

SÉRIE
RECURSOS ENERGÉTICOS

NOTA TÉCNICA DEA 16/14

Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos

Rio de Janeiro
Outubro de 2014



Ministério de
Minas e Energia



(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - “double sided”)



Governo Federal

Ministério de Minas e Energia

Ministro
Edison Lobão

Secretário Executivo
Márcio Pereira Zimmermann

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento
Energético
Altino Ventura Filho

SÉRIE
RECURSOS ENERGÉTICOS

NOTA TÉCNICA DEA 16/14
**Economicidade e
Competitividade do
Aproveitamento Energético dos
Resíduos Sólidos Urbanos**



Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei n° 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Mauricio Tiomno Tolmasquim

Diretor de Estudos Econômicos e Energéticos
Amilcar Guerreiro

Diretor de Estudos de Energia Elétrica
José Carlos de Miranda Farias

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível
Mauricio Tiomno Tolmasquim (interino)

Diretor de Gestão Corporativa
Álvaro Henrique Matias Pereira

Coordenação Geral
Mauricio Tiomno Tolmasquim
Amilcar Guerreiro

Coordenação Executiva
Ricardo Gorini de Oliveira

Coordenação Técnica
Luciano Basto Oliveira

Equipe Técnica
André Luiz Rodrigues Osório
Gustavo Naciff de Andrade
Luciano Basto Oliveira
Luiz Gustavo Silva de Oliveira

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede

SCN – Quadra 1 – Bloco C Nº 85 – Salas 1712/1714
Edifício Brasília Trade Center
70711-902 - Brasília – DF

Escritório Central

Av. Rio Branco, n.º 01 - 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro – RJ

Rio de Janeiro
Outubro de 2014

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso - “double sided”)

ECONOMICIDADE E COMPETITIVIDADE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO	6
2. CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	7
2.1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA DOS EMPREENDIMENTOS	7
2.1.1 UNIDADE DE INCINERAÇÃO	7
2.1.2 UNIDADE DE BIODIGESTÃO	8
2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CONDICIONANTES	10
2.2.1 TAXA DE TRATAMENTO DE LIXO	10
2.2.2 VALORAÇÃO DA ENERGIA CONSERVADA COM A RECICLAGEM	11
2.2.3 CONDIÇÕES FINANCEIRAS	12
2.2.4 USO DO BIOFERTILIZANTE	12
2.2.5 A COMERCIALIZAÇÃO DOS ENERGÉTICOS	12
2.3 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS PARA SIMULAÇÃO	14
3. ECONOMICIDADE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS URBANOS SÓLIDOS	15
3.1 GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	15
3.1.1 VENDA NO MERCADO LIVRE	22
3.1.2 AUTOPRODUÇÃO	22
3.1.3 CONTRATAÇÃO VIA NET METERING	22
3.1.4 CONCLUSÕES	23
3.2 PRODUÇÃO DE BIOMETANO	24
3.2.1 AUTOPRODUÇÃO	25
3.2.2 VENDA COMO GNV	25
3.2.3 INJEÇÃO DE BIOMETANO NA REDE	25
3.2.4 CONCLUSÕES	26

3.3	MODELOS DE NEGÓCIOS	26
3.3.1	CONTRATOS DE COMPRA GARANTIDA	26
3.3.2	REDUÇÃO DE CUSTOS PARA PREFEITURAS	27
3.3.3	CONCLUSÕES	30
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
5.	REFERÊNCIAS	35

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 - Unidade de Incineração Típica</i>	8
<i>Tabela 2 - Unidades de Biodigestão Típicas</i>	10
<i>Tabela 3 - Projetos de Reciclagem apresentados ao PEE pelas distribuidoras</i>	11
<i>Tabela 4 - Dados para simulação das unidades analisadas</i>	14
<i>Tabela 5 - Premissas para as análises econômicas</i>	14
<i>Tabela 6 - Tarifas de equilíbrio para geração de eletricidade a partir de RSU casos base mais incentivos.</i>	15
<i>Tabela 7 - Tarifas de equilíbrio para geração de eletricidade a partir de RSU casos base mais sensibilidades</i>	17
<i>Tabela 8 - Tarifas de equilíbrio para produção de biometano a partir de RSU caso base mais incentivos.</i>	24
<i>Tabela 9 - Tarifas de equilíbrio para produção de biometano a partir de RSU caso base mais sensibilidades.</i>	24

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Processo de Incineração dos RSU</i>	8
<i>Figura 2: Processo de digestão anaeróbica dos RSU</i>	9
<i>Figura 4: Possibilidades de comercialização dos energéticos de resíduos</i>	13
<i>Figura 4: Tarifas médias por região e classe de consumo, sem ICMS, versus Incineração</i>	18
<i>Figura 5: Tarifas médias por região e classe de consumo, sem ICMS, versus Incineração (Sensibilidades)</i>	19
<i>Figura 6: Tarifas médias por região e classe de consumo, sem ICMS, versus Biodigestão Anaeróbica</i>	20
<i>Figura 7: Tarifas médias por região e classe de consumo, sem ICMS, versus Biodigestão Anaeróbica (Sensibilidades)</i>	21

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Após o mapeamento do potencial técnico do aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos, expostos na Nota Técnica (NT) de Inventário Energético de Resíduos Sólidos Urbanos, é necessária a análise da economicidade destes potenciais. A identificação dos potenciais econômicos, dos custos destas energias e mercados competitivos são fatores fundamentais para a viabilização deste aproveitamento energético. Estes são os principais objetivos deste trabalho.

A incineração e a digestão anaeróbica foram as rotas tecnológicas adotadas para quantificar o potencial de aproveitamento energético no trabalho anterior, com a oferta de energia elétrica, biogás/biometano e energia conservada, analisada conjuntamente através da reciclagem dos materiais nas rotas selecionadas. Assim, somente serão realizadas as análises econômicas para essas rotas neste trabalho.

O item após esta introdução traz a apresentação da metodologia das análises econômicas e de competitividade que serão realizadas para a avaliação do potencial econômico das rotas tecnológicas. Em seguida, será realizada a caracterização econômica de cada opção, caracterizando todos os parâmetros necessários para as análises econômicas e de competitividade. Entre os custos estão os de investimentos das tecnologias, de instalação, de O&M, os financeiros - diretamente ligados às condições de financiamento - entre outros. Já entre os benefícios ou receitas consideradas estão o tratamento do lixo, a possibilidade de monetização da energia conservada através da reciclagem, a valoração do composto orgânico e incentivos como a renúncia fiscal ou estímulos creditícios.

Por fim, a análise de competitividade dos aproveitamentos energéticos de RSU será realizada à luz dos mercados que apresentam maior viabilidade aos energéticos, seguida das considerações finais.

2. CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A caracterização econômica dos empreendimentos de aproveitamento energético de resíduos urbanos deve ser realizada juntamente com os principais condicionantes econômico-financeiros dos investimentos. Por isso, nesta seção serão apresentados os empreendimentos típicos considerados, os principais condicionantes para a decisão do investidor e as variáveis que serão simuladas nas análises econômicas. Por fim será apresentada a consolidação dos dados necessários às simulações econômicas.

2.1 CARACTERIZAÇÃO ECONÔMICA DOS EMPREENDIMENTOS

A análise econômica e de competitividade será realizada somente para as tecnologias de incineração e de biodigestão, seguindo o mesmo modelo da NT de Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos. Além disto, há pouca disponibilidade de dados de investimentos confiáveis para outras rotas tecnológicas.

Vale destacar novamente que, apesar do entendimento da necessidade de existência de aterros, as análises da alternativa aterro não serão aqui realizadas devido ao fato de que a PNRS determina o aterramento somente dos resíduos que não encontrem viabilidade econômica em outros usos e, assim, havendo a necessidade da verificação das viabilidades das alternativas não-aterro.

2.1.1 UNIDADE DE INCINERAÇÃO

Usinas de incineração para geração elétrica operam de maneira semelhante a termelétricas convencionais utilizadas para atendimento à base, no entanto, apresentam algumas características específicas por conta das características do combustível.

A primeira unidade da usina é a área de recepção de materiais, onde há uma separação das parcelas secas e úmidas para estocagem, por até uma semana, de modo a permitir sua combinação e adequar o poder calorífico do combustível que entra nos queimadores.

Todas as outras unidades são idênticas as de térmicas convencionais com sistemas de alimentação, câmara de combustão, queimadores e caldeiras de recuperação, sistema de tratamento de gases, sistema de disposição e tratamento de resíduos e a planta elétrica. Uma unidade de incineração típica pode ser vista na figura a seguir.

Figura 1: Processo de Incineração dos RSU



Os dados técnicos e econômicos que serão utilizados nas simulações dos custos de geração de eletricidade são expostos na tabela a seguir, utilizando a Usina Verde como referência¹.

Tabela 1 - Unidade de Incineração Típica

Capacidade [t/dia]	500
Capacidade [MW]	30
Investimento [kR\$]	420.000
Fator de Capacidade	90%
O&M [% do investimento/ano]	10%
Eficiência elétrica [%]	20%
PCI [GJ/t]	8,37

Fonte: Elaboração própria, com dados da Usina Verde.

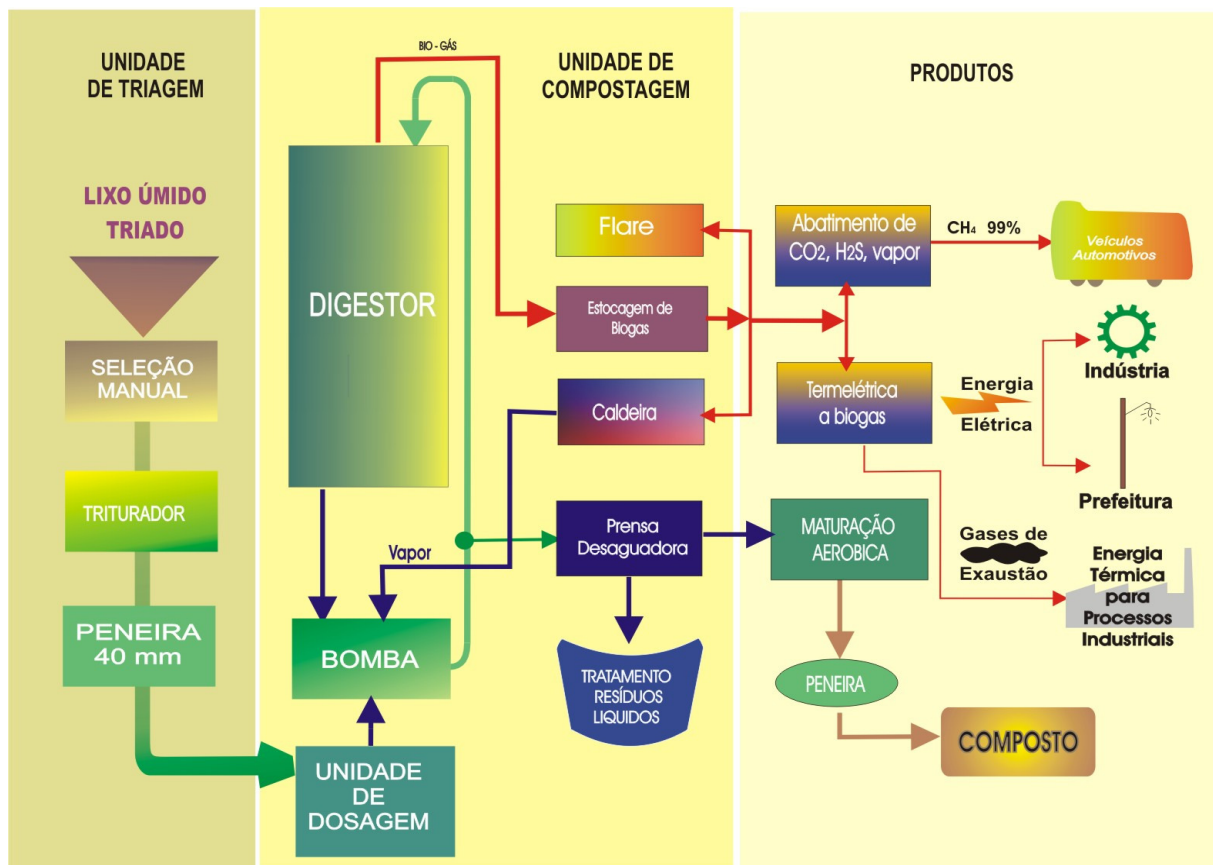
2.1.2 UNIDADE DE BIODIGESTÃO

Como as Diretivas Europeias estabelecem 2014 como limite da destinação de restos orgânicos em aterros, em virtude do compromisso de evitar a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, a digestão anaeróbica passou a ser uma alternativa importante e já ocupa a posição de terceira principal rota tecnológica, com cerca de 125 usinas em funcionamento - em todo o planeta (ETC/RWM, 2008). Esta solução, que

¹ Foram utilizados os valores da Usina Verde devido a incerteza de outros valores encontrados e de ser única experiência de Incineração no Brasil com geração elétrica

recupera o gás espontaneamente gerado em biodigestores - totalizando, em 18 dias, o equivalente à metade do que aquela mesma quantidade de lixo geraria em um aterro no decorrer de 80 anos -, evita perdas (por ser hermeticamente vedada) e garante um abastecimento continuado de combustível em torno de $55 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$ de restos alimentares (OWS, 2008). O fluxograma da unidade típica utilizada para as análises está apresentado na figura a seguir.

Figura 2: Processo de digestão anaeróbica dos RSU



Fonte: OWS, 2008.

Assim, como a planta de incineração, a primeira unidade da planta de biodigestão é uma unidade de triagem e pré tratamento dos resíduos, necessária para adequação dos resíduos ao processo da biodigestão. Em seguida, o resíduo pré tratado é encaminhado ao digestor produzindo biogás e composto orgânico, que seguem para unidades de tratamento e estocagem.

Dada a produção do biogás, este pode seguir duas rotas diferentes: a geração de energia elétrica ou a produção de biometano - que podem acontecer simultaneamente. Para esta análise foram consideradas duas plantas independentes, ou seja, uma unidade exclusiva para geração de eletricidade e outra unidade exclusiva para a produção de biometano. As características técnicas e econômicas estão apresentadas na tabela a seguir, utilizando como referência custos para uma unidade OWS².

² Foram utilizados os dados do sistema OWS, pois foram os únicos que foram fornecidos com maior grau de detalhamento no momento de elaboração das análises.

Tabela 2 - Unidades de Biodigestão Típicas

	OWS - DRANCO para Eletricidade		OWS - DRANCO para Biometano
Capacidade [t/dia]	250	Capacidade [t/dia]	250
Capacidade [MW]	1	Capacidade [m ³ /h]	190
Investimento [kR\$]	45.000	Investimento [kR\$]	45.000
Fator de Capacidade	90%	Fator de Capacidade	90%
O&M [% do investimento/ano]	10%	O&M [% do investimento/ano]	10%
Eficiência elétrica [%]	35%	Eficiência de purificação [%]	70%
Participação de CH ₄ [%]	60%	Produção de biofertilizante [t/t]	0,15
PCI do biogás [MJ/m ³]	21,60		
Produção de biofertilizante [t/t]	0,15		

Fonte: Elaboração Própria.

Além disso, para os custos de investimento da planta de biometano foi assumido que o custo de investimento na unidade de tratamento do biogás para atingir o nível de qualidade de biometano (tratamento, compressão e estocagem) e os respectivos tributos são semelhantes à unidade de geração de eletricidade - com base em valores orçados para a estação de tratamento de esgoto Alegria com a empresa JANUS & PERGHER LTDA³.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DOS CONDICIONANTES

Além dos condicionantes técnicos, diversos outros fatores influenciam o investimento em determinada tecnologia de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos. Assim, a decisão pelo investimento em unidades de conversão energética de resíduos é dependente de uma série de condicionantes fundamentais: a decisão tecnológica e escala da unidade (já discutidas previamente), verificação da viabilidade econômica financeira e um modelo de gestão adequado. Alguns dos principais condicionantes serão, a seguir, tratados especificamente.

2.2.1 TAXA DE TRATAMENTO DE LIXO

No Brasil, o pagamento das prefeituras varia entre R\$ 11/t e R\$ 60/t (SNIS, 2011). É de se esperar que os custos de tratamento dos resíduos sólidos urbanos sejam crescentes no Brasil, nos próximos anos, sobretudo pela exigência da Política Nacional de Resíduos Sólidos de eliminação de lixões e somente rejeitos serem destinados a aterros⁴. Isto será resultado, também, das pressões internacionais sobre combate ao possível “dumping”

³ Assim, como para o caso da incineração e para o orçamento do sistema de biodigestão, no momento da realização das análises, somente estava disponível um orçamento para os sistemas de tratamento do biogás.

⁴ No Brasil a destinação final do lixo é cobrada em valores muito abaixo dos praticados nos países do hemisfério norte tende a tornar-se uma barreira comercial para o Brasil – uma vez que o baixo custo reflete a utilização de práticas proibidas na Comunidade Europeia, além de causar poluição local que repercute nos custos do sistema de saúde.

ambiental e, ao mesmo tempo, da população local exigindo melhoria na qualidade do tratamento aplicado.

Como os aterros privados mais recentes têm cobrado cerca de R\$ 60/t (SNIS, 2011), estima-se que este valor seja convertido em patamar comum quando acabar a vida útil dos principais vazadouros atualmente utilizados, o que acontecerá em até três anos - visto que a grande maioria foi iniciada na década de 1970 e já superou a expectativa de vida útil. Em virtude da faixa atual de custo ser de R\$ 15 a 60/t, utilizou-se o valor de R\$ 50/t no período analisado.

2.2.2 VALORAÇÃO DA ENERGIA CONSERVADA COM A RECICLAGEM

A terceira receita possível é decorrente da Conservação de Energia proporcionada pela reciclagem dos papéis, plásticos, vidros e metais presentes nos RSU. Os valores hoje já praticados para a energia conservada pela reciclagem são os estabelecidos pelos projetos aprovados junto ao Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) expostos na Tabela 3, a seguir.

Tabela 3 - Projetos de Reciclagem apresentados ao PEE pelas distribuidoras

<i>Empresa</i>	<i>Tipologia</i>	<i>Energia Economizada (MWh/ano)</i>	<i>TOTAL (R\$)</i>	<i>Data Prevista de Conclusão</i>	<i>Custo (R\$/MWh)</i>
CEMAR	Projeto Piloto	13.109,20	1.756.380,00	13/2/2013	66,99
COELCE	Baixa Renda	6.829,04	865.400,00	8/9/2009	127,07
COELCE	Residencial	11.684,87	1.462.690,00	12/5/2011	125,52
COELCE	Baixa Renda	15.752,95	1.857.590,00	20/7/2012	117,92
ENERGISA	Projeto Piloto	12.723,52	3.133.830,00	15/1/2014	123,15
LIGHT	Projeto Piloto	2.402,14	833.652,00	20/7/2012	296,65
AMPLA	Projeto Piloto	1.593,44	1.000.475,20	31/12/2009	631,33
AMPLA	Baixa Renda	11.063,04	1.000.440,00	31/12/2010	90,93
AMPLA	Residencial	11.063,04	1.000.440,00	31/12/2010	90,93
AMPLA	Residencial	1.213,37	1.218.400,00	30/4/2011	977,37
AMPLA	Residencial	2.100,04	1.214.790,00	30/5/2012	561,54
ELEKTRO	Baixa Renda	9.737,39	1.384.950,00	31/3/2013	81,24

Fonte: ANEEL, 2012a.

Cabe ressaltar que o valor médio do PEE nos últimos cinco anos, conforme visto na referência GARCIA (2008), é bastante próximo ao decorrente exclusivamente desta atividade, na faixa de R\$ 112/MWh. O valor da energia conservada foi atribuída através dos desembolsos médios do Programa de Eficiência Energética (PEE), propostos por diversas distribuidoras e aprovados pela ANEEL, como exposto anteriormente, no valor de R\$/MWh 112,86.

Outros pontos que importa destacar são: (i) que esses projetos ainda não possuem uma metodologia única junto a ANEEL e (ii) que os recursos do PEE não podem ser vistos como única forma de viabilizar a conservação de energia da reciclagem. Todavia, a reciclagem pode alavancar o mercado de eficiência energética no Brasil, caso sejam estabelecidas metodologias e formas de valoração e apropriação da energia conservada.

2.2.3 CONDIÇÕES FINANCEIRAS

As condições financeiras para os empreendimentos de aproveitamento energético de resíduos urbanos tem papel relevante na decisão do investidor. Isto acontece, pois, diferente do investimento em aterro, que tem como condição de investimento inicial a necessidade de aporte de somente 40% do valor do empreendimento, as alternativas, como unidades de biodigestão ou incineração, necessitam de aporte inicial de 100% dos valores dos empreendimentos.

Essa dicotomia cria uma barreira financeira para as alternativas de aproveitamento energético não aterro, o que requer condições de financiamento adequadas as diferentes realidades municipais para o cumprimento da PNRS.

Para as análises aqui realizadas serão consideradas as seguintes premissas: o investimento, para ambos os casos, foi distribuído durante o período de dois anos; a taxa de juros foi de 4,5% e a taxa de retorno foi de 10,0%, ambas as taxas reais ao ano; 80% do investimento será financiado; o sistema de depreciação foi o PRICE em 20 anos, como na linha BNDES para energias alternativas⁵.

2.2.4 USO DO BIOFERTILIZANTE

Para o caso específico do investimento em unidades de biodigestão, há a possibilidade de realização de um tratamento do composto residual de processo para que este alcance os padrões de biofertilizante.

Para os casos de biodigestão rural esta opção é natural, dado que as unidades já estão em localidades rurais que demandam fertilizantes. Já para o caso da biodigestão urbana dois fatores dificultam esse aproveitamento: a necessidade de transporte para as zonas rurais e tratamento mais rígido por conta da existência de diferentes contaminantes nos resíduos biodigeridos.

Por estes motivos, foi desprezada a remuneração pelo composto orgânico, produzido na escala de 15% da fração orgânica encaminhada para os biodigestores.

2.2.5 A COMERCIALIZAÇÃO DOS ENERGÉTICOS

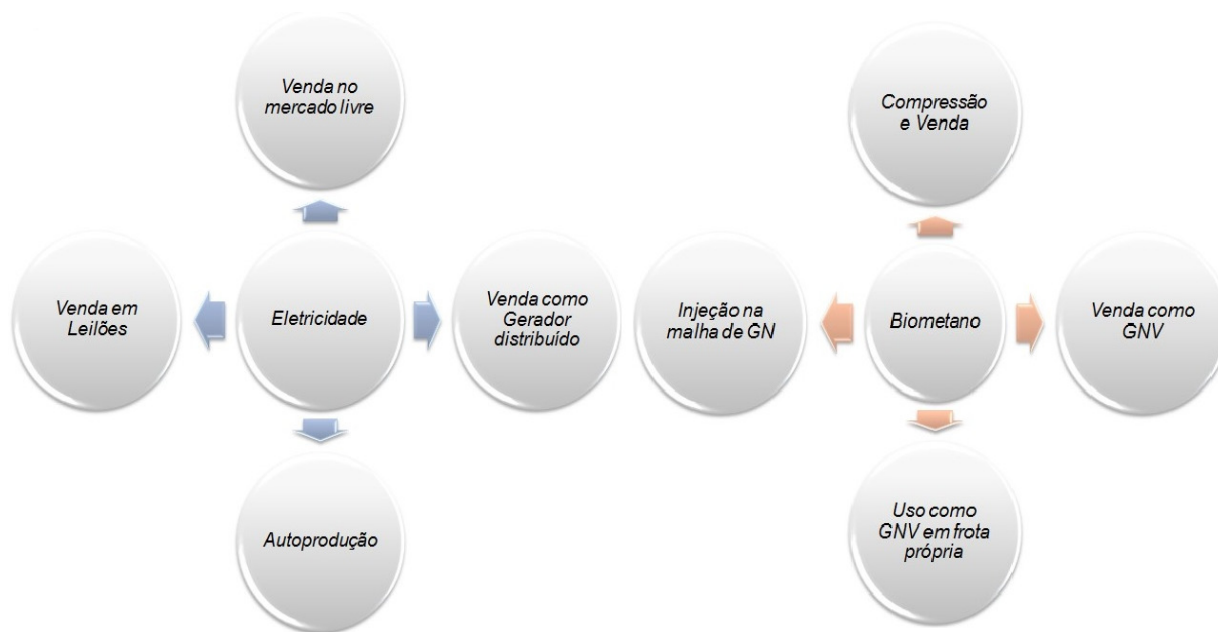
Um fator de extrema importância na decisão do investimento é a comercialização do energético produzido, pois a competitividade e, conseqüentemente, a rentabilidade do projeto difere em função dos nichos de mercados definidos.

⁵http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Apoio_Financeiro/Produtos/FINEM/energias_alternativas.html

Para o mercado elétrico as regras de comercialização de energia são muito bem definidas pelo decreto 5.163/2004 e, mais recentemente, pela resolução normativa da ANEEL 82/2012. Como as unidades analisadas apresentam escalas diferentes, para incineração 30MW e para biodigestão 1MW, os nichos de mercado alvos são também diferentes. Enquanto a incineração tem como principais nichos a venda no ACL, leilões, e autoprodução para consumidores não baixa tensão, a biodigestão encontra nichos específicos de menor escala como a venda às distribuidoras pelo custo do VR e a opção do net metering.

Dado que o biometano pode ser um substituto perfeito do Gás Natural, contudo, já distribuído, os mercados que podem ser atendidos são diversos e vão desde o mercado de gás encanado residencial até o mercado de gás veicular. Este último concorre com combustíveis tradicionais como a gasolina e o diesel. Também há a possibilidade de autoprodução, ou seja, atendimento da própria frota, ou qualquer outra demanda própria por combustíveis⁶. O detalhamento dos mercados e nichos específicos para o biometano serão alvos de estudos futuro.

Figura 3: Possibilidades de comercialização dos energéticos de resíduos



⁶ Neste ponto vale destacar a promulgação da lei estadual do Rio de Janeiro 6.361/2012 que instituiu a política estadual de Gás Natural Renovável em que obriga as concessionárias de Gás a comprarem até 10% do seu mercado (excluído às termoeletrício).

2.3 CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS PARA SIMULAÇÃO

A Tabela 4, a seguir, sintetiza os dados utilizados para simulação das tarifas de equilíbrio.

Tabela 4 - Dados para simulação das unidades analisadas

<i>Incineração</i>		<i>DRANCO para Eletricidade</i>		<i>DRANCO para Biometano</i>	
<i>Capacidade [t/dia]</i>	500	<i>Capacidade [t/dia]</i>	250	<i>Capacidade [t/dia]</i>	250
<i>Capacidade [MW]</i>	30	<i>Capacidade [MW]</i>	1	<i>Capacidade [m³/h]</i>	190
<i>Investimento [kR\$]</i>	420.000	<i>Investimento [kR\$]</i>	45.000	<i>Investimento [kR\$]</i>	45.000
<i>Fator de Capacidade</i>	90%	<i>Fator de Capacidade</i>	90%	<i>Fator de Capacidade</i>	90%
<i>O&M [% do investimento/ano]</i>	10%	<i>O&M [% do investimento/ano]</i>	10%	<i>O&M [% do investimento/ano]</i>	10%
<i>Eficiência elétrica [%]</i>	20%	<i>Eficiência elétrica [%]</i>	33%	<i>Eficiência de purificação [%]</i>	70%
<i>PCI [GJ/t]</i>	8,37	<i>Participação de CH₄ [%]</i>	60%	<i>Produção de biofertilizante [t/t]</i>	0,15
<i>Vida útil [anos]</i>	20	<i>PCI do biogás [MJ/m³]</i>	21,60	<i>Vida útil [anos]</i>	20
		<i>Produção de biofertilizante [t/t]</i>	0,15		
		<i>Vida útil [anos]</i>	20		

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 5 - Premissas para as análises econômicas

<i>Tarifa de Tratamento do Lixo [R\$/t]</i>	50
<i>Custo da Energia Conservada [R\$/MWh]</i>	112,86
<i>Preço de Venda do biofertilizante [R\$/t]</i>	0
<i>juros [%]</i>	4,50%
<i>TIR [%]</i>	10,00%
<i>Equity [%]</i>	20%
<i>Prazo do financiamento [anos]</i>	16,00

Fonte: Elaboração própria.

3. ECONOMICIDADE DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS URBANOS SÓLIDOS

O objetivo desta análise é, dadas as condições correntes do mercado de energia, verificar a economicidade e competitividade dos energéticos produzidos. As simulações que serão realizadas foram baseadas na construção do fluxo de caixa completo (entradas e saídas de caixa correspondentes as receitas e despesas de investimento e operacionais ao longo de sua vida útil) para o projeto típico de cada tecnologia, descrito adiante, e calculada a tarifa de equilíbrio para a eletricidade e para o biometano. Assim, o custo simulado corresponde ao custo em que o valor presente líquido do fluxo de caixa é zero. As simulações serão realizadas com a mesma metodologia utilizada em EPE (2012) para o caso da geração fotovoltaica distribuída.

Será simulado um caso base e, em seguida, serão simulados casos específicos, correspondentes a nichos de mercado, como isenções de impostos e outras condições como a contabilização da remuneração da energia conservada. Ainda serão verificadas sensibilidades em relação aos valores de financiamento e investimento apresentados anteriormente.

3.1 GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

A partir dos dados e caracterizações apresentadas foram estimadas as tarifas de equilíbrio para empreendimentos típicos, sendo no caso base consideradas como receita somente a taxa de tratamento do RSU e a remuneração com energia elétrica.

Tabela 6 - Tarifas de equilíbrio para geração de eletricidade a partir de RSU casos base mais incentivos.

TECNOLOGIA	CENÁRIO	TARIFA (R\$/MWh)
BIODIGESTÃO PARA ELETRICIDADE	Base	514,23
	Base + isenção de impostos (PIS/COFINS na receita, IR e CSLL)	416,28
	Base + conservação	379,43
	Base + todos	281,49
INCINERAÇÃO	Base	303,73
	Base + conservação	292,04
	Base + isenção de impostos (PIS/COFINS na receita, IR e CSLL)	258,47
	Base + todos	246,79

Fonte: Elaboração própria.

Os valores obtidos, ao comparar com os praticados nos leilões do setor elétrico (R\$125/MWh - preço médio do 1º leilão A-5 de 2013⁷), mostram a inviabilidade de disputa nesta seara.

⁷ Neste leilão foram contratadas térmicas a biomassa com valores aproximados a R\$135/MWh.

Dois pontos, que não entraram nas análises anteriores e podem melhorar a competitividade dos projetos, merecem destaque.

O primeiro deles é a disponibilidade de financiamento através do Fundo Clima, aplicado a projetos de redução de emissões de GEE⁸. Esta opção, quando tomada por entes públicos, estados ou municípios, pode melhorar as condições do financiamento analisadas. Nessas condições as taxas de juros reais podem atingir 2,55% a.a enquanto a parcela de financiamento pode chegar a 90%.

O segundo ponto que merece destaque é relativo aos valores dos empreendimentos típicos utilizados nas análises apresentadas, referentes a uma única tecnologia no ano de 2008. Desde tal data, reduções nos custos dos projetos já foram observadas e, para o caso da biodigestão, valores de custos médios atuais de projetos alemães são de 15% a 30% dos custos apresentados aqui neste trabalho, conforme (HEINRICH, 2012). Para a incineração, em projetos de ciclo combinado, segundo a patente WO2010/057279 A1, há uma sinalização de redução de 30% em relação aos valores de investimento apresentados da análise realizada anteriormente. Apesar dessas sinalizações de redução de custos de investimento, é importante destacar que há certo grau de risco⁹ em assumi-las nos casos bases, por este motivo foram tratadas como sensibilidades¹⁰.

Assim, fez-se necessária a realização de uma análise com essas sensibilidades, para a verificação dessas novas condições. Para o caso da biodigestão, não será utilizado o valor de investimento de 15% do analisado pois, de maneira conservadora, será utilizado um valor de 50%, entendendo que há necessariamente um custo de adequação tecnológica. Já para a incineração será analisada a redução completa de 30% nos custos de investimento. Com essas novas condições os valores são apresentados a seguir¹¹.

⁸ As questões das mudanças climáticas e das emissões de gases de efeito estufa em empreendimentos de aproveitamento energético de resíduos são apresentadas em anexo neste trabalho.

⁹ Para os valores assumidos nos casos bases existem plantas em escala comercial operando.

¹⁰ É importante destacar que as reduções de custos nas diferentes tecnologias apresentam diferentes naturezas. Enquanto para o caso da incineração a redução é consequência de determinado desenvolvimento tecnológico, ainda não posto em prática, na biodigestão já há tecnologia desenvolvida e a redução é consequência do desenvolvimento de projetos e serviços no Brasil. Assim, a captura dessas reduções tendem a acontecer em ritmos diferentes.

¹¹ Vale destacar que como há sensibilidade nas condições de investimentos e nas condições de financiamento, não foram necessárias as análises de isenção de tributação.

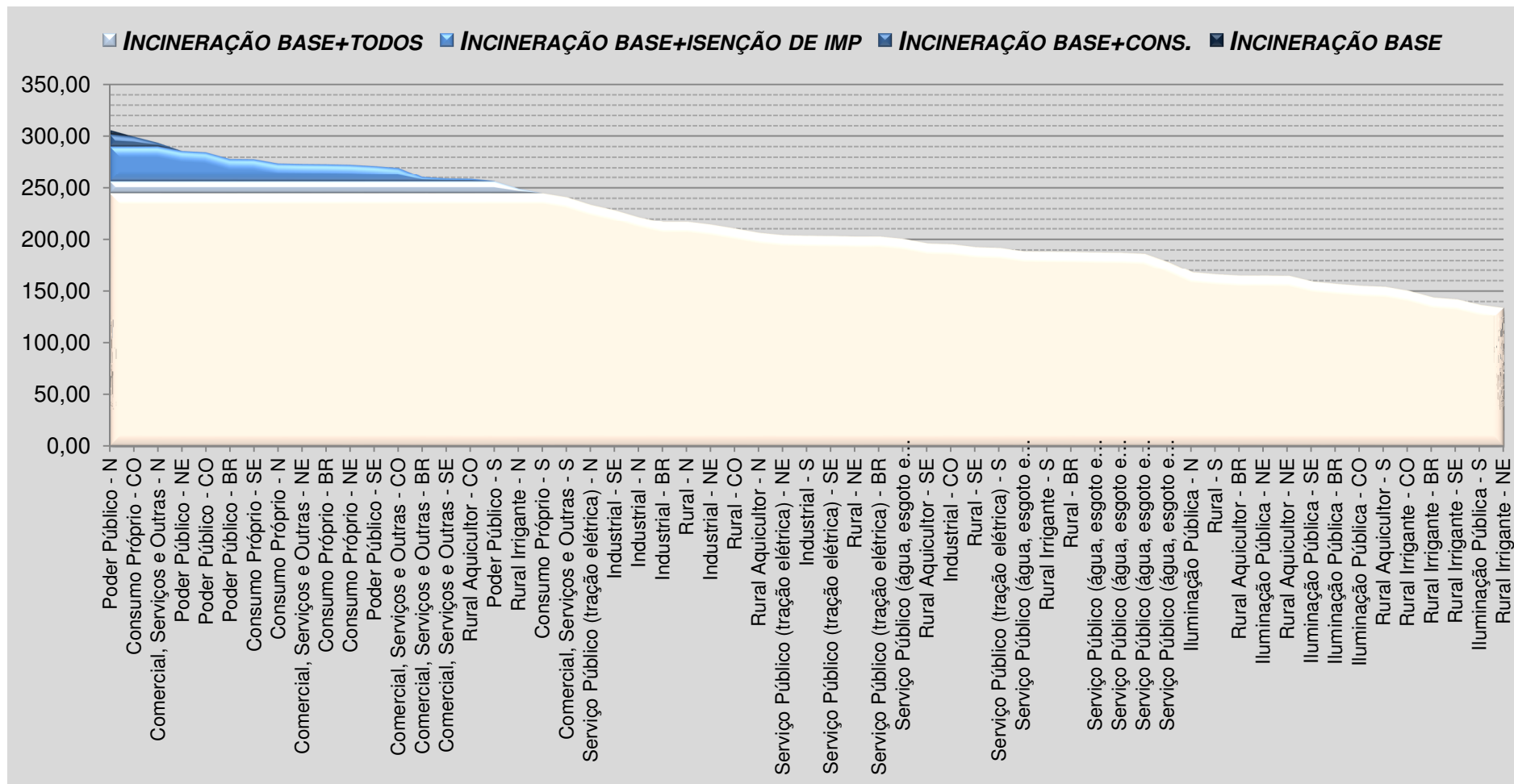
Tabela 7 - Tarifas de equilíbrio para geração de eletricidade a partir de RSU casos base mais sensibilidades

TECNOLOGIA	CENÁRIO	TARIFA (R\$/MWh)
BIODIGESTÃO PARA ELETRICIDADE	<i>Base</i>	514,23
	<i>Base (Fundo Clima)</i>	376,40
	<i>Base (redução de 50% no investimento)</i>	130,80
	<i>Base (Fundo Clima + redução de 50% no investimento)</i>	68,16
INCINERAÇÃO	<i>Base</i>	303,73
	<i>Base (Fundo Clima)</i>	260,85
	<i>Base (redução de 30% no investimento)</i>	231,70
	<i>Base (Fundo Clima + redução de 30% no investimento)</i>	201,68

Fonte: Elaboração própria.

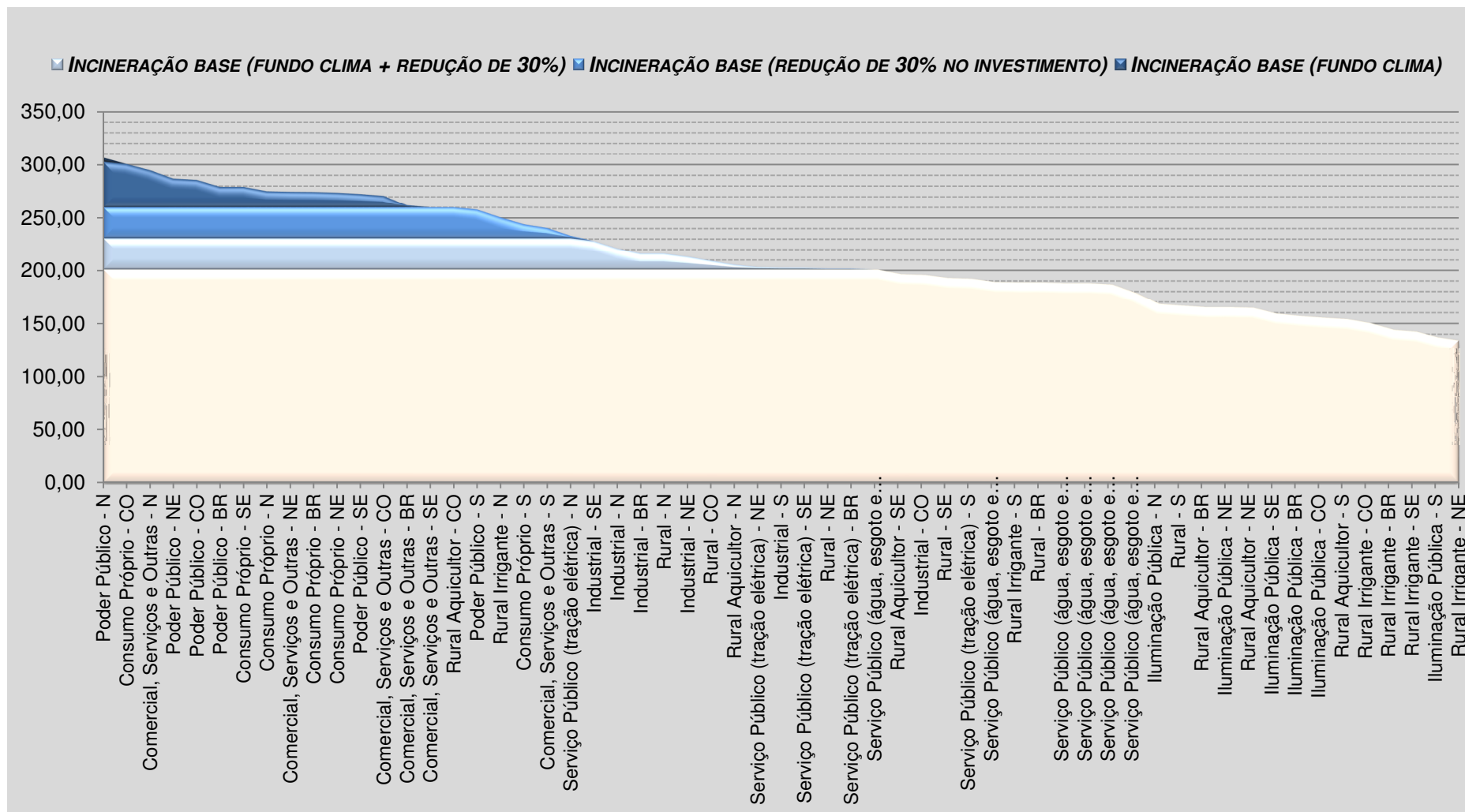
Com os valores ainda não competem em leilão, os gráficos a seguir mostram as regiões e classes de consumo onde há competitividade de acordo com as tarifas médias da ANEEL praticadas em maio de 2013 para atendimento direto ao consumidor final.

Figura 4: Tarifas médias por região e classe de consumo, sem ICMS, versus Incineração



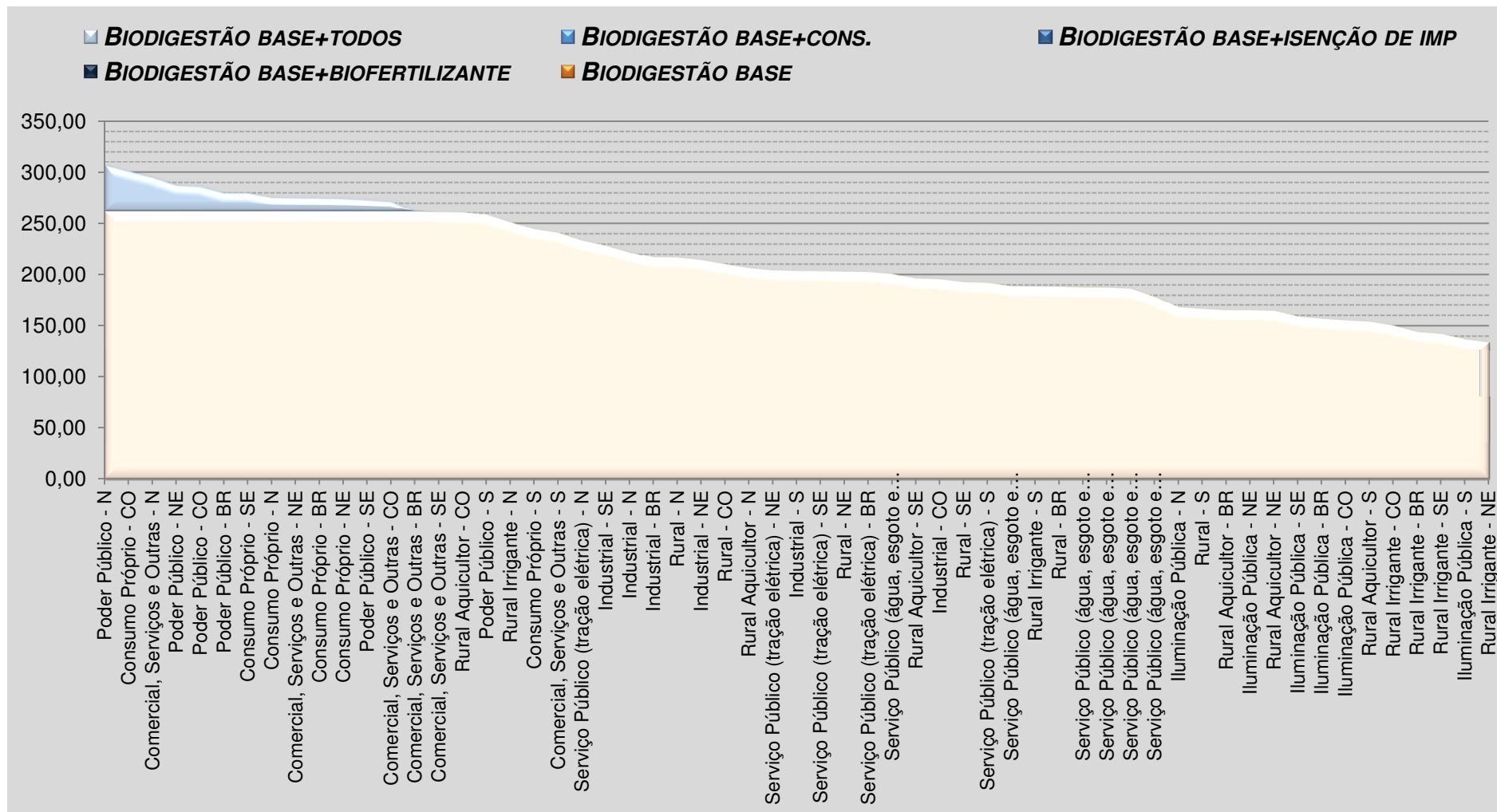
Fonte: Elaboração própria.

Figura 5: Tarifas médias por região e classe de consumo, sem ICMS, versus Incineração (Sensibilidades)



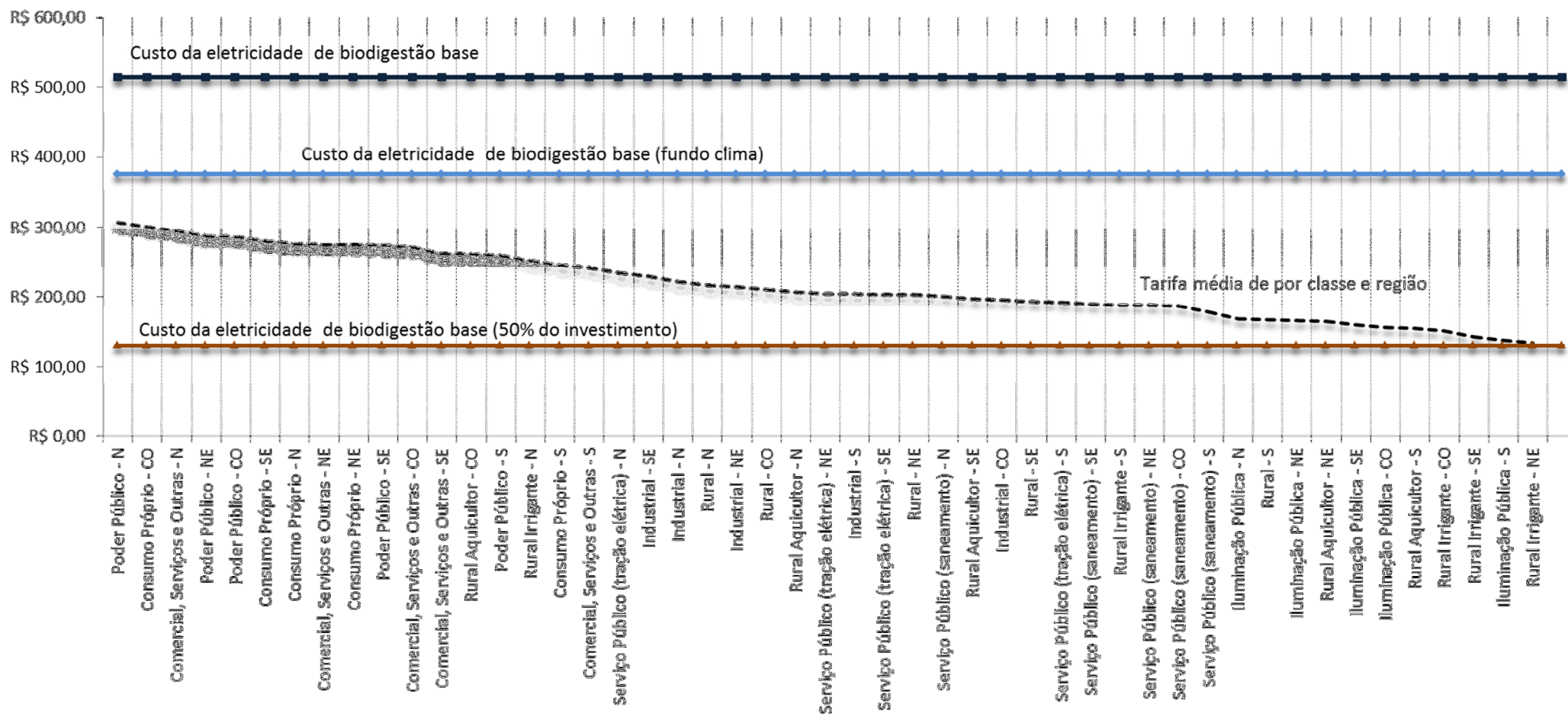
Fonte: Elaboração própria.

Figura 6: Tarifas médias por região e classe de consumo, sem ICMS, versus Biodigestão Anaeróbica



Fonte: Elaboração própria.

Figura 7: Tarifas médias por região e classe de consumo, sem ICMS, versus Biodigestão Anaeróbica (Sensibilidades)



Fonte: Elaboração própria.

Os gráficos mostram que ambas as opções apresentam competitividade ainda bastante restrita no mercado elétrico. A competitividade aumenta somente para o caso de sensibilidade no investimento da biodigestão, onde são atingidas tarifas de equilíbrio de aproximadamente R\$ 130/MWh, e com as condições do fundo clima atinge R\$ 68/MWh.

3.1.1 VENDA NO MERCADO LIVRE

Como a participação em leilões ainda não é viável na maioria das simulações, o atual modelo de comercialização do setor elétrico apresenta ainda duas possibilidades para o empreendedor do aproveitamento energético de resíduos urbanos.

A primeira possibilidade de comercialização da eletricidade de resíduos urbanos é a venda para consumidores livres. 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.

Essa alternativa regulatória existente é o estabelecimento de contratos bilaterais com consumidores cuja demanda esteja entre 0,5 e 3 MW (especiais) ou acima disto (livres), devendo ser analisados os custos de segurança para atendimento em horários de manutenção e eventuais falhas. Nesta opção ainda devem ser acrescidos os valores de TUST e TUSD para eletricidade proveniente em, no mínimo, 50% de lixo ou esgoto em plantas de até 30 MW, conforme Resolução 271 (ANEEL, 2007).

Também haveria a possibilidade de venda como gerador distribuído para as concessionárias de distribuição, que podem atender até 10% dos mercados com geradores distribuídos. Porém, o valor de remuneração esbarra na barreira do VR, valor de referência, que para 2013 foi definido em R\$ 129/MWh¹², assim, só remunerando a tarifa de equilíbrio no caso de redução de investimento e utilização do Fundo Clima.

3.1.2 AUTOPRODUÇÃO

Outra possibilidade é a figura do autoprodutor. A autoprodução apresenta as mesmas características da análise anterior com a vantagem de serem excluídos os tributos da venda de eletricidade, parcela relevante dos preços finais de energia elétrica.

Neste caso, a unidade de produção de eletricidade deveria ser instalada junto a um consumidor, que no caso poderia ser a prefeitura, e assim, haveria a necessidade de verificar qual o melhor enquadramento jurídico-regulatório que possibilitaria este modelo de negócio.

3.1.3 CONTRATAÇÃO VIA NET METERING

¹² www.aneel.gov.br

Para o caso da biodigestão, que possui unidade de até 1MW, há ainda a possibilidade de contratação via o sistema brasileiro de compensação de energia elétrica, estabelecido pela Resolução Normativa ANEEL 482/2012. Assim, como a venda no mercado livre e a autoprodução, a compensação de energia¹³ autoprodução compete diretamente com as tarifas dos consumidores finais, se tornando uma opção interessante, também sem a incidência de encargos e tributos¹⁴.

Para este esquema teriam que ser verificados quais os consumidores que estariam aptos; prefeituras, empresas de saneamento, outros agentes. Isso se deve ao fato de que o sistema de compensação de energia limita a compensação de energia ao mesmo CPF ou CNPJ.

3.1.4 CONCLUSÕES

Para o caso da incineração as tarifas encontradas variam de R\$ 303,73/MWh a R\$ 246,79/MWh (com todos os benefícios), o que mostra uma competitividade restrita a poucos grupos consumidores com estes níveis de tarifas, como pode ser observado nas figuras, principalmente localizados nas Regiões Norte e Nordeste e Centro-Oeste dos setores residencial, comercial e poder público.

A escala de 30 MW dos empreendimentos desta tecnologia mostra a importância da garantia de venda dessa energia para o investimento. Outro ponto de destaque é que a conservação de energia possibilita a apropriação econômica deste benefício, neste caso limitada por parte dos recicláveis serem necessários para o controle de um poder calorífico mínimo.

Já para o caso da Digestão Anaeróbica e geração de energia elétrica, as tarifas simuladas apresentam variação bastante superior ao do caso da incineração, variando de R\$ 514,23/MWh a R\$281,49/MWh (com todos os benefícios). A biodigestão para fins elétricos, nas condições analisadas, apresenta competitividade, ainda restrita, somente se forem considerados, todos os benefícios analisados.

Com as condições aplicáveis do Fundo Clima, necessidade do financiamento ser tomado por prefeituras ou estados, as condições de competitividade melhoram para as duas alternativas. Todavia, como o projeto de biodigestão é mais sensível, a competitividade aumenta mais para este projeto. Quando são aplicadas as reduções nos investimentos, consequência de valores mais atualizados que os utilizados nas análises, a biodigestão atingi valores de R\$ 130/MWh e R\$ 68/MWh, enquanto a incineração fica entre R\$ 230/MWh e R\$ 200/MWh.

¹³ Salvo as discussões de incidência do ICMS sobre a energia compensada.

¹⁴ No caso da compensação há a publicação do Convênio 6 do CONFAZ que indica a cobrança do ICMS aos estados sobre a energia compensada.

Para ambas as tecnologias as sensibilidades demonstram uma maior competitividade, no entanto, como a biodigestão é mais sensível e apresenta um potencial de redução de custos maior¹⁵, leva vantagem no aumento da competitividade.

3.2 PRODUÇÃO DE BIOMETANO

Para a produção de biometano foram consideradas as mesmas condições para o caso base de eletricidade, remuneração somente da taxa de tratamento do RSU e da venda do energético, apresentadas no capítulo 2. Os resultados das simulações para a produção do biometano estão apresentados na tabela a seguir.

Tabela 8 - Tarifas de equilíbrio para produção de biometano a partir de RSU caso base mais incentivos.

TECNOLOGIA	CENÁRIO	TARIFA (R\$/m ³)
Biodigestão para biometano	Base	1,23
	Base + isenção de impostos	0,99
	Base + conservação	0,95
	Base + todos	0,71

Fonte: Elaboração própria.

No caso da digestão anaeróbica com posterior tratamento do biogás para atingir às especificações do gás natural, o biometano produzido apresenta um custo de R\$ 1,23/m³. Contudo, ainda há a necessidade de incluir neste custo simulado o custo do transporte do biometano, que pode ser assumido, em um limite máximo, como R\$ 0,45/m³ (NEOGAS, 2013). Assim, o custo simulado passaria a R\$ 1,68/m³. Os casos específicos de comercialização serão discutidos a seguir.

Novamente, assim como no caso da produção de eletricidade, é válido simular as tarifas de equilíbrio para os casos de redução de investimento e para as condições de financiamento do Fundo Clima. Na tabela a seguir são apresentados os valores e comparados com o resultado da análise anterior.

Tabela 9 - Tarifas de equilíbrio para produção de biometano a partir de RSU caso base mais sensibilidades.

TECNOLOGIA	CENÁRIO	TARIFA (R\$/m ³)
Biodigestão para biometano	Base	1,23
	Base (Fundo Clima)	0,89
	Base (50% do investimento)	0,29
	Base (Fundo Clima + 50% do investimento)	0,13

Fonte: Elaboração própria.

¹⁵ Este potencial de redução de custos não está relacionado ao desenvolvimento tecnológico e sim ao desenvolvimento de projetos e negócios. Ou seja, a tecnologia já está dominada internacionalmente, mas ainda não há desenvolvimento de projetos no Brasil, assim, conforme houver o desenvolvimento do mercado haverá uma redução nos custos de projetos.

3.2.1 AUTOPRODUÇÃO

Assim como no caso da geração de eletricidade, também há a possibilidade de utilizar o conceito de autoprodução para a produção de biometano. Neste caso, a produção de biometano seria destinada a uso próprio, seja como combustível térmico, seja como combustível veicular. Reduzindo a incidência de tributos sobre o combustível.

3.2.2 VENDA COMO GNV

Uma opção de comercialização para o produtor de biometano é a venda como combustível automotivo, nesse caso o GNV. Contudo, para venda como GNV o produtor precisaria de uma autorização da ANP, conforme Portaria ANP nº116/2000.

Além disso, há necessidade de legislação específica para venda desse biocombustível, hoje não regulamentado pela ANP. Essa regulamentação poderia ser da especificação de um novo biocombustível ou, o mais provável, uma autorização para que atingida a especificação do GNV este biocombustível possa ser comercializado como GNV.

Nesta modelo de comercialização, para a formação do preço final do biometano combustível, devem ser acrescidos os impostos ao custo final simulado anteriormente de R\$1,23/m³. No caso sensível de 50% de redução de investimento, seria possível atingir um valor de R\$ 0,29/m³. O estabelecimento do posto de GNV não necessitaria de transporte, somente a compressão, todavia, se fossem considerados os custos com transporte e compressão mencionados anteriormente de R\$ 0,45/m³, os valores atingiriam R\$ 1,68/m³ e R\$ 0,74/m³. Nesta faixa de valores, o biometano apresenta competitividade do diesel ao gás natural, sendo necessário para os motores diesel ainda a adequação dos mesmos.

3.2.3 INJEÇÃO DE BIOMETANO NA REDE

Outra possibilidade de comercialização do biometano que também poderia ser avaliada é a injeção desse gás na malha de gás natural. Nesta opção há a facilidade de não necessitar de uma adequação a tecnologia do uso final, porém esta opção é restrita a duas condições fundamentais: os pontos de produção próximos as malhas de gás natural e o custo do gás natural do distribuidor, que apresenta custo menor que o preço final ao consumidor.

Contudo, políticas que visam desenvolver o mercado do biometano estabelecem cotas de aquisição mínima e tendem a garantir remuneração ao produtor do biometano, como no caso da política estadual do estado do Rio de Janeiro¹⁶, que estabeleceu uma compra obrigatória para as distribuidoras de gás do que chamaram de Gás Natural Renovável.

Neste caso, seria ainda necessário o investimento em um ramal de gasoduto. Considerando um valor médio de US\$ 80/m.polegada e 15km de gasoduto, o valor da tarifa de equilíbrio base iria de R\$ 1,23/m³ para R\$ 1,28/m³, e no caso de redução de 50% de investimento a

¹⁶ Lei RJ nº6.361/2012, que estabelece compra de até 10% do mercado de gás da distribuidora excluindo o mercado termoeletrico.

tarifa iria de R\$ 0,29/m³ a R\$ 0,33/m³. Convertendo esses valores para US\$/MBTU, utilizando uma taxa de câmbio de R\$2,3/US\$, encontra-se valores entre US\$ 15,9/MBTU e US\$ 4,1/MBTU.

3.2.4 CONCLUSÕES

A produção do biometano a partir da biodigestão dos resíduos sólidos, com posterior tratamento do biogás, apresenta uma competitividade maior que a produção de energia elétrica através do biogás. Isto se dá basicamente pelos preços dos combustíveis serem superiores aos preços da eletricidade.

Além desse fato, os proprietários e responsáveis pelo tratamento dos resíduos apresentam uma demanda cativa de combustíveis fósseis que pode ser substituída pelo biometano, aumentando a competitividade do energético.

O caso de auto atendimento da frota de coleta de lixo é o caso mais vantajoso para as prefeituras, pois não acarreta em custos para as mesmas e ainda gera uma possibilidade de economia de custos com combustíveis nas frotas de coleta de lixo. Nesse caso teriam que ser vencidas as barreiras financeiras, sendo o Fundo Clima um forte aliado, ainda que não suficiente, e as barreiras jurídicas de definição das parcerias com entes privados.

Os casos de venda do biometano em postos de combustível, apesar de apresentar competitividade, depende de questões locais, como preços dos combustíveis na região e disponibilidade de crédito para adequação das frotas ou renovação das frotas.

O mesmo pode ser percebido no caso de injeção de biometano na rede de gás natural, que depende da proximidade da malha de gás natural e da eficiência no investimento na planta de biodigestão, para que sejam atingidos os valores reduzidos de investimento. Todavia, essa opção também se mostra interessante, pois pode estar fundamentada em esquemas de compras garantidas, como o caso da política do estado do Rio de Janeiro.

3.3 MODELOS DE NEGÓCIOS

Apesar de descritas as possibilidades de comercialização dos energéticos ainda há necessidade de entender as possibilidades de modelos de negócios que viabilizem o desenvolvimento desses empreendimentos. Apesar de este tópico ser objeto de Nota Técnica específica que será desenvolvida posteriormente, alguns dos dois principais modelos serão brevemente analisados a seguir.

3.3.1 CONTRATOS DE COMPRA GARANTIDA

A ratificação de contratos de compra garantida de energia tem como um dos principais resultados a mitigação de risco de receitas do empreendimento. Este fato é particularmente importante para projetos inovadores que ainda não possuem ampla difusão no mercado.

Como consequência de contratos de compra garantida firmados, ou mesmo da possibilidade de obtenção dos mesmos, há uma atração de investidores que são avessos a riscos e com isso buscam retornos maiores, em outras palavras, há espaço para redução das taxas de atratividades dos empreendimentos.

- ***Geração de Eletricidade***

No caso da geração de eletricidade a experiência desse tipo de contratação é bastante grande, sendo conhecidos internacionalmente como PPA (*Power Purchase Agreements*). Particularmente no Brasil, a comercialização de eletricidade através da sistemática dos leilões demonstra o sucesso desse tipo de contratação na atração de investimentos, para a geração de eletricidade.

Entretanto, a definição de contratos de compra garantida, não necessariamente precisa ser realizada somente através de leilões centralizados, podendo que estes sejam ratificados entre geradores e consumidores, e mesmo com os distribuidores. Isso indica que além dos leilões outros tipos de comercialização como, a comercialização livre, a autoprodução e a venda de eletricidade a agentes distribuidores, como geração distribuída, devem ser entendidos como contratação de compra garantida¹⁷.

- ***Produção de Biometano***

No caso da produção de biometano, a mesma lógica de contratação de compra garantida se aplica, sendo que o tipo de comercialização que mais se adequa a essa lógica é a injeção de biometano na rede de gás natural.

Isso é consequência da lógica de longo prazo dos investimentos em redes de distribuição de gás natural, possibilitando, conseqüentemente, contratos de compra garantida também de longo prazo.

Novamente, como no caso da geração de eletricidade, outros tipos de comercialização podem fornecer contratação de compra garantida, empresas ou prefeituras que possuam grandes frotas de veículos também podem definir estes tipos de contratos, no intuito de mitigar os riscos do empreendimento.

3.3.2 REDUÇÃO DE CUSTOS PARA PREFEITURAS

Um dos pontos principais das prefeituras a respeito do atendimento a PNRS é o sobre custo que poderia ocorrer nas contas da gestão municipal devido a correta destinação dos RSU. Por este motivo, a análise de um modelo de negócio que não cause sobre custo às prefeituras que desenvolvam o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos é essencial a verificação da aplicabilidade efetiva dos empreendimentos.

Como os agentes principais nesse caso são as prefeituras é bastante coerente utilizar os valores de financiamento estabelecidos pelo Fundo Clima, assumindo que as prefeituras

¹⁷ Devido a diferença de naturezas jurídicas entre os diferentes agentes envolvidos nestes tipos de contratos para o caso do aproveitamento elétrico dos resíduos urbanos, há necessidade de entender o melhor

que tomariam os financiamentos dos projetos¹⁸. Assim, o custo base do biometano passa de R\$ 1,23/m³ para R\$ 0,89/m³, como na tabela 9.

- **Geração de Eletricidade**

Para a geração de eletricidade é possível a escolha de dois modelos de negócio de acordo com as escalas das tecnologias. Para as tecnologias de incineração, seriam utilizados contratos de comercialização livre, e para a biodigestão seriam realizados contratos através do sistema de compensação de energia (*net metering*). Utilizando o valor da tarifa média Brasil de R\$ 280/MWh que o setor público paga é possível verificar qual seria o impacto nos caixas das prefeituras se estes contratos, o de compra de energia ou de compensação de energia fossem realizados entre as prefeituras e os empreendimentos de aproveitamento de RSU¹⁹.

Como as prefeituras, nesses modelos de negócio, fazem parte da contratação, é razoável que sejam utilizadas as condições de financiamento do Fundo Clima, assim, os valores bases da incineração e da biodigestão sairiam de R\$303/MWh e R\$514/MWh, para respectivamente R\$260/MWh e R\$376/MWh. Assim, somente a incineração seria competitiva nas condições de remuneração da tarifa paga pelo setor público.

Caso as sensibilidades de investimentos sejam atingidas, as tarifas iriam para aproximadamente R\$200/MWh e R\$70/MWh, conforme tabela 7. Com esses valores e mantendo o pagamento da tarifa média de R\$ 280/MWh com energia elétrica do setor público, seria possível zerar a taxa de tratamento do lixo para o caso da incineração (ainda reduzindo o custo da eletricidade paga para aproximadamente R\$250/MWh) e baixar para R\$34/t no caso da biodigestão (mantendo a o custo da eletricidade e paga em R\$280MWh).

Para que essas condições sejam atingidas são necessárias que sejam capturadas as reduções de custos nos investimentos dos empreendimentos, sendo que essas reduções apresentam diferentes naturezas para as diferentes tecnologias. Enquanto a redução de custos nos projetos de incineração é consequência de um necessário desenvolvimento tecnológico²⁰, a redução de custos para a biodigestão é consequência do desenvolvimento de projetos e serviços no Brasil, uma vez que plantas comerciais já operam internacionalmente. Assim, as capturas dessas reduções de custos devem ocorrer em ritmos diferentes.

¹⁸ Será necessário verificar a natureza jurídica da relação entre a prefeitura e agentes privados para a realização e desenvolvimento desse projeto. Uma possibilidade poderia ser o regime de PPP.

¹⁹ Novamente há necessidade de verificar qual a natureza e requisitos jurídicos são necessários para que sejam firmados contratos destes tipos.

²⁰ Ainda não posto em prática.

- **Produção de Biometano**

Nesse modelo de negócio é possível considerar a utilização do biometano na própria frota de coleta da prefeitura²¹. Essa consideração leva a duas implicações: a primeira é que deve ser escolhido o modelo de caminhão a ser utilizado; ou dedicado a biometano (gás natural) ou a utilização de motores duais diesel-gás natural (através da instalação de kits). A segunda é que estes custos, custos de adequação da frota, devem ser incluídos no investimento do projeto.

Considerando uma frota de oitenta caminhões, capacidade de atendimento de uma unidade de biodigestão, e considerando o kit para motores dual diesel-gas²² no valor de R\$ 75.000 (como média entre os valores identificados), há necessidade de considerar esse investimento de 8,1 milhões de reais no projeto. Esse novo investimento levaria a tarifa de equilíbrio de R\$ 0,89/m³ para R\$ 1,13/m³. A segunda consideração diz respeito à natureza do uso. Como será a própria prefeitura que utilizará o combustível, este uso pode não ser considerado venda e, assim, não haver incidência dos tributos analisados. Com isso, a nova tarifa de R\$ 1,13/m³ iria para R\$ 0,95/m³.

Neste caso a prefeitura continuaria pagando a mesma taxa de tratamento de resíduos atual, considerada em R\$ 50/t, e ainda teria uma economia com custos de combustível para a coleta dos resíduos. Ou seja, além de não haver sobre custo haveria uma economia nas contas das prefeituras caso esse modelo de negócio fosse implementado.

Por fim, se forem alcançados os investimentos reduzidos em 50%, a nova tarifa base seria de R\$ 0,13/m³, como na tabela 9, com o acréscimo de 8,1 milhões de reais de investimento nos kits, esta tarifa iria para R\$ 0,36/m³ e com a redução de impostos para R\$ 0,27/m³. Estes valores extremamente baixos possibilitam ainda uma análise sobre a taxa de tratamento de lixo considerada, em R\$ 50/t. Ou seja, nessas condições, de R\$ 0,27/m³, com o projeto sem a remuneração do tratamento de lixo, considerando zerar a taxa de tratamento de lixo, a tarifa de equilíbrio iria para R\$ 1,57m³ mantendo a competitividade com o diesel.

Esta última sensibilidade sinaliza que quando atingidos os valores reduzidos de investimentos, surge a possibilidade de a prefeitura obter uma economia com combustível da frota e zerar a taxa de tratamento do lixo.

Estas condições devem ser alcançadas na medida em que os projetos forem desenvolvidos e o mercado nacional capturar a mesma curva de aprendizado alemã para os biodigestores, que apresenta valores abaixo dos 50% simulados na sensibilidade, e do desenvolvimento dos kits diesel-gas.

²¹ É importante destacar que 1m³ de biometano substitui 0,9 litros de diesel aproximadamente.

²² Argentino, R\$ 30.000 (para 30% de substituição); Bosch, R\$ 60.000 para 50% de substituição; Hardstaff, R\$ 100.000 para 75% de substituição e CAP, R\$ 80.000 para 60% de substituição

3.3.3 CONCLUSÕES

Os modelos de negócios possíveis não se esgotam nos dois modelos apresentados e dependem de uma série de condicionantes para sejam desenvolvidos e obtenham sucesso, e por este motivo, a EPE está conduzindo análises de modelos de negócios para o aproveitamento energético de resíduos que tratarão em detalhes o desenvolvimento destes e de outros possíveis modelos de negócios.

No entanto, os dois modelos aqui apresentados tem como objetivo principal responder a anseios de agentes do mercado do aproveitamento energético de resíduos. O primeiro modelo, que trata do desenvolvimento de esquemas de comercialização que possam ser contratados através de contratos que tenham compra garantida do energético e assegurem receitas em determinado prazo para o empreendimento. Este modelo mitiga os riscos da variação das receitas, possibilitando que diferentes investidores participem do empreendimento, como no caso de sucesso dos leilões de energia elétrica realizados.

O segundo modelo analisa uma questão específica apontada por agentes do setor de resíduos e saneamento e pelas prefeituras para o atendimento da PNRS. O que a análise apresentada buscou demonstrar é a viabilidade de diferentes modelos de negócios que não necessariamente apresentem aumento de custos para as prefeituras quando há aproveitamento energético desses resíduos.

Finalmente, é possível também entender que os modelos de negócios não são isolados entre si, podendo haver um “mix” dos modelos que aumente a rentabilidade dos empreendimentos, ou reduza custos da prefeitura. Neste sentido, a opção pelo biogás é mais atraente, pois possibilita uma combinação de modelos. Por exemplo, é possível que seja realizado um contrato de injeção na rede de gás da distribuidora, um contrato de compensação de energia elétrica no horário de ponta e utilização do biometano na frota própria²³.

²³ Isso é consequência da flexibilidade de usos do biogás.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estabelecimento da PNRS evidenciou a necessidade da análise do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. Neste trabalho, foram realizadas análises de economicidade e competitividade de projetos típicos para a geração de eletricidade e para a produção de biometano.

Todos os resultados das análises foram obtidos com somente duas referências para os custos de investimentos dos projetos típicos de cada tecnologia. Com a difusão da realização de estudos, e principalmente com a difusão da realização de projetos no Brasil, a base de dados utilizados para esses custos de investimento será maior e, consequentemente os resultados mais representativos. Todavia, para mitigar esse risco de baixa representatividade, foram estabelecidas as análises de sensibilidades nos investimentos.

Os custos das biomassas também foram outros pontos em que foram utilizados valores médios. Isto foi devido ao entendimento que no Brasil existem diversos tipos de custos de biomassas e que os primeiros projetos ocorreram em situações de custos menores de biomassa.

A produção de eletricidade foi analisada em duas tecnologias, a incineração e a biodigestão anaeróbica. Ambas não apresentaram competitividade em seus casos base, com tarifas de aproximadamente R\$300/MWh e R\$515/MWh, respectivamente. Nas simulações de incentivo, considerando remuneração da energia conservada e isenção de impostos, foi atingida uma competitividade restrita a nichos específicos de mercado dependendo das regiões e das classes de consumo. As tarifas de incineração ficaram, aproximadamente, entre R\$ 290/MWh e R\$ 245/MWh, já as tarifas de biodigestão elétrica ficaram, aproximadamente, entre R\$ 500/MWh e R\$ 260/MWh.

Quando foram analisadas sensibilidades nos investimentos e nas condições de financiamento, as condições de competitividade melhoraram bastante, principalmente para o caso da biodigestão que é mais sensível e apresenta maior potencial de redução de custos. Com essas sensibilidades consideradas, as tarifas da incineração ficam entre R\$ 260/MWh e R\$ 200/MWh, e da biodigestão entre R\$ 375/MWh e R\$ 68/MWh. Nesse cenário a competitividade da incineração ainda fica restrita aos nichos anteriores, enquanto a biodigestão encontra maior campo de viabilidade.

O outro energético analisado foi o biometano combustível, que em seu caso base, com tarifa de R\$ 1,23/m³, apresenta competitividade restrita principalmente em áreas que já possuem frotas de veículos a gás natural ou em regiões em que o custo do diesel é alto e dispõe de crédito para a instalação do kit dual diesel-gas.

Nos casos de incentivo, as tarifas atingem valores entre R\$ 1,19/m³ e R\$ 0,67/m³, aumentando a zona de competitividade contra o diesel. Quando consideradas as sensibilidade do Fundo Clima e da redução de custos da biodigestão, as tarifas atingem

valores na faixa de R\$ 0,89/m³ e R\$ 0,13/m³. Nesta faixa de valores o biometano é viável e extremamente competitivo inclusive para injeção na rede.

É importante ressaltar, tanto para a produção de eletricidade quanto de biometano, que a conservação de energia decorrente da reciclagem de materiais presentes no lixo é responsável por importante parcela do aproveitamento energético decorrente dos resíduos sólidos e, caso as receitas com energia conservada sejam consideradas, há um aumento significativo na rentabilidade dos empreendimentos - o que chegou a tornar o custo do gás negativo²⁴ em R\$ 0,15/m³ para o caso de redução de 50% de investimento e aplicando as condições do Fundo Clima no financiamento.

Para o caso elétrico, como não há competitividade em leilões²⁵, foi dado destaque para comercialização livre, autoprodução, venda como gerador distribuído para concessionária de distribuição de energia elétrica e, ainda, a possibilidade mais recente de estabelecimento como minigerador no sistema de compensação de energia elétrica estabelecido pela REN 482/2012 da ANEEL. Mesmo esses casos tendem a indicar uma competitividade ainda restrita com as tarifas dos consumidores finais.

Para o biometano foram analisados três casos: a venda em postos de combustível, que apresenta competitividade hoje em regiões que tenham frotas de veículos a gás natural ou em regiões que apresentem elevado custo do diesel. A injeção na rede gás natural, dependente da localização do empreendimento e da eficiência nos investimentos e, por último, o atendimento da própria frota de coleta de RSU da prefeitura.

A opção pelo Fundo Clima se mostra bastante atrativa, uma vez que diminui a barreira financeira e é coerente com a problemática do tratamento e aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. Já a questão das reduções de custos fica ainda dependente da realização de projetos nacionais e da verificação dos custos destes projetos no Brasil. No entanto, a captura da redução de custos para as diferentes tecnologias apresentarão diferentes ritmos, pois para incineração ainda há a necessidade de desenvolvimento da tecnologia, enquanto para biodigestão a tecnologia já é dominada comercialmente em diferentes países.

Em seguida, a análise de dois modelos de negócios, apresentaram possibilidades para o desenvolvimento dos empreendimentos de aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos. As análises indicaram a possibilidade do desenvolvimento de contratos de compra garantida com diferentes modelos de comercialização de eletricidade e de biometano, e a possibilidade de manutenção ou redução de custos para as prefeituras com aproveitamento energético de RSU. Contudo, esses modelos dependem de uma série de condicionantes que serão tratados em maiores detalhes em trabalho específico que está sendo desenvolvido.

²⁴ O custo negativo indica que o retorno do investimento no projeto é maior que o requerido na simulação realizada. Como foi utilizada uma TMA de 10%, esse custo negativo indica que o retorno, neste caso simulado, é maior que a TMA.

²⁵ Excluindo o caso da sensibilidade da biodigestão com redução de custos e condições do fundo clima, que também dificilmente concorreria em leilão na escala analisada.

O aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos, nas simulações realizadas, apresenta-se competitivo em diferentes nichos para os diferentes energéticos. A eletricidade de incineração apresenta-se com competitividade bastante restrita no caso base a nichos específicos de classes de consumo, porém com possibilidades de reduções de custos em um longo prazo, consequência do desenvolvimento tecnológico.

Já a biodigestão e o biogás com seus sucedâneos, biometano e eletricidade, apresentam comportamento diferentes. Para o caso de geração de eletricidade o caso base não é competitivo, enquanto para produção de biometano o caso base apresenta competitividade em nichos específicos de combustíveis.

Quando consideradas as condições de reduções de investimentos, em médio prazo, consequência do desenvolvimento de projetos e negócios, a competitividade é ampliada a quase todos os nichos de mercado dos energéticos, eletricidade e biometano. Em contrapartida há necessidade de desenvolvimento tecnológico nos motores duais diesel-gás para a penetração no mercado de diesel.

Com o domínio do tratamento do biogás a ponto de convertê-lo em sucedâneo renovável do gás natural fóssil e o desenvolvimento de tecnologia dual diesel-gás destravando os nichos de geração no horário de ponta e veículos diesel, o desenvolvimento da biodigestão e consequentemente do biogás mostra-se mais interessante, devido à flexibilidade nos usos e nos modelos de negócios possíveis.

Assim, já é possível a utilização de combustível renovável **mais barato** que os fósseis atualmente consumidos, sem restrições. O potencial de mercado nacional imediatamente aproveitável é equivalente a 2 Mm³ de óleo diesel, em mais de 1.000 usinas - e 75.000 postos de trabalho -, próximo ao do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel - sobretudo quando utilizado pelas frotas municipais de coleta e transporte de lixo. Com isto, 70% do lixo atual poderão ser tratado adequadamente. Já para a eletricidade, gerada através da incineração ou da combustão do biogás em motogeradores, ainda há necessidade de condições especiais para que esta se torne plenamente competitiva, pois como visto esta é competitiva somente em nichos específicos.

O planejamento das localizações de aterros, plantas de biodigestão, usinas de incineração, e unidades de triagem deve ser feito de maneira a otimizar a viabilização dos diversos empreendimentos. Um exemplo notável desta ação é o melhor aproveitamento de GDL que, dada a característica de produção exposta anteriormente, poderia ter o excedente destinado a outra planta, aumentando a viabilidade econômica de ambas as unidades. Este planejamento caberia principalmente a prefeituras e Estados, para que este se dê em nível municipal ou de microrregião. Outra variável a considerar é a vocação local, mapeando nichos específicos de demanda para determinação de zonas mais adequadas a certo tipo de tecnologia ou a determinado energético.

Ressalta-se que a biodigestão e a incineração, ao término da vida útil do empreendimento, superior à do aterro, possibilitam a promoção de uma reforma ou da implantação de

sistema mais atual, sem demandar troca de local e mudança de logística, além de evitar novo custo de oportunidade de outras áreas.

No entanto, a despeito destas vantagens, existem barreiras que dificultam a penetração do aproveitamento energético dos RSU, como: as assimetrias de informação, custos de transação, modelos regulatórios, modelos jurídicos, disponibilidade de serviços e tecnologias, capacidade de investimento e gestão, entre outros. Neste sentido, esta Nota Técnica tem como objetivo reduzir parte dessas barreiras.

O aproveitamento energético dos resíduos requer análise multidimensional, abrangendo o tratamento adequado do lixo e do esgoto, a energia potencial disponível, a mitigação de emissões de poluentes e o benefício social, caracterizando-se como uma solução de transformação socioambiental da realidade de tratamento de resíduos no Brasil. A gigantesca demanda por serviços de saneamento pode ser atendida por soluções que maximizem o potencial de oferta de energia renovável, renda e serviços ambientais para a sociedade. Para tanto, são necessárias ações coordenadas entre as diversas esferas políticas (federal, estadual e municipal) e sociedade civil, entendendo que há diferentes realidades no tocante às características dos resíduos, da infraestrutura e de instituições vinculados ao tema por todo o país e, com isso, as soluções são múltiplas e diversas.

Cabe ressaltar os custos de transação destes empreendimentos, sobretudo os relacionados à concessão do tratamento dos resíduos - que passa por processo licitatório nos Municípios - e à garantia de pagamento pelo serviço, bem como o da assimetria de informação - que este trabalho tenta reduzir.

Por isto, mesmo as análises tendo sido realizadas com valores inferiores aos que são praticados pelo mercado e demonstrando atratividade, não são encontradas usinas no país. Assim, é notória a necessidade de desenvolvimento de instrumentos que removam as barreiras, incentivem e difunda a produção e o uso do aproveitamento energético no saneamento, para que isto se constitua em realidade no Brasil.

Como trabalhos futuros, os próximos estudos terão como foco de suas análises a viabilização dos mercados de biogás através da análise de modelos de negócios, em especial do biometano combustível, no Brasil, analisando principais condicionantes, comportamentos, barreiras e ações necessárias para isto. E para o caso específico da reciclagem ainda há necessidade de verificar também as condições básicas para a valoração dos materiais e da energia conservada, estudando detalhadamente as cadeias logísticas e características do setor de reciclagem.

5. REFERÊNCIAS

- ABAL [Associação Brasileira do Alumínio]. Anuário estatístico 2009. ABAL 2009.
- ABNT [Associação Brasileiro de Normas Técnicas]. Resíduos Sólidos: Classificação. NBR 10.004. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- _____. Amostragem de Resíduos - Procedimentos. NBR 10.007. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ABRELPE [Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais]. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2010. Disponível em <http://www.abrelpe.org.br/panorama_2007.php>. Acesso em maio de 2011. São Paulo: ABRELPE, 2010.
- ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Resolução 271 (que altera a redação dos arts. 1º e 3º da Resolução Normativa 77/2004). 2007.
- _____. Programa de Eficiência Energética. 2012a.
- _____. Resolução 482 (que estabelece as condições gerais para o acesso à microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.). 2012b.
- ANP [Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis]. Resolução 16 (que estabelece no Regulamento Técnico da ANP parte integrante desta Resolução, a especificação do gás natural, nacional ou importado, a ser comercializado em todo território nacional). 2008.
- BOGNER, J.E. & OLIVEIRA, L.B. . Reduction of global landfill methane emissions and using energy for waste. In: Ribeiro, S.K. & Araújo, M.S.M.. (Org.). IPCC outreach in Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Rio 360 Comunicação, 2007, p. 26-33.
- BUREAUX FÉDÉRAL DU PLAN (2006). Post-2012 Climate Policy: Analysis of emissions reduction scenarios for 2020 and 2050. Disponível em www.plan.be, acessado em 28 de outubro de 2008.
- CALDERONI, Sabetai. Os Bilhões Perdidos no Lixo. São Paulo: Ed. USP (3ª Ed.), 1996.
- CEMPRE [Compromisso Empresarial para Reciclagem]. Fichas Técnicas. PET - O mercado para Reciclagem. Disponível em <<http://www.cempre.org.br>>. Acesso em maio de 2008.
- CEWEP [Confederation of European Waste-to-Energy Plants]. Waste to energy and the revision of the Waste Framework Directive. Disponível em http://www.cewep.eu/information/publicationsandstudies/studies/climate-protection/309.February_FFact_study_Waste-to-Energys_contribution_to_climate_protection.html. 2008. 27 p. Acessado em 22 de agosto de 2009.

- _____. Recycling and Waste-to-Energy in combination for sustainable waste management. Disponível em http://www.cewep.eu/m_1038. 2012. 2 p. Acessado em novembro de 2012.
- CISMC [Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima]. Plano Nacional sobre Mudança do Clima. 132 p. 2008.
- COELCE [Companhia de Eletricidade do Ceará]. Projeto ECOELCE enviado para a ANEEL. Comunicação pessoal. 2008.
- COOPECAJU. Disponível em <http://clovisakira.blogspot.com.br/2012/03/ineficientes-usinas-de-reciclagem-de.html>. 2006
- CTW [Carbon Trade Watch]. CERUPT: The Netherlands' CDM Programme. Draft. Disponível em <<http://www.carbontradewatch.org/pubs/CERUPT.doc>>. Acesso em maio de 2008. [s.l.]: CTW/TNI, 2004.
- EPA [U. S. Environmental Protection Agency]. Summary results from NBB/USEPA tier I. Health and Environmental Effects Testing for Biodiesel Under the Requirements for USEPA Registration of Fuels and Fuel Additives. (40 CFR Part 79, Sec 21 1 (b)(2) and 21 1 (e)). Final report. Washington, DC: EPA, 1998.
- _____. Municipal Solid Waste Generation, Recycling and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2006. Washington, DC: EPA, 2007a. (Disponível em <<http://www.epa.gov>>). Acesso em junho de 2008.
- _____. Waste Reduction Model. Washington, DC: EPA, 2007b. (Disponível em <<http://www.epa.gov>>). Acesso em dezembro de 2007.
- _____. Opportunities for and benefits of combined heat and Power at wastewater treatment facilities. 48 p. Disponível em www.epa.gov/chp. 2007c. Acessado em 22/11/2007.
- EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. Balanço Energético Nacional. 2011a.
- _____. Resultados do Leilão A-5. 2011b.
- _____. Levantamento das principais tecnologias e sistemas de utilização no mundo e tendências tecnológicas. Potencial de aproveitamento energético de Resíduos Sólidos Urbanos. 219 p. 2007b.
- _____. Plano Nacional de Energia 2030. Disponível em www.epe.gov.br. 2006.
- _____. Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira. Disponível em www.epe.gov.br. 2012
- ETC/RWM [European Topic Centre on Resources and Waste Management]. Municipal waste management and greenhouse gases. ETC/RWM working paper 2008/1. 61 p. 2008.
- GARCIA, A.G.P. Impacto da Lei de Eficiência Energética para motores elétricos no potencial de conservação de energia da indústria. Dissertação [de mestrado]. Programa de Planejamento Energético. COPPE/UFRJ. 139 p. 2003.

- _____. Leilão de Eficiência Energética no Brasil. Tese [de doutorado]. Programa de Planejamento Energético. COPPE/UFRJ. 203 p. 2008.
- HEINRICH, JOHANM. Biogas-Messprogramm II - 61 Biogasanlagen im Vergleich, 2012.
- IBAM [Instituto Brasileiro de Administração Municipal]. O Cenário dos Resíduos Sólidos no Brasil. Boletim Sobre Resíduos Sólidos. Boletim 1. Disponível em <<http://www.ibam.org.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm>>. 2004. Acesso em maio de 2008.
- IBGE [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística]. II Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.
- _____. Contagem da População 2007. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>>. Acesso em maio de 2008.
- _____. Estimativa da população. Disponível em www.ibge.gov.br. Acessado em 18/08/2007.
- IEA [International Energy Agency]. Clean energy. Progress report. IEA input to the Clean Energy Ministerial. 72 p. 2011.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. Waste Model. 2006.
- _____. Climate Change 2007: The Physical Science basis Summary for Policymakers. Geneva: IPCC, 2007.
- IPT [Instituto de Pesquisas Tecnológicas]/CEMPRE. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. (2a reimpressão). São Paulo: IPT/CEMPRE, 1998.
- ISWA [International Solid Waste Association]. Waste-to-Energy State-of-the-Art Report. 2012. Disponível em http://www.iswa.org/index.php?elD=tx_iswaknowledgebase_download&documentUId=3119. Acessado em dezembro de 2012.
- IVIG/COPPE [Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais da Coordenação de Programas de Pós-Graduação em Engenharia da UFRJ]. Rotas Tecnológicas para aproveitamento energético dos RSU. 237 p. 2005.
- JANUS & PERGHER, 2012. Orçamento para fornecimento de sistemas PSA para tratamento de biogás e obtenção de biometano. Comunicação pessoal.
- JORDÃO, E. P. & PESSÔA, C. A. (1995), Tratamento de Esgotos Domésticos, 3a edição, ABES, 681p., Rio de Janeiro, RJ.
- KOMPOGAS. 2008. Fator de produção de biogás. Disponível em www.evergreenenergy.com.au. Acessado em abril de 2011.
- LEITE, A. F., BERNI, M. D., DORILEO, I. L. Penetração do Gás Natural em Processos Industriais de Queima Direta - Artigo apresentado no V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético - Salvador, Brasil, Maio de 2008 (anais distribuídos na forma de CD-ROM, sem numeração das páginas).

- LINO, F.A.M., ISMAIL, K.A.R., 2011. *Energy and Environmental Potential of solid waste in Brazil*. Energy Policy, n. 39, p. 3496-3502.
- MARTIN GmbH. Tecnologias de incineração de resíduos urbanos. Disponível em http://www.martingmbh.de/index_en.php?level=0&CatID=2&inhalt_id=1. Acessado em abril de 2008.
- MCT [Ministério de Ciência e Tecnologia]. Fatores de emissão para geração de eletricidade. Disponível em http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/303073/Fatores_de_Emissao_de_C_O_sub_2_sub_pela_geracao_de_energia_eletrica_no_Sistema_Interligado_Nacional_d_o_Brasil_Ano_Base_2007.html. 2008.
- MESCA, D.; HERNÁNDEZ, S. P.; CONOCI, A.; RUSSO, A. MSW landfill desulfurization. International Journal of Hydrogen Energy, n. 36, 7884-7890. 2011.
- MORRIS, J. Recycling Versus Incineration: An Energy Conservation Analysis. In: Journal of Hazardous Materials, vol. 47, pp. 277-293. Amsterdam: Elsevier, 1996.
- MUYLAERT, M. S. et alii. Consumo de Energia e Aquecimento do Planeta. Rio de Janeiro: Ed. COPPE/UFRJ, 2000.
- NEOGAS. Orçamento para transporte de gás. 2013. Disponível em <http://www.neogas.com.br>. Acesso em agosto de 2013.
- NUNES, F. F. Consumo consciente: Brasil é Líder na Reciclagem de Latas de Alumínio. Disponível em <<http://www.web.infomoney.com.br>>. Acesso em maio de 2008.
- OLIVEIRA, L.B. et al. Aproveitamento energético de efluentes de estação de tratamento de esgoto. Congresso Brasileiro de Energia. 2012a.
- _____. Otimização do aproveitamento energético dos efluentes da ETE Alegria. Congresso Brasileiro de Energia. 2012b.
- OLIVEIRA, L. B. Potencial de aproveitamento energético de lixo e de biodiesel de insumos residuais no Brasil. Tese de doutorado (Ph.D) em Planejamento Energético. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004.
- OLIVEIRA, L. B. e ROSA, L. P. Brazilian Waste Potential: Energy, Environmental, Social and Economic Benefits. In: Energy Policy, v. 31, pp. Amsterdam: Elsevier, 2003.
- OLIVEIRA, P. T. S. e PEIXOTO FILHO, G. E. C. Levantamento da Situação Atual da Reciclagem de Materiais Plásticos no Município de Campo Grande - MS. In: IV Encontro Nacional e II Encontro Latino-americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2007, Campo Grande. Anais... Campo Grande: ANTAC, 2007.
- ONU [Organização das Nações Unidas]. Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima. Nova York: PNUMA, 1992.
- _____. Protocolo de Kyoto à Convenção-Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança do Clima. Brasília: MCT, [s.d].

- OWS [Organic Waste System]. Digestão Anaeróbica Seca. Disponível em www.ows.be. Acessado em 2008.
- PLANSAB [Plano Nacional de Saneamento Básico (proposta)]. Ministério das Cidades. 153 p. Abril de 2011. Disponível em www.cidades.gov.br. Acessado em 20 de maio de 2011.
- PLASTIVIDA [Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos]. Alternativas Sócio Ambientais para o Plástico Pós-Consumo. 2008. Disponível em www.plastivida.org.br. Acessado em 22 de dezembro de 2008.
- POLZIN, D. A. Gestão dos Resíduos Sólidos urbanos: Análise Comparativa entre Portugal e Brasil. Dissertação de Mestrado (M.Sc.) em Ciência Ambiental. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2004.
- RAND, T., HAUKOHL, J. e MARXEN, U. Municipal Solid Waste Incineration - A Decision Maker's Guide. Washington: IBRD, 2000.
- RISE-AT [Regional Information Service Center for South East Asia on Appropriate Technology]. Review of Current Status of Anærobic Digestion Technology for Treatment of Municipal Solid Waste. Chiang Mai: Chiang Mai University, 1998.
- RYCKEBOSCH, E.; DROUILLOM, M.; VERVAEREN, H.. Techniques for transformation of biogas to biomethane. Biomass and Bioenergy, n. 35, p. 1633-1645. 2011.
- ROBRA, S. Uso da glicerina bruta em biodigestão anaeróbica: aspectos tecnológicos, ambientais e ecológicos. Dissertação (de Mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz - Ilhéus, BA. 2008.
- SABESP [Empresa de Saneamento Básico do Estado de São Paulo]. Aproveitamento de gás na ETE de Barueri. Disponível em www.sabesp.com.br. Acessado em 12/08/2008.
- SERÔA DA MOTTA, R. et CHERMONT, L. Aspectos econômicos da gestão integrada de resíduos sólidos. Texto para discussão nº 416. Rio de Janeiro: IPEA, 1996.
- SNIS [Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento]. Disponível em www.snis.gov.br. Acessado em 16/09/2012.
- THEMELIS, N. J. An Overview OF the Global Waste-to-Energy Industry. In: Waste Management World, Jul-Aug 2003, pp. 40-47. Tulsa, OK: Pennwell Publishing, 2003.
- THEMELIS, N. J. et KAUFMAN S. M. Waste in a Land of Plenty - Solid Waste Generation and Management in the US. In: Waste Management World, Sep-Oct 2004, pp. 23-28. Tulsa, OK: Pennwell Publishing, 2003.
- VERNA, Shegalí. Anærobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes. Tese de Mestrado (M.Sc) em Earth Resources Engineering. New York: Columbia University, 2002.
- VILLA NOVA, J. A Reciclagem das Latas de Alumínio e o seu Efeito na Economia Informal. Disponível em http://www.abralatas.org.br/downloads/reciclagem_na_economia_informal.pdf. (13p.) Acesso em maio de 2008. [s.l.]: UNIVAP, [s.d.].

WARNKEN ISE. Potential for Greenhouse Gas Abatement From Waste Management and Resource Recovery Activities in Australia. Final Report, 54p. Sydney, NSW: Warnken ISE/SITA, 2007.

WORLD BANK. What a waste - A global review of solid waste management. Urban development series. Knowledge papers. 116 p. 2012. Disponível em www.worldbank.org/urban. Acessado em 22 de agosto de 2012.