulação dos setores estudados foi pertinente para se compreender a entrada do biogás e biometano no Brasil. Assim, cabe apresentar a viabilidade regulatória deste energético no mercado de energia no Brasil.

### **7.2.1 Viabilidade regulatória de comercialização do biogás de RSU**

Na revisão do capítulo 5, na seção 5.3.1, tratou-se das principais formas de regulação econômica, quais sejam: regulação por preço, quantidade, controle de entrada e saída de agentes no mercado e qualidade. Sendo assim, a análise de viabilidade regulatória permeia essas questões de modo a identificar possibilidades de comercialização do biogás de RSU no arcabouço regulatório pesquisado.

#### **7.2.1.1 Aproveitamento do biogás de RSU para geração de energia elétrica**

No setor energético, percebeu-se que o biogás proveniente de resíduos não é algo tão recente. Conforme mencionado na seção 4.1, o biogás foi integrante do

movimento chamado “Revolução Verde”, mas devido a diversos fatores como preços não competitivos, estrutura física de maquinários e desconhecimento técnico, o biogás foi preterido. Sua relevância só foi retomada a partir dos anos 2000, quando finalmente passou a ser visto como um combustível utilizável para geração de energia.

Assim, para a geração de energia elétrica, identificou-se que as possibilidades de comercialização do biogás de RSU no mercado de energia elétrica podem ocorrer de quatro formas: 1) Venda no mercado livre 2) autoprodução e/ou produção independente 3) Venda como gerador distribuído 4) Leilões. A descrição e a regulação dessas possibilidades são apresentadas no Quadro 20.

Quadro 20 – Possibilidades de aproveitamento do biogás de RSU para geração de energia elétrica

	FORMAS	DESCRIÇÃO	REGULAÇÃO
1	<b>VENDA NO MERCADO LIVRE</b>	Comercialização por meio de contratos bilaterais entre as partes envolvidas no ACL.	RN ANEEL 271/2007: ► Quantidade: permite o estabelecimento de contratos bilaterais com consumidores cuja demanda esteja entre 0,5 e 3 MW (considerado como “especiais” ou “livres” quando acima deste valor). ► Preço: Desconto (art.3º): direito a 100% de redução, a ser aplicado às tarifas TUSD e TUST, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada. ► Condicionante (inciso IV): utilizar como insumo energético, no mínimo, 50% de biomassa composta de resíduos sólidos urbanos e/ou de biogás de aterro sanitário.
2	<b>AUTOPRODUÇÃO E PRODUÇÃO INDEPENDENTE</b>	Comercialização por meio das figuras APE ou PIE	Decreto ANEEL nº 2.003/1996: ► APE: uso próprio e exclusivo. ► PIE: produção para comercializar por sua conta e risco próprio no ambiente regulado (leilões) ou livre (consumidores especiais e/ou livres). ► Preço: APE - possui ressarcimento do custo de transporte. PIE - deve pagar os custos de transporte. ► Quantidade (p/ambos): usina termelétrica maior que 5MW pedir autorização da ANEEL; usina termelétrica menor que 5MW apenas comunicar à ANEEL.
3	<b>GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E COMPENSAÇÃO</b>	Acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição e compensação de energia elétrica para unidades até 5MW.	RN ANEEL nº 482/2012 e RN ANEEL nº 687/2015. Quantidade: ► Microgeração Distribuída: central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW (com fonte alternativa). ► Minigeração Distribuída: central geradora de energia elétrica com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW (com fonte alternativa).
4	<b>LEILÕES</b>	Realizados pela CCEE por delegação da ANEEL. Nesse processos agentes garantem atendimento à totalidade de seu mercado no ACR.	Decreto ANEEL nº 5.163/2004 Controle de entrada: ► Como gerador distribuído: pode comercializar energia diretamente com distribuidoras por meio dos <b>leilões anuais de ajuste (LA)</b> . ► Como gerador de energia renovável: pode comercializar energia em leilões específicos de compra de energia proveniente de <b>fontes alternativas (LFA)</b> . ► Preço: limitado ao Valor de Referência (VR) do último leilão.

Fonte: Elaboração própria.

No contexto regulatório do setor elétrico, constatou-se que as possibilidades de obtenção de receita com o biogás para geração de energia elétrica na modalidade

integrada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) podem ocorrer tanto no Ambiente de Comercialização Livre (ACL) como no Ambiente de Comercialização Regulada (ACR).

No ACL, um dos desafios da regulação pelo preço é fazer com que este seja atraente e menor do que o praticado no ACR. Nesse sentido, conforme resumo do Quadro 19, a Resolução Normativa ANEEL nº 271/2007 permite a venda no mercado livre com formalização de contratos bilaterais com consumidores especiais (entre 0,5 e 3MW) e livres (acima de 3MW) mediante a condição da usina comprovar a utilização de insumo energético composto de pelo menos 50% de biomassa de RSU e/ou biogás de aterro. Desta forma, a usina tem o direito de obter 100% de redução nas tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, a incidir sobre a produção e o consumo da energia comercializada. Como essa redução é também aplicada a empreendimentos caracterizados como pequena central termelétrica de base biomassa, cuja potência injetada nos sistemas seja de até 30.000 kW (regulação pela quantidade), aplica-se a todas as macroregiões delimitadas pelo programa *Espírito Santo sem Lixão*, na hipótese da existência de uma usina em cada um desses locais. Cabe ressaltar que a proximidade da fonte consumidora pode ser determinante para a viabilidade do projeto, uma vez que a distância de tais centros de consumo implica na elevação de custos para implantação do projeto.

Na pesquisa realizada junto às UTEs, questionou-se sobre os objetivos para produção de energia (qual seria o objetivo principal de sua atividade). Constatou-se que 100% produz energia elétrica para venda no mercado livre, conforme exposto na Tabela 28.

**Tabela 28 – Objetivos da produção de energia nas UTEs de RSU**

<b>Principais objetivos</b>		
Realizar injeção na rede de energia elétrica	2	40%
Realizar venda de energia elétrica no mercado livre	5	100%
Realizar venda de energia elétrica no mercado regulado	1	20%
Realizar autoconsumo de energia elétrica	1	20%
Realizar venda de CER's (Certificado de Emissões Reduzidas)	1	20%
Realizar abastecimento de grandes e médias empresas interligadas ao SIN	0	0%
Outros	0	0%
<b>Total de UTEs *</b>	<b>5</b>	<b>100%</b>

Fonte: Elaboração própria.

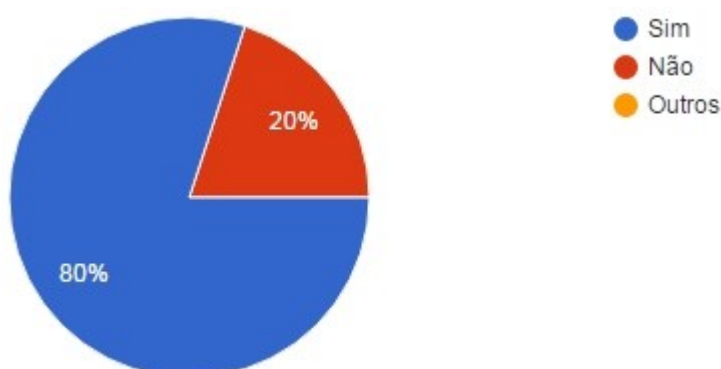
\* Totais de UTEs que responderam o questionário.



A venda de energia elétrica no mercado livre permite maior flexibilidade de comercialização porque ocorre por meio de contratos bilaterais entre as partes envolvidas. Esta opção é vantajosa para as usinas porque permite descontos de TUST e TUSD que incidem diretamente sobre a produção e consumo da energia comercializada, o que pode justificar o maior interesse das UTEs por esta forma de comercialização.

As UTEs também foram questionadas sobre ser beneficiada com algum tipo de incentivo para a produção de energia com o biogás de RSU. Nesse quesito, 80% responderam positivamente, conforme visualizado na Figura 39.

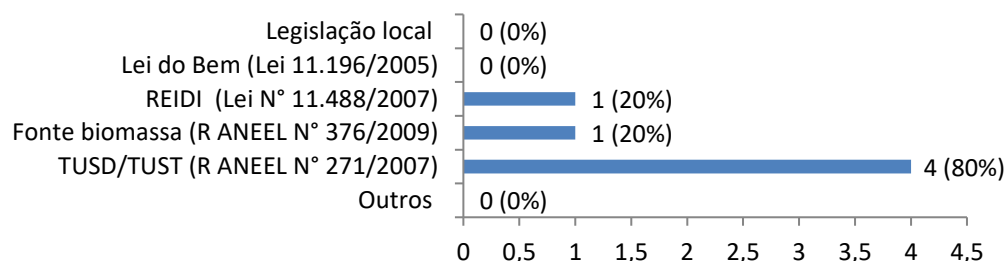
Figura 39 – UTEs de RSU beneficiadas com incentivo



Fonte: Elaboração própria.

A questão seguinte buscou identificar qual seria o tipo de incentivo ou benefício financeiro, em caso de resposta positiva. Os resultados indicaram que pelo menos 80% das usinas são beneficiadas pela redução das tarifas TUST/TUSD (Resolução ANEEL n° 271/2007), conforme apresentado no Gráfico 5. Dentro deste percentual (80%), além deste benefício, uma UTE respondeu que também foi beneficiada pelo Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI) e pela comercialização com fonte incentivada, neste caso pelo uso da biomassa de RSU (Resolução ANEEL n° 376/2009). Uma UTE respondeu não possuir nenhum desses benefícios mencionados. Esses resultados podem ser visualizados no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Incentivos utilizados pelas UTEs de RSU



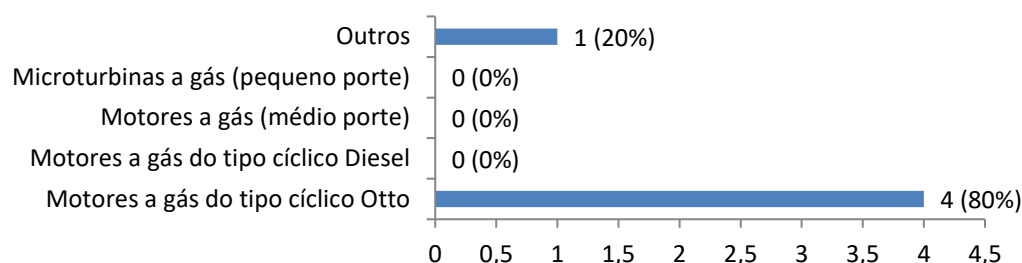
Fonte: Elaboração própria.

Cabe ressaltar que o REIDI é um importante incentivo fiscal concedido por meio da Lei nº 11.488/2007, que talvez justifique o surgimento recente das usinas que operam com o biogás de RSU no Brasil. Este incentivo exonera o pagamento de PIS/COFINS na importação de máquinas para geração de energia renovável. É um incentivo interessante, uma vez que uma das maiores dificuldades para a implantação de empreendimentos desse tipo é o alto investimento em maquinário. No entanto, esse benefício só é concedido inicialmente, antes de a usina entrar em operação.

Por outro lado, no ACR, a regulação pela quantidade aponta que o biogás de RSU precisa alcançar elevado volume de produção para concorrer com outros segmentos em leilões, como o segmento de cana-de-açúcar por exemplo. A Nota Técnica EPE DEA nº 16/2014 indica inviabilidade da participação do biogás de RSU em leilões. Embora os resultados obtidos neste estudo, quando comparados com os praticados nos leilões do setor elétrico (R\$125/MWh – preço médio do 1º leilão A-5 de 2013), tenham demonstrado inviabilidade de disputa nesta seara, a disponibilidade de financiamentos e redução de custos, seja por políticas de incentivos, seja por readequação dos valores dos equipamentos e tecnologia, podem melhorar a competitividade dos projetos.

Relativo à tecnologia, na pesquisa realizada com as UTEs, 80% responderam utilizar motores a gás do tipo ciclo Otto, conforme verificado no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Tipo de tecnologia utilizada para conversão do biogás nas UTEs de RSU



Fonte: Elaboração própria.

Nota: Em outros a usina respondeu utilizar “Motores à biogás GE Jenbacher J 420”.

O resultado apresentado no Gráfico 6 representa conformidade com a revisão bibliográfica apresentada, uma vez que indicou ser a opção mais adotada devido ao baixo custo, facilidade de operação e manutenção e melhor eficiência segundo mencionado por Pavan (2010) e Mendes (2005).

Ainda no ACR, também é possível o estabelecimento de contratos com as distribuidoras de energia por meio da GD (Geração Distribuída). Neste caso, a comercialização direta com as distribuidoras ocorre com os leilões anuais de ajuste, cuja contratação poderá durar até dois anos com possibilidade de repasse integral de preços às tarifas, limitados ao Valor de Referência (VR) do último leilão de energia ocorrido, em conformidade com o Decreto nº5.163/2004.

Ainda neste ambiente, um possível desafio inerente à regulação pelo preço seria o VR, ou seja, o limite a ser pago pelas distribuidoras de energia elétrica, que dependendo do valor, pode inviabilizar alguns projetos. Tal situação está mais associada à questão econômica e, por isso, nesse quesito cabe reforçar a necessidade de estudos de viabilidade, não contemplados nesta pesquisa.

Como produção de energia a partir de fonte renovável, é possível ainda a comercialização no ACR por meio dos leilões específicos de compra de energia proveniente de fontes alternativas, com contratação por período de dez a 30 anos e possibilidade de repasse de preços das tarifas de forma integral, conforme Decreto nº5.163/2004, já mencionado.

Outra possibilidade apresentada no setor de energia elétrica foi a alternativa de produção para autoconsumo, bem como uma opção complementar ao sistema de compensação de energia conhecido como *net metering* de geração distribuída, conforme apresentado na Resolução ANEEL nº 482/2015 e na Resolução ANEEL nº 687/2015. É importante enfatizar que este sistema não é caracterizado como uma forma de comercialização, uma vez que não existe venda de mercadoria, tampouco um valor financeiro agregado à energia injetada, e sim um balanço de energia em kWh que corresponde a uma troca de energia. Conforme apresentado na revisão, neste sistema a rede funciona como uma bateria que possibilita uma conta mensal resumida no cálculo sobre a diferença entre consumo e geração. Este sistema pode beneficiar indústrias e comércios de grande porte (shoppings, agências, etc.), que possuem várias unidades consumidoras, por exemplo, as quais enquadram-se na categoria de consumidores livres ou especiais.

Porém, o desafio desta alternativa é que ainda existem algumas dificuldades relativas à tributação, impostos, dúvidas sobre perdas de energia e contratos realizados com as distribuidoras, além dos elevados custos de instalação de medidores e demais dispositivos para controle da energia. Nesse cenário, o Espírito Santo está envolvido em recentes discussões relativas a não aderência ao convênio ICMS 16/2015 do CONFAZ. Relativo a este assunto, coube tratá-lo com mais ênfase na sequência, já que a região é objeto deste estudo.

#### 7.2.1.2 Possibilidades de comercialização de energia elétrica no Espírito Santo

Embora em Nota Técnica ASPE DT nº 015/2015 a agência reguladora local<sup>63</sup> indique a importância da adesão do Espírito Santo ao Convênio ICMS nº 16/2015 do CONFAZ, o Estado continua de fora. Com a adesão, considera-se representar a isenção do ICMS em parte da energia (injetada e utilizada posteriormente) dos microgeradores, o que poderia representar maior incentivo para o crescimento deste mercado no local, uma vez que já é um sistema consolidado em vários países como,

---

<sup>63</sup> Necessário reforçar que a ASPE tornou-se ARSP (Agência de Regulação de Serviços Públicos do Espírito Santo), criada recentemente pela Lei Complementar nº 827/2016.

por exemplo, na Alemanha, mas somente permitido no Brasil a partir de 2012 (ASPE, 2015).

A Nota Técnica acrescenta ainda que a isenção do ICMS sobre a energia injetada é recomendada por um período de cinco anos a partir da adesão da unidade consumidora à microgeração. Com esta iniciativa o Estado poderia promover maior incentivo às energias renováveis, com perspectivas de atrair a cadeia produtiva de energia e novos serviços visando atender a demanda por equipamentos, tais como instalação e manutenção destes, além de promover o desenvolvimento da micro e minigeração no Estado do Espírito Santo (ASPE, 2015). Todavia, até o mês de janeiro de 2017, verifica-se que o Espírito Santo não faz parte desse contexto, o que pode reduzir a inserção de empreendimentos locais do tipo.

No caso do Espírito Santo, os limites de potência instalada da Resolução ANEEL 687/2015 (até 75 kW para Microgeração Distribuída e quando superior até 5kW para Minigeração Distribuída), se comparados com as escalas encontradas no resultado técnico deste trabalho referente às regiões do Programa *Espírito Santo sem Lixão*, apontam para aproveitamento deste energético por meio de centrais geradoras operando em condição de minigeração distribuída. A Região Metropolitana tende a modificar este enquadramento regulatório a partir do ano 2023, quando alcança escala suficiente para sair desta condição. Assim, poderá passar, por exemplo, para a condição de PIE com usina termelétrica superior a 5MW. Todavia, o acesso aos sistemas elétricos ocorre mediante pagamento dos custos de transporte, o que também revela a necessidade de estudos de viabilidade econômica para este fim e outros custos. Nesta condição, usinas termelétricas com potencial maior que 5MW precisam apenas de autorização (não onerosa) da ANEEL para operar, enquanto que usinas com potencial abaixo de 5MW devem somente comunicar à reguladora.

Nesse quesito, a comercialização por meio da Resolução Normativa da ANEEL n° 376/2009 permite a contratação de energia elétrica por consumidor livre. De acordo com a CCEE (2016), os consumidores livres possuem demanda igual ou superior a 3.000 kW e compram energia diretamente dos geradores ou comercializadores, por meio de contratos bilaterais em condições livremente negociadas (preço, prazo, volume, etc.). Já o consumidor especial precisa ter uma demanda contratada entre 500 kW e 3.000 kW e, ao migrar para o mercado livre, só poderá comprar energia de fontes incentivadas, proveniente de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), usinas a

biomassa, eólicas, solares ou a biogás. Como benefício, este consumidor terá 50% de desconto na TUSD, que em alguns casos, representa um valor significativo na tarifa.

Ainda no contexto de energia elétrica, porém saindo da modalidade integrada ao SIN (Sistema Interligado Nacional), cabe reforçar a opção de produzir eletricidade de forma isolada, adequada às condições locais. Nesse quesito, a biomassa de resíduos desempenha um papel essencial, já que desta forma é possível produzir energia de forma descentralizada e próxima de centros consumidores, beneficiando comunidades isoladas em locais onde antes não havia energia elétrica. Nesse aspecto existem diversos exemplos no Brasil, porém fogem do objeto de estudo desta pesquisa e por isso não foram enfatizados. Essa escolha é justificada porque o Espírito Santo faz parte do SIN, ou seja, não está caracterizado em sistemas isolados.

A conversão do biogás de aterro à eletricidade pode ser uma política de gestão atraente e viável em termos de economia de energia, com contribuição sanitária e ambiental. Assim, a produção de energia pode ser considerada não somente para cobrir as supostas unidades de consumos de biogás mas também para prover energia suficiente para a rede.

#### 7.2.1.3 Aproveitamento do biogás de RSU como gás natural

As possibilidades de comercialização do biogás de RSU no mercado de gás natural podem ocorrer de três formas: 1) Injeção na rede de gás (limitado ao uso experimental e industrial) 2) Uso dedicado 3) Autoprodução. A descrição e a regulação dessas possibilidades são apresentadas no Quadro 21.

Quadro 21 – Possibilidades de aproveitamento do biogás de RSU como gás natural

	FORMAS	DESCRIÇÃO	REGULAÇÃO
	INJEÇÃO NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL	Biogás de RSU não liberado para uso como gás natural pela ANP.	<p><i>Resolução ANP n° 8/2015</i></p> <p>► <i>Qualidade:</i> (art. 5°): O Biometano que atenda à especificação estabelecida no Regulamento Técnico, parte integrante desta Resolução, poderá ser misturado ao gás natural.</p> <p>► <i>Controle de entrada:</i> <b>§ 1° Não se aplica o disposto no caput ao Biometano oriundo de resíduos sólidos urbanos ou resíduos de esgotamento sanitário.</b></p>
		Biogás de RSU limitado ao uso experimental e industrial.	<p><i>Resolução ANP n° 21/2016</i></p> <p>► <i>Controle de entrada:</i> (art. 1°): Fica sujeita à autorização prévia da ANP a utilização de Combustíveis Experimentais em todo o território nacional.</p> <p>► <i>Quantidade:</i> (§ 1°) Fica dispensada a autorização de que trata o caput caso o consumo mensal por usuário seja inferior a 10 m<sup>3</sup> para combustíveis líquidos e 10.000 m<sup>3</sup> (a 20°C e 1 atm) para combustíveis gasosos.</p> <p>► <i>Controle de entrada:</i> (art. 5°) Fica <b>dispensada a autorização</b> de que trata o art. 1° <b>para utilização de biometano oriundo de resíduos sólidos urbanos</b> e de estação de tratamento de esgoto em Equipamentos de Uso Industrial.</p>
2	USO DEDICADO	Uso exclusivo para uma instituição.	<p>► Acordo direto com o consumidor. No caso do Espírito Santo tal uso deve obedecer ao disposto pela <b>RESOLUÇÃO ASPE N° 004/2011</b> para os seguintes consumidores:</p> <p>► <i>Quantidade:</i> (XVI) Consumidor cativo: o consumidor residencial e o consumidor de Gás Natural, cujo <b>consumo é inferior a 35.000 m<sup>3</sup>/dia</b> em um único endereço ou em um único Ponto de Entrega; (XVII) Consumidor livre: consumidor de Gás Natural, com volume de <b>consumo igual ou superior a 35.000 m<sup>3</sup>/dia</b> em um único Ponto de Entrega, que exerceu a opção de adquirir o Gás Natural de qualquer agente produtor, importador ou comercializador.</p>
3	AUTOPRODUTOR	Uso exclusivo para consumo próprio.	<p><b>RESOLUÇÃO ASPE N° 004/2011</b></p> <p>► <i>Controle de entrada:</i> (IV) Autoprodutor: sociedade ou consórcio explorador e produtor de Gás Natural, que utiliza parte ou a totalidade de sua produção como matéria-prima ou combustível em suas instalações;</p> <p><b>RESOLUÇÃO ANP n° 21/2016</b></p> <p>► Como combustível veicular ou em equipamentos residenciais e comerciais em frotas cativas deve obedecer ao disposto nesta resolução.</p>

Fonte: Elaboração própria.

Conforme explicitado na seção 5.7.2, considerando o uso do biogás como um biocombustível, a ANP permite sua utilização como combustível veicular, bem como sua mistura e injeção na rede de distribuição de gás natural. Para tal, por meio da regulação pela qualidade, elaborou-se a resolução que trata das suas especificações como biometano, conforme disposto pela Resolução ANP n° 8/2015.

Contudo, antes da aprovação desta resolução, era consenso entre os empresários e demais agentes do setor, que a Resolução ANP n° 16/2008 (trata das propriedades físico-químicas do gás natural) seria suficiente para legalizar a injeção do biometano na rede de distribuição de gás natural, assim como também regular o seu uso como combustível veicular. No entanto, isso não ocorreu e as especificações da regulamentação pela qualidade excluíram o biometano produzido em aterros sanitários devido à presença dos contaminantes, como já mencionado (ANP, 2013).

Art. 5° - O Biometano que atenda à especificação estabelecida no Regulamento Técnico, parte integrante desta Resolução, poderá ser misturado ao gás natural.

§ 1° Não se aplica o disposto no caput ao Biometano oriundo de resíduos sólidos urbanos ou resíduos de esgotamento sanitário (ANP, 2015).

Assim, caracteriza-se como um grande desafio atual o esclarecimento das possibilidades técnicas de remoção dos contaminantes contidos no biometano de RSU, além da busca e consenso por parâmetros de qualidade aplicáveis a esse combustível no Brasil. Nesse quesito, o país ainda depende de tecnologias estrangeiras.

Soma-se a esse cenário, a exigência da ANP quanto ao teor mínimo de metano contido no biometano, cuja porcentagem deve ser 96,5 % (para todas as regiões nacionais, exceto para a região Norte), o que eleva o padrão de qualidade do gás, mas que também demanda elevados investimentos para sua purificação, possível de causar inviabilidade financeira de projetos com o biogás de RSU.

Para o caso de injeção de biometano na rede de Gás Natural (GN), existe a necessidade de um exigente processo de purificação do biogás para retirada dos contaminantes (siloxano, sílica ou silicatos, cálcio, enxofre, zinco, fósforo, etc.), o que gera custos elevados do volume de gás fornecido. Soma-se a isso a variação da composição do biogás de RSU em certos períodos de tempo, ocasionando dificuldade no seu controle e padronização para atender exigências da ANP,



determinando restrições ao seu uso comercial, mas com permissão para o seu uso experimental e industrial, conforme mencionado.

Além disso, com relação à rede gasífera, cabe mencionar a limitada extensão da malha dutoviária no Brasil. Como grande parte da malha de dutos está concentrada na região litorânea, torna inacessível o uso desta fonte de combustível em grande parte do território nacional, especialmente nas áreas agrícolas, onde estão concentradas as gerações de biogás a partir de resíduos agrossilvopastoris já permitidas pela ANP. Além disso, cabe mencionar também que, relativo ao GNV, o país também não conta com uma extensa rede de abastecimento, o que dificulta a oferta. Uma das soluções para esta questão seria a produção de forma descentralizada, semelhante à área de energia elétrica, para autoconsumo ou para atendimento próximo a centros de consumo.

Na pesquisa realizada com as UTEs, quando questionadas sobre a produção de combustível veicular, 100% responderam não realizar esse tipo de aproveitamento. Esse resultado indica o maior interesse na produção elétrica. Tal escolha pode estar associada a decisões de viabilidade econômica, uma vez que a produção de combustível exige maiores investimentos para purificação do gás.

#### 7.2.1.4 Possibilidades de comercialização de gás no Espírito Santo

Para o Estado do Espírito Santo, na Tabela 24, apresentou-se a estimativa da geração de metano acumulada no período de 2016 a 2035 (1.494.667.613,96 m<sup>3</sup>/ano), que pode ser injetada em gasodutos ou comprimido para uso automotivo. Se visualizado somente o ano 2016, esse potencial chega a 205.205,37 m<sup>3</sup>/dia. Conforme identificado e resumido no Quadro 21, esse potencial possui possibilidade de inserção no mercado por meio de injeção na rede de gás para uso industrial, uso dedicado e autoprodução.

No caso do Espírito Santo, embora o Decreto nº 3453-R/2013 da ARSP permita a distribuidora comprar o biometano para ser inserido ao gás natural canalizado, ocorre a limitação para obedecer a regulamentação vigente da ANP. Assim, só é permitido o uso do biogás de RSU de forma industrial, que pode ocorrer por meio de

operações dedicadas, de forma independente das linhas principais de gás natural. No entanto, tal opção fica sujeita à verificação de um mercado consumidor para este energético nas proximidades de cada Região, assim como também a estudo de viabilidade econômica.

Segundo Resolução ASPE nº 004/2011, a venda para consumidor livre de gás natural deve possuir volume de consumo igual ou superior a 35.000 m<sup>3</sup>/dia em um único ponto de entrega. Nesse aspecto, a escala encontrada nesta pesquisa permite identificar a possibilidade de atendimento a pelo menos quatro consumidores livres, com uma margem de reserva para cobrir sazonalidades.

Como as opções mencionadas ainda estão sujeitas a determinadas dificuldades regulatórias, principalmente relativas às esferas de competências, além de questões referentes à padronização do gás natural, conforme já apresentado na revisão bibliográfica, uma opção interessante seria a produção para consumo próprio e abastecimento de frotas cativas, como os veículos que atendem o aterro.

Conforme apresentado no Quadro 21, a reguladora local, por meio da Resolução nº. 004/2011, considera como autoprodutor a sociedade ou consórcio explorador e produtor de gás natural que usa parte ou o total de sua produção como matéria-prima ou combustível em suas próprias instalações. Esta opção inclusive está sendo avaliada pela administração do aterro sanitário da Marca Ambiental, segundo informações de COELHO (2015)<sup>64</sup>.

---

<sup>64</sup> Esta forma de uso do biogás de RSU já ocorre no Rio de Janeiro. No ano de 2013, o aterro de Gramacho passou a ser o único fornecedor de biogás do mundo para uma refinaria de petróleo. O biogás que sai do aterro é conduzido até uma estação de tratamento para a retirada de impurezas, em seguida passa por um gasoduto de seis quilômetros de extensão até chegar na refinaria Duque de Caxias. O volume de biogás bombeado por dia equivale a 10% do consumo da refinaria (TRIGUEIRO, 2013, acesso em 28 jun. 2015).

## 8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Do ponto de vista de planejamento setorial relacionado à gestão dos RSU, a criação da PNRS por meio da Lei nº 12.305/2010 foi extremamente importante para gerar iniciativas no setor, resultando em leis estaduais que poderão contribuir para aumentar a participação dos RSU como fonte alternativa de energia renovável na matriz brasileira. Todavia, conforme pontuado por Galvão Jr, Monteiro e Melo (2013, p.15), embora considere-se a implementação de leis federais para disciplinar o saneamento básico e os resíduos sólidos, ainda “constata-se patente incipiência do modelo regulatório para essa componente do saneamento básico, carecendo da elaboração de instrumentos legais de regulação para a adequada prestação do serviço público”. Nesse contexto, torna-se evidente a necessidade de integração entre órgãos da esfera municipal, estadual e federal. Quanto a esta última esfera, a criação da PNRS revelou a necessidade de um olhar mais preciso para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos, especialmente para o biogás oriundo desta fonte.

De forma geral, apesar de incipiente e ainda carecer de regulação mais direcionada para o biogás de RSU, observa-se que já existe um movimento a favor de incentivar o uso desta fonte no Brasil. Nos setores de pesquisa é possível mencionar alguns projetos, tais como o Probiogás, desenvolvido pelo Ministério das Cidades em cooperação com a agência alemã de cooperação internacional para o desenvolvimento sustentável - *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ); o CIBiogás (Centro Internacional de Energias Renováveis-Biogás), instituição científica, tecnológica e de inovação em energias renováveis, com ênfase no biogás; o projeto Biogásfert, coordenado pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Além desses projetos, a comunidade acadêmica possui diversos grupos de pesquisa sobre o assunto vinculados ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ)<sup>65</sup>.

---

<sup>65</sup> UFPE - Geotecnia Ambiental aplicada à Aterro Sanitário (2012); PROCAD - Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) aplicado à aterros sanitários (2011); PRONEX - Redução dos Gases de Efeito Estufa Através do Aproveitamento do Biogás Proveniente de Aterros (2010); FAPERJ/FAPESP - Utilização do Hidrogênio Produzido por Reforma do Biogás Proveniente de Resíduos Urbanos para a Geração de Energia (2014); UFES - Caracterização dos compostos traços influentes no aproveitamento energético do biogás gerado em reator UASB no tratamento de esgoto doméstico (2013);

No âmbito regulatório, o biogás e o biometano foram inseridos no planejamento setorial da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), resultando na criação de regulações importantes como a Resolução Normativa ANEEL n° 482/2012, complementada pela Resolução Normativa ANEEL n° 687/2015, permitindo assim a abertura do Mercado Livre para a comercialização de energia elétrica conforme já apresentado. Esta Resolução favoreceu a geração de energia elétrica próxima ao local de consumo ou na própria instalação consumidora, denominada “Geração Distribuída” (GD). Conforme foi discutido, esse tipo de geração pode trazer muitas vantagens sobre a geração centralizada tradicional, como exemplo, a economia dos investimentos em redes de transmissão, redução das perdas nessas redes e melhoria da qualidade do serviço de energia elétrica.

Além disso, a ANEEL também permitiu o estímulo a Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) para a injeção da eletricidade proveniente do biogás e biometano na rede de energia por meio da Chamada de P&D Estratégico n° 14 em 2012. De acordo com a ANEEL (2012) 80 empresas responderam a esta Chamada, dentre as quais 68 demonstraram interesse. Ainda neste panorama, por intermédio do Ministério de Minas e Energia (MME), a Agência também incluiu o biogás entre as fontes renováveis para energia de reserva para o ano de 2017, no Leilão A-3.

Ainda neste cenário, a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) inseriu o biogás no Plano Nacional de Energia (PNE, 2050), e por meio de notas técnicas, tais como as DEAs 15 a 18, de 2014, orienta suas aplicações. Em complementação, o MME estabeleceu com a Portaria n° 44/2015 oportunidades importantes para geração com microgeradores por biogás e biometano.

Nesse contexto, constatou-se também a existência da Lei n° 11.196/2005, denominada como “Lei do Bem”, cuja qual permite a criação de incentivos fiscais às pessoas jurídicas que realizam pesquisa e desenvolvimento de inovação tecnológica. Embasado nesta lei, o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) utiliza esse mecanismo para incentivar investimentos em inovação por parte do setor privado. Assim, objetiva aproximar as empresas das universidades e institutos de pesquisa, potencializando os resultados em P&D.

A constatação desses movimentos regulatórios indica um ambiente favorável ao reaproveitamento do biogás no país. Sendo assim, na presente pesquisa,

aprofundou-se nas questões regulatórias dos setores de energia elétrica e gás natural no Brasil, a fim de elucidar o conhecimento do objeto de estudo e, desta forma, aproximar tais conhecimentos da realidade do Espírito Santo.

No caso da geração de energia elétrica no Brasil, as alternativas regulatórias para a inserção deste energético são direcionadas para a comercialização livre, a autoprodução, a venda como gerador distribuído para concessionária de distribuição de energia elétrica e, mais recentemente, para a possibilidade de minigeração no sistema de compensação de energia elétrica.

Aplicado ao caso do Espírito Santo, cuja escala de potência instalada alcançou o máximo de 10.554,95 kW (10.55 MW) na Região 4 (Metropolitana) no ano 2035, constatou-se a possibilidade de implementação de uma central geradora de Minigeração Distribuída (máximo 5MW) até o ano de 2021, cuja extensão pode ser possível em cada uma das regiões abrangidas pelo programa *Espírito Santo sem Lixão*, no âmbito da Resolução Normativa ANEEL nº687/2015. Neste possível cenário a usina poderia operar na categoria registro (REG), semelhante à maior parte das usinas atualmente em operação no Brasil. A partir de 2022, quando a Região 4 atinge escala superior (5.07 MW), deverá então solicitar autorização da ANEEL para operar como usina termelétrica na categoria PIE, com possibilidade de comercializar energia elétrica por sua conta própria tanto no ambiente regulado, por meio de leilões, como no ambiente livre com consumidores especiais ou livres.

Complementa-se que, tendo em vista que o menor valor alcançado para o potencial de geração de energia elétrica da Região 5 para o ano de 2016 foi 1.005,70 MWh (ver Tabela 26), correspondente a 83.808,33kWh/mês, ainda assim seria possível abastecer 558 residências, se considerado um consumo residencial de 150kWh/mês. Logo, demonstra ser um potencial interessante, uma vez que pode representar benefício econômico para a região. Nos municípios menores, onde essa escala menor dificulta a aplicação desse tipo de tecnologia em aterros, pode-se pensar em consórcios (de regiões próximas) e em sistemas de separação da matéria orgânica de modo a aproveitá-la em sistemas de compostagem, assim como da codigestão com substratos de origem rural tais como esterco de animais confinados, palhas agrícolas e resíduos agroindustriais. O estímulo a essa forma de aproveitamento deve ser incentivado por meio de linhas de financiamento como a do Fundo Clima do BNDES e outras já mencionadas neste trabalho.

Para o biometano, a injeção na rede gás natural depende da localização do empreendimento e da eficiência nos investimentos para atender exigências da ANP nos quesitos de regulação pela qualidade. Assim, este oriundo de aterros ainda não está autorizado a ser injetado na rede e sua aplicação ainda está condicionada ao uso experimental e industrial. No entanto, nesta seara é possível o uso dedicado, exclusivo para uma instituição, semelhante à situação da REDUC no Rio de Janeiro. Para tal, necessita-se de mercado consumidor nas formas da Resolução ASPE nº 004/2011, no caso do Espírito Santo. Outra possibilidade verificada foi a autoprodução, que permite atender frotas cativas como os veículos utilizados para a coleta municipal de RSU. Nesse aspecto, a possível economia com a substituição do diesel nessas frotas, por exemplo, poderá reduzir custos com a coleta de lixo.

Para todas as possibilidades mencionadas, faz-se indispensável um estudo de viabilidade econômica que venha a contemplar todos os parâmetros necessários para uma decisão de investimento. Como tal estudo não foi contemplado neste trabalho, representa uma limitação desta pesquisa e sugere-se para estudos futuros.

De forma geral, a recuperação energética dos resíduos precisa de um olhar multidimensional, que deve abranger não só o tratamento adequado destes, mas também a energia potencial disponível em cada região, a redução de emissões de poluentes e diversos benefícios sociais, caracterizando-se como uma solução de transformação socioambiental da realidade de tratamento de resíduos no Brasil. Além disso, é preciso que as políticas atentem para o setor de biogás assim como ocorreu para outras fontes (biodiesel e etanol), que deve abranger desde a regulamentação até a criação de incentivos para o setor.

No contexto estadual, diante do arcabouço legal de que dispõe o Estado do Espírito Santo, embasado nas leis e decretos apresentados, cujo incentivo às atividades de recuperação do biogás, biometano e gestão dos resíduos é evidente no Decreto nº 3453-R/2013, questiona-se o motivo da região ainda não dispor de uma usina que utilize os RSU para fins energéticos. Pontua-se que este fato pode estar associado à dificuldade de articulação entre órgãos federais, estaduais, municipais e da iniciativa privada. Nesse sentido, a presença de um ente regulador do setor de resíduos seria essencial para ativar o entrosamento entre os órgãos mencionados, além de corroborar para ampliar a segurança de possíveis investidores, disseminar conhecimentos da área e promover o uso eficaz dos RSU.

Quanto ao aspecto de melhoria, é inegável que uma agência própria de regulação para o setor também poderia contribuir para uma prestação mais adequada e eficiente do serviço de limpeza pública. Dentre os motivos que justifiquem a implantação da regulação no setor, decorrentes das falhas de mercado inerentes às atividades da área, pode-se mencionar: as características de monopólio, a caracterização como bens e serviços públicos, apresentação de externalidades e assimetria de informações. Tais falhas são perceptíveis no setor, o que sugere a necessidade de regulação específica.

Das limitações verificadas durante a elaboração deste estudo, mencionou-se a ausência de dados que indicassem a exata composição gravimétrica dos resíduos sólidos nos municípios capixabas, como indicado na seção 6.4. Por isso, ressalta-se a importância da realização de um estudo de caracterização gravimétrica dos municípios, bem como a implantação de um sistema eficiente de gerenciamento de resíduos sólidos municipais. De fato, uma gestão eficiente de RSU poderia contribuir para gerar resultados mais precisos e próximos da realidade da região. Relativo à projeção populacional, a futura existência de dados censitários poderá contribuir para reduzir os desvios observados.

Ainda no contexto de limitações, cabe ressaltar que o estudo econômico não foi incluído nesta pesquisa, cuja importância também é essencial para confirmar a viabilidade de empreendimentos com uso do biogás de aterros. Tal estudo deve abranger a viabilidade de um mercado de energia, bem como uma análise mais aprofundada sobre o custo de projetos, preços de comercialização, tarifas e fontes de receita. Apesar desta pesquisa não abarcar tal estudo, ressalta-se que o aproveitamento do biogás gerado nos aterros sanitários no Espírito Santo parece, a princípio, viável com os resultados encontrados.

Embora a PNRS indique o aterro sanitário como última opção de tratamento na hierarquia de gestão dos resíduos, na prática, ainda observa-se que o aterramento de RSU permanece como principal opção de tratamento no Brasil. Embora esse fato indique o fornecimento de energia com esta fonte ainda por um longo período de tempo, não é algo permanente. Assim, o aproveitamento do biogás de aterro é coerente e necessário, mas projetar uma garantia de oferta deste gás é conflitante com a PNRS, uma vez que o aterro é somente o destino dos rejeitos.

Nesse panorama, esta pesquisa procurou contribuir para o avanço do conhecimento relativo às principais questões técnicas e regulatórias que permeiam o aproveitamento do biogás de RSU no Brasil e Espírito Santo. A análise da revisão bibliográfica permitiu observar que o aproveitamento deste energético tem sido promovido no Brasil, especialmente no sentido de formulação de políticas públicas.

Nesse aspecto, para a formulação de políticas públicas, o Brasil pode manter uma atuação semelhante a dos países mencionados na seção 5.6.2 e expostos na Figura 22, uma vez que quase todos os países verificados aplicam algum tipo de incentivo fiscal ou financeiro. Outros tipos de incentivos fiscais e econômicos podem ser aplicados também em âmbito estadual, embasados no investimento inicial do empreendimento e/ou sua vida útil. São políticas que podem favorecer tanto o gerador como todos os demais agentes do setor e devem ser estimuladas.

Sob esse ponto de vista, o biogás de RSU deve ser inserido no contexto de mitigação de mudanças climáticas, renovabilidade da matriz energética, oferta de energia e melhoria de ações sanitárias. Nesses aspectos, este estudo contribuiu para reforçar a necessidade de valorização dos RSU, uma vez que possuem capacidade energética e, assim, potencial energético para ser explorado, especialmente no Espírito Santo.



## REFERÊNCIAS

- ABICHOU, T. KORMI, T.; YUAN, L.; JOHNSON, T.; FRANCISCO, E. Modeling the effects of vegetation on methane oxidation and emissions through soil landfill final covers across different climates. **Waste Management**, n.36, p.230-240, 2015.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2014**. São Paulo: ABRELPE, 2014.
- ABREU, F. V. **Biogás: Economia, regulação e sustentabilidade**.1.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.
- ABREU, F.V.; AVELINO, M.R.; MONÂCO, D.P. Estudo técnico, econômico e ambiental da geração de energia através do biogás de lixo - o caso do aterro sanitário de Gramacho. **Cadernos Unifoa**, n. 16, p. 37-43, 2011.
- AHMED, A.; UDDIN, G.S.; SOHAG, K. Biomass energy, technological progress and the environmental Kuznets curve: Evidence from selected European countries In: **Biomass and Bioenergy**, n. 90, p. 202-208, 2016.
- ALBUQUERQUE, K.F. **A retomada da reforma/melhora regulatória no Brasil: um passo fundamental para o crescimento econômico sustentado**. 2006, 69 f. Monografia (Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Administração Pública) – Programa de Pós-graduação em Administração Pública da FGV Management, Fundação Getulio Vargas, Brasília, 2006.
- ALMEIDA, E.F.A.; FERRARO, M.C. **Indústria do gás natural: fundamentos técnicos e econômicos**. Rio de Janeiro: Synergia, 2013.
- AMARAL FILHO, J.B.S. **A reforma do setor elétrico brasileiro e a questão da modicidade tarifária**. 2007. 248 f. Tese (Doutorado em Ciências Econômicas) Instituto de Economia, UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007.
- AMINI, H.R.;REINHART, D.R.; NISKANEN, A. Comparison of first-order-decay modeled and actual field measured municipal solid waste landfill methane data. **Waste Management**, n.33, p.2720-2728,2013.
- ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. **Resolução Normativa nº 82, de 4 de abril de 2012**. Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/021/documento/nota\\_tecnica\\_0082\\_bruno\\_celtins.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2012/021/documento/nota_tecnica_0082_bruno_celtins.pdf)>. Acesso em: 10 mai. 2016.
- \_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2012482.pdf>>. Acesso em: 10 mai. 2016.
- \_\_\_\_\_. **Resolução Normativa nº 517, de 11 de dezembro de 2012**. Brasília, 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2016.
- \_\_\_\_\_. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília, 2008. Disponível em:<[http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro\\_atlas.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf)>Acesso em: 03 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. **Informações Gerenciais.** Brasília, 2015. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Z\\_IG\\_Mar\\_2015-170615.pdf](http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Z_IG_Mar_2015-170615.pdf)> Acesso em: 21 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Nota Técnica nº 0043, de 8 de setembro de 2010.** Brasília, 2010. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta\\_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica\\_0043\\_GD\\_SRD.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/Nota%20T%C3%A9cnica_0043_GD_SRD.pdf)>. Acesso em: 20 jan. 2016.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 271, de 3 de julho de 2007.** Brasília, 2007. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=106613>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

\_\_\_\_\_. **Oitenta empresas interessadas em projetos de P&D sobre biogás.** Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output\\_Noticias.cfm?Identidade=5928&id\\_area=90](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=5928&id_area=90)>. Acesso em: 10 jun. 2016.

ANP [Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis]. **Nota Técnica Conjunta nº 002, de 27 de dezembro de 2011.** Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <[www.anp.gov.br/?dw=58828](http://www.anp.gov.br/?dw=58828)>. Acesso em: 04 jul. 2016.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 8, de 30 de janeiro de 2015.** Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 10 fev. 2015.

\_\_\_\_\_. **Portaria nº 128, de 28 de agosto de 2001.** Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder\\_portarias\\_anp/portarias\\_anp\\_tec/2001/agosto/panp%20128%20-%202001.xml](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/2001/agosto/panp%20128%20-%202001.xml)>. Acesso em: 10 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 16, de 17 de junho de 2008.** Disponível em: <[http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2008/junho/ranp%2016%20-%202008.xml](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2008/junho/ranp%2016%20-%202008.xml)>. Acesso em: 10 abr. 2016.

\_\_\_\_\_. **Nota Técnica nº 132, de 08 de outubro de 2013.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <[www.anp.gov.br/?dw=72845](http://www.anp.gov.br/?dw=72845)>. Acesso em: 04 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Nota Técnica nº 157, de 17 de setembro de 2014.** Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <[www.anp.gov.br/?dw=79196](http://www.anp.gov.br/?dw=79196)>. Acesso em: 04 jun. 2014.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 21, de 11 de junho de 2016.** Disponível em: <<http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

\_\_\_\_\_. **Evolução da Indústria Brasileira de Gás Natural: Aspectos Técnico-Econômicos e Jurídicos.** Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <[www.anp.gov.br/?dw=32427](http://www.anp.gov.br/?dw=32427)>. Acesso em 07 de set. 2016.

\_\_\_\_\_. **Regulação. Séries ANP.** Nº I. Rio de Janeiro: ANP, 2001.

\_\_\_\_\_. **Nota Técnica nº 033, de 23 de julho de 2002.** Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: <[www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=2274](http://www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=2274)>. Acesso em: 04 jul. 2016.

ARAÚJO JR, J.T. **Regulação e Concorrência em Setores de Infraestrutura. XVII Fórum Nacional organizado pelo INAE – Instituto Nacional de Altos Estudos,** Rio de Janeiro, 9 a 12 de maio de 2005.

ARAÚJO, J. L. R. H. **Regulação de Monopólios e Mercados: Questões Básicas,** 1997 (Texto Didático).

ASPE [Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo]. **Atlas de bioenergia do Espírito Santo**. 103p. Vitória, 2013.

\_\_\_\_\_. Avaliação da Adesão ao Convênio Confaz 16/2015. **Nota Técnica ASPE DT 015**. Vitória (ES): ASPE, 2015.

\_\_\_\_\_. **Balço Energético do Estado do Espírito Santo 2016**: Ano base 2015. Espírito Santo: ASPE, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

AZUELA, G. E.; BARROSO, L. A. **Design and Performance of Policy Instruments to Promote the Development of Renewable Energy**: Emerging Experience in Selected Developing Countries. Energy and mining sector board discussion paper, n. 22, p. 1-60, 2011.

BAHIENSE, D. A. Aparato de regulação econômica: as agências reguladoras. **Bahia Análise & Dados**, v.12, n.4, p. 183-189, 2003.

BANCO MUNDIAL. 2007. **Como Revitalizar os Investimentos em Infra-Estrutura no Brasil**: Políticas Públicas para uma Melhor Participação do Setor Privado. Volume I: Relatório Principal. Washington, D.C.: Banco Mundial. 2007.

BARROS, R.M.; FILHO, G.L.T.; SILVA, T.R. The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. **Energy Policy**, n.65, p. 150-164, 2014.

BARLAZ, M.A.; CHANTON, J.P.; GREEN, R.B. Controls on Landfill Gas Collection Efficiency: Instantaneous and Lifetime Performance. **Journal of the Air & Waste Management Association**, n.59, p.1399-1404, 2009.

BIENER, C.; ELING, M. SCHMIT, J.T. Regulation in microinsurance markets: principles, practice, and directions for future development. **World Development**, Vol. 58, p. 21–40, 2014.

BILGILI, F.; OZTURK, I. Biomass energy and economic growth nexus in G7countries:Evidence from dynamic panel data. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n. 49, p. 132–138, 2015.

BLEY JR., C. **Biogás**: a energia invisível. 2.ed. rev. e ampl.; São Paulo : CIBiogás, 2015.

BROUN, R.; SATTLER, M. A comparison of greenhouse gas emissions and potential electricity recovery from conventional and bioreactor landfills. **Journal of Cleaner Production**, n.112, p. 2664-2673, 2016.

BRASIL. Conselho Nacional de Política Fazendária. **Convênio ICMS 16, de 22 de abril de 2015**. Brasília: CONFAZ, 2015.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº7.390, de 9 de dezembro de 2010**. Brasília, 2010a. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm)>. Acesso em: 4 out. 2015.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº7.404, de 23 de dezembro de 2010**. Brasília, 2010b. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm)>. Acesso em: 4 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996.** Brasília, 1996. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D2003.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D2003.htm)>. Acesso em: 10 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.** Brasília, 2004. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.HTM)>. Acesso em: 11 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004.** Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/lei200410848.pdf>>. Acesso em: 4 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 11.196, de 21 de novembro de 2005.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/lei/l11196.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/lei/l11196.htm)> Acesso em: 7 set. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 11.488, de 15 de junho de 2007. Brasília, 2007.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11488.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11488.htm)> Acesso em: 7 set. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 11.909, de 4 de março de 2009.** Brasília, 2009b. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l11909.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11909.htm)>. Acesso em: 4 jul. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009.** Brasília, 2009a. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm)>. Acesso em: 4 jul. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Brasília, 2010c. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 4 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995.** Brasília, 1995. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L8987cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8987cons.htm)>. Acesso em: 4 out. 2016.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** Brasília, 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm)>. Acesso em: 8 nov. 2014.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.074, de 7 de Julho de 1995.** Brasília, 1981. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9074cons.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9074cons.htm)>. Acesso em: 8 nov. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, **3ª Comunicação Nacional do Brasil à convenção - Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima.** V.3. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/documents/1686653/1706739/Volume+3.pdf/355d4a1e-9f3c-474a-982e-b4a63312813b>>. Acesso em: 20 out. 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI. **Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** 2016. Disponível em: <<http://sirene.mcti.gov.br/publicacoes>>. Acesso em 18 set. 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades – MC, **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS.** Série Histórica dos Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgotos. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=6>> Acesso em: 20 out. 2016.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente - ICLEI – **Brasil Planos de gestão de resíduos sólidos**: manual de orientação. Brasília, 2012.

BNDES [Banco de Desenvolvimento Econômico e Social]. **Programa Fundo Clima**. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes\\_pt/Areas\\_de\\_Atualizacao/Meio\\_Ambiente/fundo\\_clima.html](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Areas_de_Atualizacao/Meio_Ambiente/fundo_clima.html)>. Acesso em 10 jul.2016.

BRITTO, A. L. A Regulação dos serviços de saneamento no Brasil: perspectiva histórica, contexto atual e novas exigências de uma regulação pública. **Anais: Encontros Nacionais da ANPUR** 9, 2013.

BORBA, S.M.P. **Análise de modelos de geração de gases em aterros sanitários**: estudo de caso. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil.) – Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

BUNEDER, D.; CAMPONOGARA, G.; PANTALEÃO, P. **Microprodução, Miniprodução, Autoprodução e Produção Independente de Energia**. Rio Grande do Sul: 2014.

BUTLER, L.; NEUHOFF, K. Comparison of feed-in tariff, quota and auction mechanisms to support wind power development. **Renewable Energy**, v. 33, n. 8, p.1854–1867, 2008.

BUZANELLO, J.C. Aspectos da Regulação de Saneamento no Brasil. **Conpendi Law Review**, Florianópolis, v.1, n.7, p.122-142, 2016.

CCEE [Câmara de Comercialização de Energia Elétrica]. **O que fazemos**: tipos de leilões <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/o-que-fazemos/como\\_ccee\\_atua/tipos\\_leiloes\\_n\\_logado?\\_afLoop=780806850326756#%40%3F\\_afLoop%3D780806850326756%26\\_adf.ctrl-state%3Dzzinezbmb\\_671](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-que-fazemos/como_ccee_atua/tipos_leiloes_n_logado?_afLoop=780806850326756#%40%3F_afLoop%3D780806850326756%26_adf.ctrl-state%3Dzzinezbmb_671)>. Acesso em 24 jan. 2017a.

CEE [Câmara de Comercialização de Energia Elétrica]. **Ambiente livre e ambiente regulado**. Disponível em: <[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado?\\_adf.ctrl-state=zzinezbmb\\_281&\\_afLoop=780400509313684](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/ambiente-livre-ambiente-regulado?_adf.ctrl-state=zzinezbmb_281&_afLoop=780400509313684)>. Acesso em 24 jan. 2017b.

CEE [Câmara de Comercialização de Energia Elétrica]. **Como se dividem**. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/quem-participa/como\\_se\\_dividem?\\_afLoop=114828285325509#%40%3F\\_afLoop%3D114828285325509%26\\_adf.ctrl-state%3Djunnbowy4\\_21](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/quem-participa/como_se_dividem?_afLoop=114828285325509#%40%3F_afLoop%3D114828285325509%26_adf.ctrl-state%3Djunnbowy4_21)>. Acesso em 24 jan. 2017c.

CAMPOS, A.F. **Aula 1: informações adicionais: Economia da regulação**. 02 mai.2016, 13 jun. 2016a. Notas de Aula.

\_\_\_\_\_. **Aula: Regulação do Setor Petrolífero e de Gás Natural Parte I**. 28 mai.2016, 13 jun. 2016b. Notas de Aula.

\_\_\_\_\_. **Aula: Regulação do Setor Petrolífero e de Gás Natural Parte II**. 28 mai.2016, 13 jun. 2016c. Notas de Aula.

\_\_\_\_\_. Gestão dos recursos energéticos para o desenvolvimento de uma matriz mais renovável no Estado do Espírito Santo. **Espacios**, Vol. 37, n.24, 2016d.

\_\_\_\_\_. **Indústria do Petróleo:** Desdobramentos e Novos Rumos da Reestruturação Sul-Americana dos Anos 90. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2014.

\_\_\_\_\_. Principais impactos das mudanças institucionais e regulatórias da indústria de gás natural no Brasil. **Sodebras**, Vol. 11, n.132, 2016e.

CAMPOS, A.F.; MOARES, N.G. **Tópicos em Energia:** teoria e exercícios com respostas para concursos. Rio de Janeiro: Synergia, 2012.

CARAPETO, Cristina; ALVES, F.; CAEIRO, S. Educação ambiental. **Lisboa: Universidade Aberta**, 1998.

CARVALHO, R.A.L. **Regulação Estadual do Gás Natural no Brasil:** Metodologia Tarifária e Marcos Regulatórios Regionais. 2010. 85 f. Monografia (Especialização em Contabilidade Governamental) - Departamento de Ciências Contábeis da Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

CARVALHO, V.N. **O princípio do usuário-pagador no Direito Ambiental.** Jus.com.br, Teresina, dez. 2014. Disponível em:< <https://jus.com.br/artigos/34880/o-principio-do-usuario-pagador-no-direito-ambiental>> Acesso em 28 dez. 2016.

CAVÉ, J. Economia Política da Gestão de Resíduos Sólidos Municipais em Vitória (Espírito Santo). **Revista Geografares**, n.9, p.168-202, 2011.

CCEE [Câmara de Comercialização de Energia Elétrica]. **Fontes**. 2016. Disponível em:<<http://www.ccee.org.br/portal>>. Acesso em: 10 set. 2016.

CENBIO [Centro Nacional de Referência em Biomassa]. **Conceituando biomassa.** São Paulo, 2016 Disponível em:< <http://www.iee.usp.br/gbio/?q=livro/conceituando-biomassa>>. Acesso em: 10 mai. 2016.

CETESB [Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental]. **Biogás:** pesquisas e projetos no Brasil. São Paulo, 2006. Disponível em:<<http://cetesb.sp.gov.br/biogas/wpcontent/uploads/sites/27/2014/01/livrobiogas.pdf>>. Acesso em: 06.04.2016

CHAKRABORTY, M.; SHARMA, C.; PANDEY, J.; GUPTA, P. Assessment of energy generation potentials of MSW in Delhi under different technological options. **Energy Conversion and Management**, n.75, p.249-255, 2013.

CHEN, H.; HO, Y.S. Highly cited articles in biomass research: A bibliometric analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.49, p. 12-20, 2015.

CHERNICHARO, C.A.L.; STUETZ, R.M. Energy Recovery from Biogas in Anaerobic Wastewater Treatment Plants. 2008 In: CHERNICHARO, C.A.L. **Limitações e possíveis melhorias futuras no projeto, na construção e na operação de reatores UASB tratando esgotos domésticos.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2009.

CHO, H.S.; MOON, H.S., KIM, J.Y. Effect of quantity and composition of waste on the prediction of annual methane potential from landfills. **Bioresource Technology**, n. 109, p.86-92, 2012.

CIBIOGÁS [Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás] **Curso de atualização em energias do biogás.** Modulo I. Aula I. Foz do Iguaçu: Parque Tecnológico Itaipu, 2016.

- COELHO, C.G. **Relatório de Avaliação Marca Ambiental**. Scsenergy: 2013.
- COELHO, C.G. **Pesquisa sobre biogás de aterro**. 2015. Entrevista concedida a Juçara de Jesus Monteiro De Galiza, Vitória, 30 jun. 2015.
- COIMBRA-ARAÚJO, C.H.; MARIANE, L.; BLEY JÚNIOR, C.; FRIGO, E.P.; FRIGO, M.S.; ARAÚJO, I.R.C.; ALVES, H.J. Brazilian case study for biogas energy: Production of electric power, heat and automotive energy in condominiums of agroenergy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 40, p. 826-839, 2014.
- CRESWELL, J.W.; CLARK, V.L.P. **Pesquisa de Métodos Mistos**. Porto Alegre: Penso, 2013.
- CUNHA, J. Abastecer carro com gás derivado de dejetos começa a virar realidade. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 20 fev. 2016. Disponível em: <[http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Clipping\\_imprimir.asp?id=184246&prlink=1](http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/Clipping_imprimir.asp?id=184246&prlink=1)>. Acesso em 28 jul. 2016.
- DI PIETRO, M.S.Z. 500 Anos de Direito Administrativo Brasileiro. **Rede**, n.5, p.1-25, 2006.
- DUTRA, R M. **Avaliação do cenário de compra e venda de resíduos sólidos recicláveis nos municípios do CONDOESTE/ES**. Abr/2016. 204 f. Dissertação de Mestrado. CT/Programa de Pós Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2016.
- DUTRA, R.M.; SZKLO, A.S. Incentive policies for promoting wind power production in Brazil: scenarios for the Alternative Energy Sources Incentive Program (PROINFA) under the New Brazilian electric power sector regulation. **Renewable Energy**, n.33, p. 65–76, 2008.
- EMKES, H.; COULON, F.; WAGLAND, S. A decision support tool for landfill methane generation and gas collection. **Waste Management**, n. 43, p. 307–318, 2015.
- ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanco Energético Nacional 2016**: Ano base 2015. Rio de Janeiro: EPE, 2016d.
- \_\_\_\_\_. **Balanco Energético Nacional 2008**: Ano base 2007. Rio de Janeiro: EPE, 2008.
- \_\_\_\_\_. Demanda de energia 2050. **Nota Técnica DEA nº 13/14, de agosto de 2014**. Rio de Janeiro, 2014c. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 11 jun. 2015.
- \_\_\_\_\_. Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. **Nota Técnica DEA nº 16, de outubro de 2014**. Rio de Janeiro, 2014a. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 11 jun. 2015.
- \_\_\_\_\_. **Energia Renovável**: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica. Rio de Janeiro: EPE, 2016b.

\_\_\_\_\_. **Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear**. Rio de Janeiro: EPE, 2016a.

\_\_\_\_\_. **EPE publica Mapa da Infraestrutura de Gasodutos de Transporte de Gás Natural no Brasil**. Rio de Janeiro: EPE, 2016c. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em: 12 jul. 2016.

\_\_\_\_\_. **Plano Decenal de Expansão da Malha de Transporte Dutoviário: PEMAT 2022**. Brasília: EPE, 2014b.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Energia 2030**. Rio de Janeiro: EPE, 2007.

\_\_\_\_\_. Série Recursos Energéticos. **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Rio de Janeiro: EPE, 2014a.

\_\_\_\_\_. **Anuário estatístico de energia elétrica 2015**: ano base 2014. Rio de Janeiro: EPE, 2015.

ESPÍRITO SANTO. **Decreto nº 3.453, de 6 de dezembro de 2013**. Vitória, 2013. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=109588>>. Acesso em: 11 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Lei Complementar ARSP nº 827/2016**. Vitória, 2009. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/324003221/LC-827-2016-Cria-a-ARSP-e-Da-Outras-Providencias>>. Acesso em: 13 jul. 2015.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.264, de 15 de Julho de 2009**. Vitória, 2009. Disponível em: <[http://www.normasbrasil.com.br/norma/lei-9264-2009-es\\_126138.html](http://www.normasbrasil.com.br/norma/lei-9264-2009-es_126138.html)>. Acesso em: 13 jul. 2015.

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.531, de 15 de setembro de 2010**. Vitória, 2010. Disponível em: <[http://www.al.es.gov.br/antigo\\_portal\\_ales/images/leis/html/9.531.htm](http://www.al.es.gov.br/antigo_portal_ales/images/leis/html/9.531.htm)>. Acesso em: 11 jun. 2015.

\_\_\_\_\_. **Resolução Aspe nº 004, de 15 de junho de 2011**. Vitória, 2011. Disponível em: <[http://www.aspe.es.gov.br/download/RESOLUCAO\\_ASPE\\_004\\_11.pdf](http://www.aspe.es.gov.br/download/RESOLUCAO_ASPE_004_11.pdf)>. Acesso em: 05 dez. 2016.

\_\_\_\_\_. **Plano Decenal de Expansão da Malha de Transporte Dutoviário – PEMAT 2022**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/PEMAT/Relat%C3%B3rio\\_PEMAT\\_Consulta%20P%C3%BAblica.pdf](http://www.epe.gov.br/PEMAT/Relat%C3%B3rio_PEMAT_Consulta%20P%C3%BAblica.pdf)>. Acesso em 10 de nov. de 2016.

FAAIJ, A.P.C. Bio-energy in Europe: changing technology choices. **Energy Policy**, v.34, p.322-342, 2006.

FAOUR, A.A.; REINHART, D.R.; YOU, H. First-order kinetic gas generation model parameters for wet landfills. **Waste Management**, n. 27, p. 946–953, 2007.

FIGUEIREDO, J.C. **Estimativa de produção de biogás e potencial energético dos resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais**. 2012. 139 f. Dissertação (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais, UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

FIOROT, G.M. **Utilização de ferramentas de apoio à tomada de decisão como suporte ao planejamento integrado de recursos energéticos (PIR)**: implicações e soluções para o Estado do Espírito Santo. 2016. 137 f. Dissertação (Mestrado em



Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) - Programa de Pós Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, UFES, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2016.

FELCA, A.T.A.; GLÓRIA, R.F.; BARROS, R.M.; ALVES, A.P. Estimativa do potencial energético de um aterro sanitário por meio de duas metodologias. **XII Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**, Poços de Caldas, 20 a 22 de Maio de 2015.

FERNANDES, J.G. **Estudo da emissão de biogás em um aterro sanitário experimental**. 2009. 116 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pósgraduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2009.

FILHO, L.F.B. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**. 218 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Programas de Pós graduação de Engenharia, UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

FOGAÇA, J. R. V. **Energia Limpa: Brasil Escola**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/energia-limpa.htm>>. Acesso em 12 de janeiro de 2017.

FORBES, E.G.A.; OLAVE,R.J.;JOHNSTON, C.R.; BROWNE, J.D.; RELF, J. Biomass and bioenergy utilisation in a farm-based combined heat and power facility. In: **Biomass and Bioenergy**, p. 1-12, 2016.

FREITAS, H.; OLIVEIRA, M.; SACCOL, A.Z.; MOSCAROLA, J. **O método de pesquisa survey**. Revista de Administração, São Paulo, v.35, n.3., p.105-112, 2000.

GARCIA, M.C.D. **Rede de organizações de catadores do estado do Espírito Santo: modelagem matemática para avaliação de cenários do problema localização**. 186 f. Dissertação de Mestrado. CT/Programa de Pós Graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória. 2016.

GALVÃO JR, A.C.; MONTEIRO, A.P.; MELO, A.J.M. **Regulação do saneamento básico**. Barueri, SP: Manole, 2013.

GALVÃO JR., A. C.; PAGANINI, W. S. Aspectos conceituais da regulação dos serviços de água e esgoto no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 1, p. 79-88, jan./mar. 2009.

GE, X.; MATSUMOTO,T.; KEITH, L.; LI, Y. Biogas energy production from tropical biomass wastes by anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, Ohio, n.169, p. 38-44, 2014.

GERVÁZIO, A.F.; FRIGINI, C.C.; DIAS, M.; VESCOVI, P. **Avaliação da produção de biogás em aterro sanitário e projeto de mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)**. 2010. 143 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Faculdade de Aracruz, Aracruz, 2010.

GODOI, M. Biogás poderia suprir 12% da matriz energética do país, aponta estudo da Abiogás. **Canal Energia**, São Paulo, 02 fev. 2016. Disponível em:<<http://www.canalenergia.com.br/zpublisher/materias/imprimir.asp?id=110345> 1/>. Acesso em 28 jul. 2016.

GÓES, H.C.; Coleta seletiva, planejamento municipal e a gestão de resíduos sólidos urbanos em Macapá/AP. **Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, n. 3, p. 45-60, 2011.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S.T.; REI, F. Brazilian energy matrix and sustainable development. **Energy for Sustainable Development**, n.6, p.55-59, 2002.

GTAI [Germany Trade and Invest]. **Mecanismos de apoio para biogás ainda são expansíveis na Suécia**. Berlin, 14 de nov. de 2012. Disponível em: <http://www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/maerkte,did=698754.html> >. Acesso em: 11 jun. 2016.

GUERRA, J.B.S.O.A.; DUTRA, L.; SCHWINDEN, N.B.C.; ANDRADE, S.F. Future scenarios and trends in energy generation in brazil: supply and demand and mitigation forecasts. **Journal of Cleaner Production**, n.103, p. 197-210, 2015.

GUPTA, K.K.; REHMAN, A.; SARVIYA, R.M. Bio-fuels for the gas turbine: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 2946-2955, 2010.

GUZIANA, B.; SONG, H.; THON, E.; DOTZHAUER, E.; YAN, J. Policy based scenarios for waste-to-energy use: swedish perspective. **Waste and Biomass Valorization**, n. 5, p. 679-688, 2014.

HALL, R.E; LIEBERMAN, M. **Microeconomia: princípios e aplicações**. São Paulo:Thomson, 2003.

HENRIQUES, R.M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem Tecnológica**. 2004. 204 f. Tese (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) Programa de Pós-graduação em Engenharia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

HOOGWIJK, M.; FAAIJ, A.P.C; BROEK, R.V.D.; BERNDES, G.; GIELEN,D.; TURKENBURG,W. Exploration of the ranges of the global potential of biomass for energy. **Biomass and Bioenergy**, n. 25, p. 119-133, 2003.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, D. H; **What a Waste. A global review of solid waste management**. NW Washington: World Bank , 2012. Disponível em:< [http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What\\_a\\_Waste2012\\_Final.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1334852610766/What_a_Waste2012_Final.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2015.

IBGE [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística]. **Censo – IBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

\_\_\_\_\_. **Estados – IBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

ICLEI [Governos Locais pela Sustentabilidade] **Manual para aproveitamento de biogás**: volume um, aterros sanitários. Brasil. São Paulo, 2009. Disponível em:< [http://www.resol.com.br/cartilha12/manual\\_iclei\\_brazil.pdf](http://www.resol.com.br/cartilha12/manual_iclei_brazil.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2016.

IDDRISU,I.; BHATTACHARYYA,S.C. Sustainable Energy Development Index: A multi-dimensional indicator for measuring sustainable energy development. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.50, p. 513-530, 2015.

IDEC [Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor]. **Defesa do consumidor, participação social e ferramentas para a cidadania**: Um banco de dados para o monitoramento da regulação / Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor. São Paulo: IDEC, 56 p., 2011.

IEA [International Energy Agency]. **Key World Energy Trends** - Excerpt from: World energy balances. IEA Bioenergy, 2016. Disponível em:<<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorldEnergyTrends.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2016.

IEA [International Energy Agency]. **Key Electricity Trends** - Excerpt from: Electricity Information. IEA, 2016b. Disponível em:<<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyElectricityTrends.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

IEMA [Instituto Estadual do Meio Ambiente] Projeto prioritário Espírito Santo sem Lixão. Disponível em:<[http://www.meioambiente.es.gov.br/download/es\\_sem\\_lixao.pdf](http://www.meioambiente.es.gov.br/download/es_sem_lixao.pdf)>. Acesso em: 20 abr.2016.

IPEA [Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada]. **Caderno de Diagnóstico – Resíduos Sólidos Urbanos**. 2011. Disponível em:<[http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/01\\_CADDIAG\\_Res\\_Sol\\_Urbanos.pdf](http://www.cnrh.gov.br/projetos/pnrs/documentos/cadernos/01_CADDIAG_Res_Sol_Urbanos.pdf)>. Acesso em: 10 mar. 2016.

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. **Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories**. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2000. Disponível em:<<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>> Acesso em: 27 dez. 2016.

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. **IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, 2006. Disponível em:<<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>> Acesso em: 15 mar. 2016.

JOSKOW, P. L. **Economic Regulation**. Cheltenham UK: Edward Elgar, 2000.

JUÁREZ, A.B.; ARAÚJO, A.M.; ROHATGI, J.S.; FILHO, O.D.Q.O. Development of the wind power in Brazil: Political, social and technical issues. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.39, p. 828-834, 2014.

KARANJEKAR, R.V. et al. Estimating methane emissions from landfills based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: The CLEEN model. **Waste Management**, n.46, p.389-398, 2015.

KELMAN, J. **Desafios do Regulador**. 2.ed. Rio de Janeiro: Synergia, 2009.

KHAN, D.; KUMAR, A.; SAMADDER, S. R. Impact of socioeconomic status on municipal solid waste generation rate. **Waste Management**, v.49, p.15-25, 2016.

KILEBER, S.; PARENTE, V. Diversifying the Brazilian electricity mix: Income level, the endowment effect, and governance capacity. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.49, p.1180-1189, 2015.

KILPELAINEN, A., ALAM, A., TORSSONEN, P., RUUSUVUORI, H.; AKI, S.K., PELTOLA, H. Effects of intensive forest management on net climate impact of energy biomass utilisation from final felling of Norway spruce. **Biomass and Bioenergy**, n. 87, p. 1-8, 2016.

KUMAR, A.; SHARMA, M.P. GHG emission and carbon sequestration potential from MSW of Indian metro cities. **Urban Climate**, n.8, p.30-41, 2014.

KNOWLES, BRADY, C.; LEE, H. Optimized working conditions for a thermoelectric generator as a topping cycle for gas turbines. **Journal of Applied Physics**, n.112, 073515 (2012), DOI:<http://dx.doi.org/10.1063/1.4757008>

LAMBORN, J. Observations from using models to fit the gas production of varying volume test cells and landfills. **Waste Management**, n. 32, p. 2353–2363, 2012.

LEBRE, E.L.R.; SOARES, J.B.; OLIVEIRA, L.B.; LAURIA, T. Sustainable expansion of electricity sector: Sustainability indicators as an instrument to support decision making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.14, p. 422-429, 2010.

LEME, M.M.V.; ROCHA, M.H.; LORA, E.E.S.; VENTURINI, O.J.; LOPES, B.M.; FERREIRA, C.H. Techno-economic analysis and environmental impact assessment of energy recovery from Municipal Solid Waste (MSW) in Brazil. **Resources, Conservation and Recycling**, n.87, p.8-20, 2014.

LOBATO, L.C.S. **Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico**. 2011. 187 f. Tese (Doutorado em Saneamento Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Pós-Graduação em Saneamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

LUCON, O.; GOLDEMBERG, J.. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. *Estudos avançados*, São Paulo , v. 23, n. 65, p. 121-130, 2009.

MADEIRA, R. F. O setor de saneamento básico no Brasil e as implicações do marco regulatório para a universalização do acesso. **Revista do BNDES**, [S.l.], n. 33, p. 123-154, jun. 2010.

MAIER, S.; OLIVEIRA, L.B. Economic feasibility of energy recovery from solid waste in the light of Brazil's waste policy: the case of Rio de Janeiro. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.35, p. 484-498, 2014.

MARINHO, M.S.J. **Regulação dos serviços de saneamento do Brasil (água e esgoto)**. 2006. 230 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) - Programa de Pós-graduação em em Desenvolvimento Econômico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

MARTIN, R. **Comercialização de energia renovável lançada na Alemanha**. *Mit Technology Review*, Madrid, 30 dez. 2015. Disponível em:<[http://www.technologyreview.com.br/read\\_article.aspx?id=48953](http://www.technologyreview.com.br/read_article.aspx?id=48953)>. Acesso em 27 jan. 2017. Traduzido por Elisa Matté (OPINNO).

MATHIAS, M. C. P. P. **A formação da indústria global de gás natural: definição, condicionantes e desafios**. 2008. 296 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

MATIAS, J.P. Políticas de defesa da concorrência e de regulação econômica: as deficiências do sistema brasileiro de defesa da concorrência. **Revista de administração contemporânea**, v.10, n.002, p.1-17, 2006.

MENDES, L.G.G. **Proposta de um sistema para aproveitamento energético de um aterro sanitário regional na cidade de Guaratinguetá**. 2005. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Estadual Paulista, UNESP, Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2005.

MESQUITA, Arlan Mendes; CAMPOS, Felipe Mota. Produtividade, eficiência econômica e regulação por incentivos nos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário. In: PHILIPPI JR., Arlindo (Coord.). **Regulação do saneamento básico**. São Paulo: Manole, 2013. p. 167-199.

MINAS GERAIS. **Resolução SEDE nº 17, de 9 de dezembro de 2013**. Minas Gerais, 2013. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=262601>>. Acesso em: 05 dez. 2016.

MUSTAFA, Sameer S.; MUSTAFA, Sameerah S.; MUTLAG, A.H. Kirkuk municipal waste to electrical energy. **Electrical Power and Energy Systems**, n. 44, p. 506–513, 2013.

MMA [Ministério do Meio Ambiente]; SRHAU [Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano] (Brasil). Relatório Técnico Único. BRA/OEA/08/001. **Levantamentos e análises da situação dos planos de resíduos sólidos no Estado do Espírito Santo**. Brasília, 2012.

MME [Ministério de Minas e Energia]. **Boletim Mensal de Energia**. 2016. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3594382/03+-+Boletim+Mensal+de+Energia+-+Mar%C3%A7o+2016+\(PDF\)/b69283ed-51b8-4219-a2fe-9a9b2af17eb0;jsessionid=1C220D2A66E5D27F9EAF4AD1811929D2.srv155](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3594382/03+-+Boletim+Mensal+de+Energia+-+Mar%C3%A7o+2016+(PDF)/b69283ed-51b8-4219-a2fe-9a9b2af17eb0;jsessionid=1C220D2A66E5D27F9EAF4AD1811929D2.srv155)>. Acesso em: 10 mar. 2016.

MME [Ministério de Minas e Energia]. **Soluções Energéticas para a Amazônia em Biomassa**. 2014. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: nov. de 2015.

MSPC. **MSPC informações técnicas**. Disponível em: <<http://www.mspc.eng.br/termo/termod0530.shtml>>. Acesso em: 14 out. 2016.

NOGUEIRA, B.F. **Aproveitamento energético dos resíduos urbanos: Utilização do Biogás Gerado em Aterros Sanitários**. 2013. 78 f. Monografia (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

NOZAKI, V.T. **Análise do setor de saneamento básico do brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007.

NUNES, E. RIBEIRO, L.M. PEIXOTO, L.V. **Agências reguladoras no brasil, Documento de Trabalho nº 65**, Instituto Databrasil – Ensino e Pesquisa, Observatório Universitário, Universidade Candido Mendes, 2007.

OCDE [Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico]. **The OECD Report on Regulatory Reform – Synthesis**. Paris, 1997. Disponível em: <<http://www.oecd.org/regreform/regulatory-policy/2391768.pdf>> Acesso em 20 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. **Países membros**. Disponível em: <<http://www.oecd.org/about/membersandpartners/#d.en.194378>>. Acesso em: 28 out. 2016.

\_\_\_\_\_. **Recommendation of The Council of the OECD on Improving the Quality of Government Regulation**. Paris, 1995. Disponível em [http://www.ois.oecd.org/olis/1995doc.nsf/LinkTo/OCDE-GD\(95\)95](http://www.ois.oecd.org/olis/1995doc.nsf/LinkTo/OCDE-GD(95)95)> Acesso em 11 mar. 2016.

OKOLI, C.; SCHABRAM, K. Working Papers on Information Systems: a Guide to Conducting a Systematic Literature Review of Information Systems Research. **Working Papers on Information Systems**, v. 10, n.26, p. 1-51, 2010.

OLIVEIRA, L.B.; ARAUJO, M.S.M; ROSA, L.P.; BARATA, M.; ROVERE, E.L.L. Analysis of the sustainability of using wastes in the Brazilian power industry. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.12, p.883-890, 2008.

OLIVEIRA, L.B.; HENRIQUES, R.M.; PEREIRA JR., A.O. Use of wastes as option for the mitigation of CO2 emissions in the Brazilian power sector. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.14, p. 3247-3251, 2010.

OLIVEIRA, L.B.; ROSA, L.P. Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits. **Energy Policy**, n.31, p. 1481-1491, 2003.

OLIVEIRA, E.M.; CARDOSO, T. **Potencial de produção de energia elétrica a partir de biogás gerado em aterros sanitários no Estado do Espírito Santo**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2017. (Em fase de publicação).

ONS [Operador Nacional do Sistema Elétrico]. **Mapas do SIN**. Brasília: ONS, 2015. Disponível em: < [http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/mapas\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx)>. Acesso em: 13 jul. 2016.

PARASKAKI, I.; LAZARIDIS, M. Quantification of landfill emissions to air: a case study of the Ano Liosia landfill site in the greater Athens area. **Waste Management & Research**, n. 23, p. 199–208., 2005.

PAVAN, M.C.O. **Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: Avaliação e Diretrizes para Tecnologias Potencialmente Aplicáveis no Brasil**. 2010. 187 f. Tese (Doutorado em Energia) – Programa de Pós- Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: estudo de caso**. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, PIPGE, Instituto de Eletrotécnica e Energia, IEE, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PECORA, V.; FIGUEIREDO N. J. V.; COELHO, S.T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. Conversão energética do biogás: Estudo de Caso em São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGORENERGIA, 2008, Botucatu. **Anais eletrônicos...** Botucatu: SIAGRE, 2008. Disponível em: [http://143.107.4.241/download/publicacoes/biogas\\_siagre2008.pdf](http://143.107.4.241/download/publicacoes/biogas_siagre2008.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2016.

PECORA, V.; GRISOLI, R.; CORTEZ C. L.; MORENO, M.; BRAUNE, A.; LIMA, A.; COELHO, S.; NOGUEIRA, A. R., L.; FERNANDES, E. D.; SILVA, G. A.; BERNSTAD SARAIVA SCHOTT, A. K. E. **Comparação do desempenho ambiental de alternativas para a destinação de resíduos sólidos urbanos com aproveitamento energético**. In: Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, 3., 2012, Maringá. **Anais...** Maringá: ABCV/, 2012.

PIECHOTA, G.; SKI, B.I.; BUCZKOWSKI, R. Development of measurement techniques for determination main and hazardous components in biogas utilised for energy purposes. **Energy Conversion and Management**, n. 68, p. 219-226, 2013.

PILAVACHI, P.A. Mini and micro-gas turbines for combined heat and power. **Applied Thermal Engineering**, v. 22, p. 2003-2014, 2002.

PINCETL, S. Nature, urban development and sustainability – What new elements are needed for a more comprehensive understanding? **Cities**, n. 29, p.32–37, 2012.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. Microeconomia. 2<sup>a</sup> ed. EUA, Macmillan, 1992.

PINHEIRO, G.; RENDEIRO, G.; PINHO, J.; MACEDO, E. Sustainable management model for rural electrification: Case study based on biomass solid waste considering the Brazilian regulation policy. **Renewable Energy**, n.37, p. 379-386, 2012.

PINTO JUNIOR, H. Q.; PIRES, M. C. P. **Assimetria de informações e problemas regulatórios**. Rio de Janeiro: Agência Nacional do Petróleo, 2000. (Nota Técnica, 9). Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/?dw=1992>>. Acesso em: 2 fev. 2015.

POLETTI, M.; DE MORI, P.R.; SCHNEIDER, V.E.; ZATTERA, A. Urban Waste Management in Caxias do Sul/Brazil: practices and challenges. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v.10, n.1, p.50-56, 2016.

POSNER, R.A. Taxation by regulation. In: JOSKOW, P. L. **Economic Regulation**. Cheltenham UK: Edward Elgar, 2000.

\_\_\_\_\_. **Regulation vs. Litigation: perspectives from economics and law**. Chicago: National Bureau of Economic Research Conference Report, University of Chicago Press, 2010.

\_\_\_\_\_. Theories of economic regulation. **Working Paper n.41**, New York: Center for economic analysis of human behavior and social institutions/National Bureau of Economic Research, 1974.

POSSAS, M. L.; PONDÉ, J. L.; FAGUNDES, J. **Regulação da concorrência nos setores de infraestrutura no Brasil**: elementos para um quadro conceitual. Rio de Janeiro: Instituto de Economia da UFRJ, 1997. Disponível em: <[http://www.ie.ufrj.br/grc/pdfs/regulacao\\_da\\_concorrenca\\_nos\\_setores\\_de\\_infraestrutura\\_no\\_brasil.pdf](http://www.ie.ufrj.br/grc/pdfs/regulacao_da_concorrenca_nos_setores_de_infraestrutura_no_brasil.pdf)>. Acesso em: jun. 2016.

POTTMAIER, D.; MELO, C.R.; SARTOR, M.N.; KUESTER, S. AMADIO, T.M. FERNANDES, C.A.H.; MARINHA, D.; ALARCON, O.E. The Brazilian energy matrix: From a materials science and engineering perspective, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.19, p. 678-691, 2013.

PROBIOGÁS [Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil]. **Barreiras e propostas de soluções para o mercado de biogás no Brasil**. Brasília, 2016. Disponível em: <[https://www.giz.de/en/downloads/giz\\_barreiras\\_digital\\_simples.pdf](https://www.giz.de/en/downloads/giz_barreiras_digital_simples.pdf)>. Acesso em: 17 out. 2016.

PROENÇA, Jadir Dias; PRADO, Carlos Eduardo Resende (Orgs.). **Melhoria da regulação no Brasil**: o papel da participação e do controle social. Brasília: Presidência da República, 2011.

QDAIS a, H.A.; HANI, K.B.; SHATNAWI a, N. Modeling and optimization of biogas production from a waste digester using artificial neural network and genetic algorithm. **Resources, Conservation and Recycling**, n. 54, p. 359-363, 2010.

RASI, S. **Biogas composition and upgrading to biomethane**. 2009. 76 f. Dissertação - Faculdade de Matemática e Ciências da Universidade de Jyväskylä, Finlândia, 2009.

REN21. **Global Status Report**. 2015. Disponível em: <<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 6361, de 18 de dezembro de 2012**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/e9589b9aabd9cac8032564fe0065abb4/f0294f2b42bc949483257ada00673a4a?OpenDocument>>. Acesso em: 13 jun. 2016.

\_\_\_\_\_. **Deliberação Agenera nº 257, de 24 de junho de 2008**. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.agenera.rj.gov.br/>>. Acesso em: 05 dez. 2016.

RÍO, P. D.; LINARES, P. Back to the future? Rethinking auctions for renewable electricity support. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 35, p.42–56, 2014.

ROVERE, E.L.L.; SOARES, J.B.; OLIVEIRA, L.B.; LAURIA, T.; Sustainable expansion of electricity sector: Sustainability indicators as an instrument to support decision making. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. n.14, p.422-429, 2010.

SAIANI, C. C. S.; TONETO JÚNIOR, R. Evolução do acesso a serviços de saneamento básico no Brasil (1970 a 2004). **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 79-106, abr. 2010.

SALGADO, L. H.. Agências regulatórias na experiência brasileira: um panorama do atual desenho institucional. **Texto para Discussão**, n. 941, Rio de Janeiro: IPEA (RJ), mar. 2003.

SALGADO, L.H. MOTTA, R.S. **Marcos regulatórios no Brasil: o que foi feito e o que falta fazer**. Rio de Janeiro: IPEA, 2005.

SALOMÃO FILHO, C. **Regulação da atividade econômica**. 1ª. ed. São Paulo:

SALOMON, K.R.; LORA, E.E.S. Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. **Biomass and Bioenergy**, n. 33, p. 1101-1107, 2009.

SANTOS, G.G.D. **Análise e perspectivas de alternativas de destinação dos resíduos sólidos urbanos: o caso da incineração e da disposição em aterro**. 2011. 208 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SÃO PAULO. **Decreto nº 58.659, de 4 de dezembro de 2012**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2012/decreto-58659-04.12.2012.html>>. Acesso em: 11 jun. 2016.

SEROA DA MOTTA, R.; MOREIRA, A. R. B. Efficiency and regulation in the sanitation sector in Brazil. **Utilities Policy**, v. 14, n. 3, 2006.



- SCHARFF, H.; JACOBS, J. Applying guidance for methane emission estimation for landfills. **Waste Management**, n. 26, p. 417–429, 2006.
- SCHELL, K.; CLARO, J.; FISCHBECK, P. Geographic attribution of an electricity system renewable energy target: Local economic, social and environmental tradeoffs. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 50, p. 884-902, 2015.
- SHARIATZADEH, F.; MANDAL, P.; SRIVASTAVA, A.K. Demand response for sustainable energy systems: a review, application and implementation strategy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 45, p. 343–350, 2015.
- SIKKEMA, R.; FAAIJ, A.P.C.; RANTA, T.; HEINIMO, J.; GERASIMOV, Y.Y., KARJALAINEN, T.; NABUURS, G.J. Mobilization of biomass for energy from boreal forests in Finland & Russia under present sustainable forest management certification and new sustainability requirements for solid biofuels. **Biomass and Bioenergy**, n. 71, p. 23-36, 2014.
- SILVA FILHO, C.R.V. **Gestão de resíduos sólidos no Brasil: situação e perspectivas**. São Paulo: ABRELPE, 2010.
- SILVA, R.C.; NETO, I.M.; SEIFERT, S.S. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 59, p.328-341, 2016.
- SMEETS, E.M.W.; FAAIJ, A.P.C.; LEWANDOWSKI, I.M.; TURKENBURG, W.C. A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. **Progress in Energy and Combustion Science**, n.33, p. 56-106, 2007.
- SORRELL, S. Reducing energy demand: a review of issues, challenges and approaches. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.47, p. 74-82, 2015.
- SRINIVASAN, K.K.; MAGO, P.J.; KRISHNAN, S.R. Analysis of exhaust waste heat recovery from a dual fuel low temperature combustion engine using an Organic Rankine Cycle. **Energy**, n.35, p.2387-2399, 2010.
- STIGLER, G.J. The theory of economic regulation. **Bell Journal of Economics and Management Science**, vol. 2, n.1, p. 3-21, 1971.
- SZKLO, A. S.; TOLMASQUIM, M. T. Strategic cogeneration: fresh horizons for the development of cogeneration in Brazil. **Applied Energy**, v. 69, n. 4, p. 257-268, 2001.
- THOMPSON, S.; SAWYER, J.; BONAM, R.; VALDIVIA, J.E. Building a better methane generation model: validating models with methane recovery rates from 35 Canadian landfills. **Waste Management**, n. 29, p.2085-2091, 2009.
- TOLMASQUIM, M.T. **Novo modelo do setor elétrico brasileiro**. 2. ed. Rio de Janeiro: Synergia; EPE: Brasília, 2015.
- TONETO JÚNIOR, R.; SAIANI, C. C. S. **Regulação econômica dos serviços de saneamento básico**. In: PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo (Coordenador). *Gestão do saneamento básico: abastecimento de água e esgotamento sanitário*. Barueri (SP): Manole, 2012, p. 541-556;
- TRIGUEIRO, A. Transformação de lixo em energia já é realidade no Brasil. **Jornal da Globo**, Rio de Janeiro, 28 fev. 2013. Disponível em:<<http://g1.globo.com/jornal-da-globo/noticia/2013/03/projetos-de-producao-de-biogas-no-brasil-comecam-funcionar.html>>. Acesso em 28 jun. 2015.

TUPPER, H. C.; RESENDE, M. Efficiency and regulatory issues in the Brazilian water and sewage sector: an empirical study. **Utilities Policy**, v. 12, n. 1, 2004.

TURKENBURG, W.C. (coord.). **Renewable energy technologies In World Energy Assessment of the United Nations**, UNDP, New York, 2000.

US EPA [United States Environmental Protection Agency]. **Landfill gas emissions model (LandGEM) Version 3.02 user's guide**. 2005. Disponível em: <<http://www3.epa.gov/ttn/catc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>>. Acesso em: 10 nov. de 2015.

US EPA [United States Environmental Protection Agency]. **LFG Energy Project Development Handbook**. 2015. Disponível em: <[http://www3.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdf\\_full.pdf](http://www3.epa.gov/lmop/documents/pdfs/pdf_full.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2016.

VALENTE, V.B. **Análise de viabilidade econômica e escala mínima de uso do biogás de reatores anaeróbios em estações de tratamento de esgoto no Brasil**. 2015. 198 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

VARIAN, R. **Microeconomia: princípios básicos**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

VEIGA, A.P.B. **Contribuição à avaliação das barreiras e oportunidades regulatórias, econômicas e tecnológicas do uso de biometano a partir de gás de aterro no Brasil**. 2016. 173 F.(Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Energia - Instituto de Energia e Ambiente, IEA USP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

VOJNOVIC, I. Research, politics, policy and practice. **Cities**, n.41, p.S30-S44, 2014.

WBA [World Bioenergy Association]. **WBA Global Bioenergy Statistics 2015**. Disponível em: <<http://www.worldbioenergy.org/content/wba-gbs>>. Acesso em: 04 ago. 2016.

\_\_\_\_\_. **WBA Global Bioenergy Statistics 2016**. Disponível em: <<http://www.worldbioenergy.org/content/wba-gbs>> Acesso em: 17 set. 2016.

YANG, N.; ZHANG, H.; SHAO, L.; LU, F.; HE, P. Greenhouse gas emissions during MSW landfilling in China: Influence of waste characteristics and LFG treatment measures. **Journal of Environmental Management**, n.129, p.510-521, 2013.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ZANETTE, A.L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. 2009. 97f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

ZGLOBISZ, N.; CASTILLO, A.C.; GRIMES, S.; JONES, P. Influence of UK energy policy on the deployment of anaerobic digestion. **Energy Policy**, n.38, p.5988-5999, 2010.

ZHENG, C. W.; PAN, J. Assessment of the Global Ocean Wind Energy Resource. In: **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n.33, p. 382-391, 2014.

ZHOU, H.; MENG, A.; LONG, Y.; LI, Q.; ZHANG, Y. An overview of characteristics of municipal solid waste fuel in China: physical, chemical, composition and heating value. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, n. 36, p. 107-122, 2014.

## APÊNDICE A



## Questionário das Usinas Termelétricas operando com biogás de RSU no Brasil

### Apresentação

O Questionário apresentado a seguir faz parte de um Projeto de Pesquisa elaborado pelo Laboratório de Gestão em Saneamento Ambiental (Lagesa) da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes) que busca levantar dados e informações sobre as usinas termelétricas que operam com biogás de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil, servindo de base para elaboração de dissertação de mestrado, na área de Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos para geração de energia.

As informações e os dados repassados por este formulário estarão sob total sigilo, interessando apenas como fonte para elaboração de estudos acadêmicos. A divulgação de nomes de empresas ou responsáveis técnicos, caso ocorra, se dará apenas com a permissão dos mesmos.

Favor responder até 30/01/2017.

PRÓXIMA

Página 1 de 4

## APÊNDICE B

Ofício enviado às UTEs



Vitória - ES, 18 de Novembro de 2016.

Memo nº 150/2016 – LAGESA

A Termoverde Salvador S.A.,

O Laboratório de Gestão Ambiental (LAGESA), lotado no Centro Tecnológico (CT) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), criado pela Portaria nº 1310, de 09 de junho de 2014, tem desempenhado atividades de apoio na elaboração de políticas públicas relacionadas ao Saneamento Ambiental em conjunto com o Programa de Pós-graduação em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (PPGES) - CT/UFES.

Uma de nossas atuais pesquisas visa realizar um levantamento sobre as principais questões referentes ao reaproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos por meio do biogás gerado em aterros que servem ao Estado do Espírito Santo. Nossa intenção é mapear as usinas em operação no Brasil a fim de verificar os parâmetros técnicos e regulatórios para auxiliar no direcionamento do que está sendo calculado e analisado na pesquisa. E, para tanto, temos entrado em contato com as usinas e solicitado resposta ao questionário por meio de link disponível no e-mail enviado. Assim, solicitamos preenchimento do questionário até 25/11/2016.

As informações e os dados repassados por este formulário estarão sob total sigilo, interessando apenas como fonte para elaboração de estudos acadêmicos. A divulgação de nomes de empresas ou responsáveis técnicos, caso ocorra, se dará apenas com a permissão dos mesmos.

Agradecemos pela colaboração.

Atenciosamente,

Renato Ribeiro Siman

DIRETOR DO LAGESA/CT/UFES