



Empresa de Pesquisa Energética

Série SI Energia:

Modelos de negócios para aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos -versão revista e estendida-



GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
MME

Ministério de Minas e Energia
Ministro
Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

Secretária Executiva
Marisete Fátima Dadald Pereira

**Secretário de Planejamento e
Desenvolvimento Energético**
Paulo César Magalhães Domingues

Secretário de Energia Elétrica
Christiano Vieira da Silva

**Secretário de Petróleo, Gás Natural e
Combustíveis Renováveis**
José Mauro Ferreira Coelho

**Secretária Adjunta de Geologia, Mineração e
Transformação Mineral**
Lilian Mascarenhas Sant'agostino



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 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
Thiago Vasconcellos Barral Ferreira
Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais
Giovani Vitoria Machado
Diretor de Estudos de Energia Elétrica
Erik Eduardo Rego
Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível
Heloisa Borges Bastos Esteves
Diretor de Gestão Corporativa
Angela Regina Livino de Carvalho

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

Sede
Esplanada dos Ministérios Bloco "U" - Ministério de Minas e Energia - Sala 744 - 7º andar - 70065-900 - Brasília - DF

Escritório Central
Praça Pio X, n. 54
Centro - Rio de Janeiro - RJ
CEP: 20091-040

Informe Técnico

Modelos de negócios para aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos -versão revista e estendida-

Coordenação Geral
Giovani Vitoria Machado

Coordenação Executiva
Carla da Costa Lopes Achão

Coordenação Técnica
Luciano Basto Oliveira

Equipe Técnica
Angela Oliveira da Costa
Bernardo Folly de Aguiar
Daniel Kühner Coelho
Gabriel Konzen
Guilherme Mazolli Fialho
Gustavo Naciff de Andrade
Helena Portugal Gonçalves da Motta
Marcelo Castelo Branco Cavalcanti
Marcelo Costa Almeida
Patrícia Feitosa Bonfim Stelling
Rachel Martins Henriques

Nº IT-EPE-DEA-SEE-002/2021
29 de junho de 2021

APRESENTAÇÃO

Após a publicação do Informe Técnico “Potencial Energético dos Resíduos Urbanos”, publicado no final de 2019, e do “Modelos de negócios para geração de eletricidade a partir de Resíduos Sólidos Urbanos”, em abril de 2020, este documento amplia o conceito ao considerar a eletromobilidade da frota como demanda cativa, com vistas a otimizar a alocação de recursos e, assim, subsidiar o planejamento energético nacional mediante a elaboração de políticas públicas integradas.

Cabe destacar que, assim como os produtos anteriores, não faz parte deste informe hierarquizar ou fazer juízo de valor sobre o melhor modelo a ser perseguido. O objetivo é trazer de forma isenta diferentes alternativas, com sua avaliação de competitividade, oportunidades e desafios. Também são apresentadas sinergias entre a produção de eletricidade, combustíveis e calor, identificando potenciais benefícios da complementariedade entre elas.

A EPE vem desenvolvendo estudo sobre o potencial energético de resíduos urbanos e rurais desde 2008. Juntamente com outras referências bibliográficas, esses trabalhos servem de base para estudos mais específicos como o presente. Dentre os trabalhos anteriores pode ser citadas as seguintes publicações: [Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande \(MS\)](#), [Inventário Energético de Resíduos Rurais](#), [Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético de Resíduos Rurais](#), [Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos](#), [Economicidade e Competitividade do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos](#), [SIenergia - Sistema Integrado de Informações para Energia](#), [Potencial Energético dos Resíduos Agropecuários](#), o [Potencial Energético dos Resíduos Urbanos](#) e o [Informe técnico sobre Modelos de negócios para a geração de eletricidade a partir de resíduos sólidos urbanos](#).

Atualmente, o SIenergia pode ser acessado através do [link http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/sienergia](#) e contempla o módulo de oferta dos resíduos da agropecuária, considerando rebanhos confinados e extensivos, bem como o de resíduos urbanos com informações em nível municipal e anual.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	1
SUMÁRIO	2
FIGURAS	3
1 CONTEXTO	4
2 Contratação pelo setor elétrico.....	7
2.1 Através de leilões	7
2.2 Via Chamada Pública pelas Distribuidoras (VRES)	10
3 Enquadramento como Minigeração Distribuída	11
3.1 Isenção de ICMS para projetos acima de 1 MW.....	12
4 Cogeração.....	13
5 Mix de eletricidade, combustível e cogeração	15
5.1 Licitação em Bloco de Eletricidade e Combustíveis	17
5.2 Licitação em Blocos mais bônus com cogeração.....	19
6 Atendimento à demanda das prefeituras	20
6.1 Eletrificação da frota de serviços públicos.....	23
6.2 Alocação dos energéticos	24
7 Potencial de receitas adicionais	27
7.1 Mercado de Crédito de Carbono.....	27
7.2 Precificação de externalidades pelos municípios	28
8 Substituição de Importações	32
9 Desafios e oportunidades dos modelos de negócios analisados.....	33
10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36

FIGURAS

Figura 1 – Distribuição e destinação final do RSU, no Brasil, em 2018.	5
Figura 2 - Composição Média de RSU.....	5
Figura 3 – Rotas e percentuais de coleta e potencial de destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil (nos círculos)	6
Figura 4 – Resultados de leilões (Preço Médio e Potência Contratada).....	9
Figura 5 - Comparação de tarifas comerciais com o custo nivelado da eletricidade de projetos de RSU	12
Figura 6 - Comparação de tarifas comerciais com o custo nivelado da eletricidade de projetos de RSU	13
Figura 7 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício da remuneração da energia térmica via cogeração.	15
Figura 8 – Demanda energética do Poder Público e potencial de oferta dos resíduos urbanos, em diesel equivalente (Mm^3/a), ao fator de 1 metro cúbico de biometano por litro de óleo diesel	16
Figura 9 – Comparação de preços entre consumo elétrico e de combustíveis dos serviços públicos (R\$/L de diesel equivalente).	17
Figura 10 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício com venda de combustível.....	18
Figura 11 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício com venda de combustível e da remuneração da energia térmica via cogeração.	19
Figura 12 – Demanda energética do Poder Público e potencial de oferta dos resíduos urbanos, em diesel equivalente (Mm^3/a), ao fator de 260 litros por MWh	20
Figura 13 – Comparação de preços entre consumo elétrico e de combustíveis dos serviços públicos (R\$/L de diesel equivalente).	22
Figura 14 - Comparação de preços entre consumo elétrico e de combustíveis dos serviços públicos (R\$/L de diesel equivalente, considerando custos incrementais no setor de transportes para absorver a eletricidade na iluminação pública).....	26
Figura 15 – Despesa total com serviços de coleta e manejo de RSU por tonelada.	31
Figura 16 – Importação de óleo diesel, quantidade (m^3) e dispêndio (1000 US\$)	32

1 CONTEXTO

Estima-se que a população mundial, hoje de mais de 7,4 bilhões de habitantes, esteja gerando cerca de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, segundo Kaza et al. (2018). A composição e a quantidade de lixo urbano gerada por habitante variam conforme o nível de desenvolvimento dos países. Verifica-se que o brasileiro produz menos lixo do que europeus e norte americanos, por exemplo (idem).

Os aterros ou lixões são os principais destinos dos resíduos urbanos na maioria dos países. Nas nações desenvolvidas, embora os aterros sanitários sejam uma importante parte da gestão integrada, parte considerável do lixo é incinerada com recuperação de energia ou encaminhada para compostagem, aeróbia ou anaeróbia, e reciclagem. Na Alemanha, por exemplo, apenas 9 kg, em média, por habitante vão anualmente para os aterros. Na Itália, essa quantidade é de 154 kg. No Brasil, os aterros e lixões recebem 348 kg de lixo gerado por habitante ao ano (ABRELPE, 2019).

Todavia, ainda segundo a ABRELPE, apenas cerca de 60% do resíduo coletado tem destinação final ambientalmente adequada. Ressalte-se que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010) considera destinação final ambientalmente adequada a destinação de rejeitos em aterros sanitários (inciso VIII do artigo 3º), definindo como rejeitos os resíduos comprovadamente inviáveis para (re)aproveitamento nos aspectos técnico, ambiental e econômico (inciso XV do artigo 3º). O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES), levado à consulta pública em 2020, estabelece até 2024 para o fim da irregular utilização de lixões e aterros controlados. Com isso, atividades como a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético dos resíduos, cujas viabilidades técnica e ambiental são reconhecidas, identificar dependem da identificação da economicidade para ampliarem sua participação no mercado nacional. É nesse sentido que o presente Informe Técnico pretende contribuir.

Através do Sistema de Informações para Energia da EPE ([SIenergia](#)), a partir de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, foi possível traçar um panorama da distribuição municipal dos resíduos sólidos urbanos, no Brasil, em 2018 (SNIS, 2019), apresentado na Figura 1. O aumento da produção total para 2019 foi de 10% (ABRELPE, 2020), mas por indisponibilidade de dados municipais, foi mantido o mapa abaixo

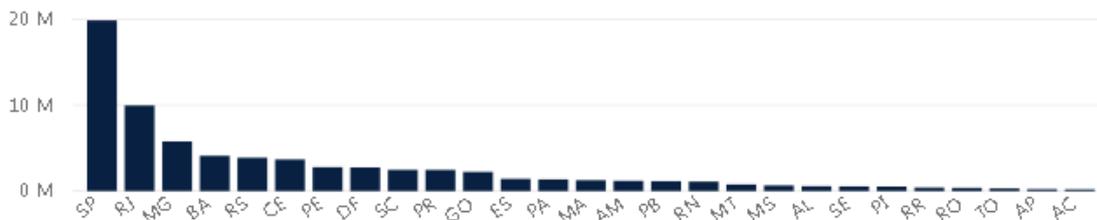
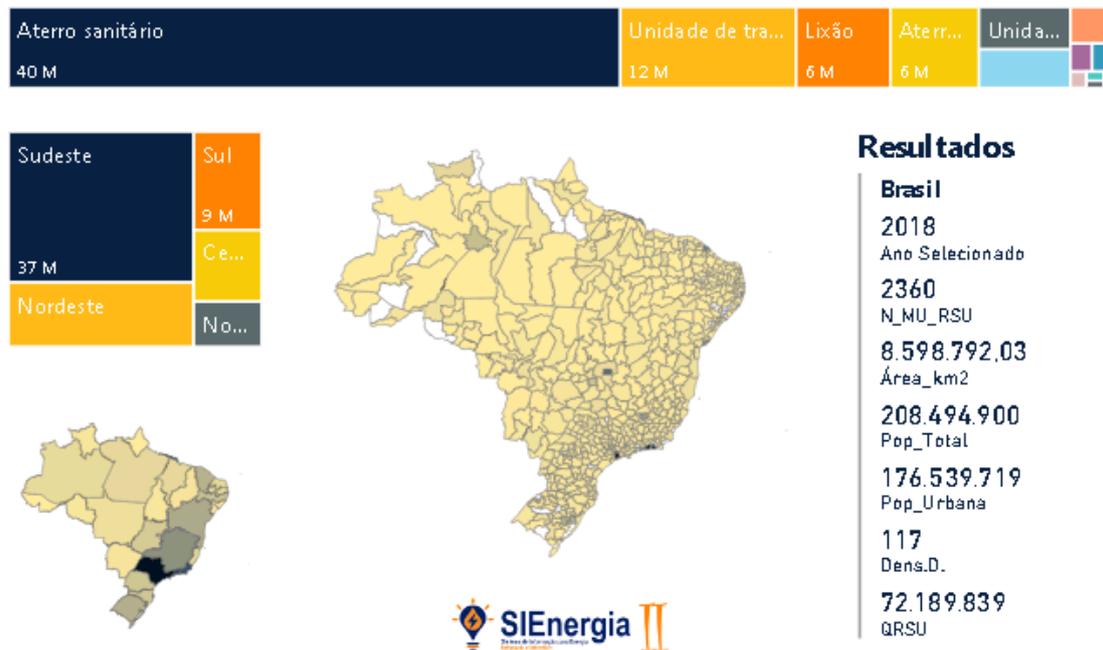


Figura 1 – Distribuição e destinação final do RSU, no Brasil, em 2018.

Fonte: EPE, 2020a.

Ressalve-se que os resíduos sólidos urbanos brasileiros são uma massa heterogênea, com umidade que se aproxima de 50% da massa e cuja composição pode ser observada na Figura 2.

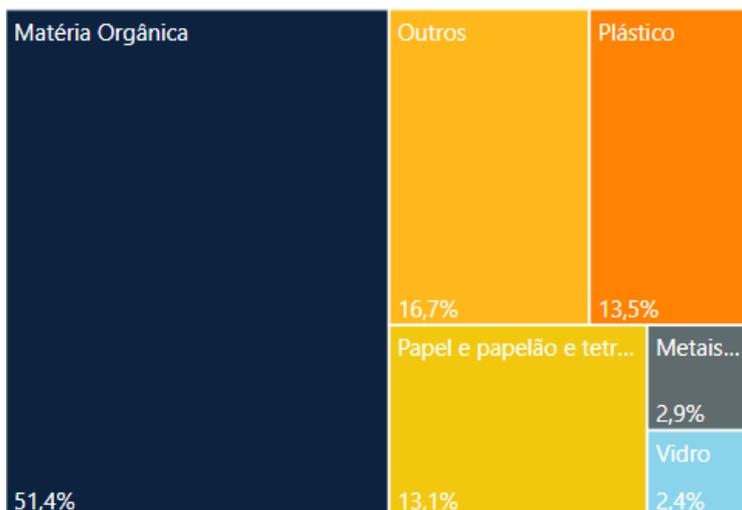


Figura 2 - Composição Média de RSU

Fonte: EPE, 2020a.

A Figura 3 representa a maioria das opções de destinação do RSU, bem como os teores ótimos que podem ser direcionados a cada destinação final.

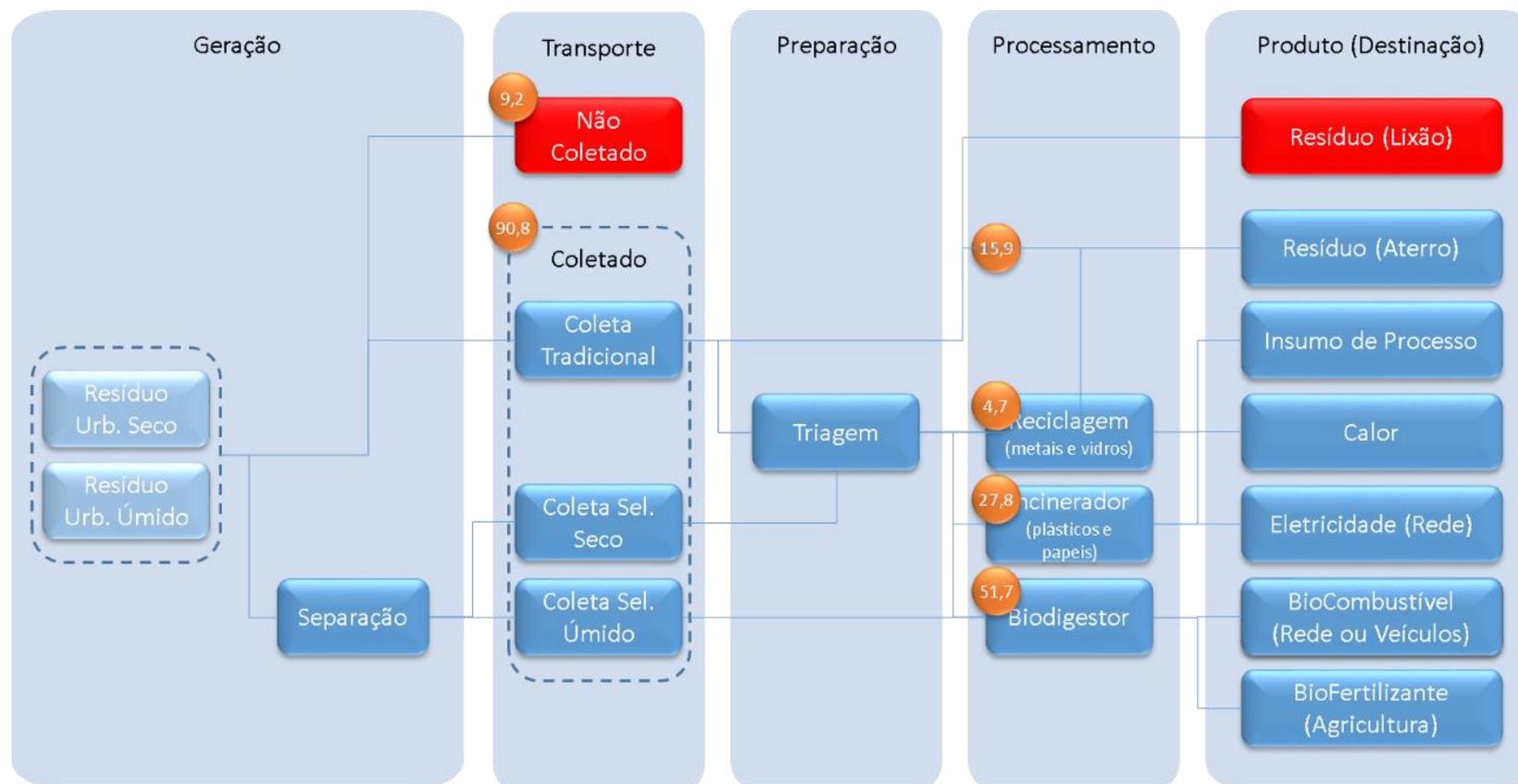


Figura 3 – Rotas e percentuais de coleta e potencial de destinação dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil (nos círculos)

Fonte: EPE, 2020a.

Neste trabalho, para desenvolver análises de modelos de negócios para a geração de eletricidade a partir da incineração de resíduos urbanos, foi considerada a fração formada majoritariamente por materiais combustíveis, capaz de garantir o poder calorífico inferior. Essa ressalva é importante, pois a redução da umidade da fração de restos alimentícios através de cogeração na própria usina consome a energia térmica que poderia ter outra aplicação e converter-se em receita a partir de produtos de maior valor agregado que a eletricidade. Também será analisada a geração elétrica a partir do biogás decorrente da decomposição dos restos alimentícios e o aproveitamento desses energéticos para abastecimento do setor de transportes. As alternativas analisadas contam com aplicações em curso em outros países, como diversos europeus, EUA e Japão, China e Índia, numa clara alusão aos conceitos de Economia Circular, Cidades Sustentáveis e Inteligentes (EPE, 2018).

Para a elaboração dos modelos de negócio a serem apresentados se assume a premissa de que as prefeituras não dispõem de recursos financeiros e capacidade técnica para construir e operar as plantas de aproveitamento energético de resíduos. Portanto, é considerado que o aproveitamento será realizado por um empreendedor privado, que poderá realizar a atividade via concessão ou parceria público-privada (PPP). Essa atividade poderá ser feita de forma conjunta com o serviço de coleta e terá uma remuneração específica por esses serviços. O empreendedor poderá, ainda, explorar a atividade de geração de energia (combustível e eletricidade) como julgar mais adequado.

São apresentadas formas principais de monetização dos energéticos e, adicionalmente, formas de geração de receita extra, que também têm o objetivo de aumentar a competitividade do negócio.

2 Contratação pelo setor elétrico

2.1 Através de leilões

A Lei 10.848/2004 estabelece que a contratação de energia elétrica no ambiente regulado deve ser realizada por meio de leilões. Esse mecanismo possibilita que as distribuidoras garantam o atendimento à expansão de seus mercados a partir de contratos de energia de longo prazo com empreendimentos de geração de diferentes fontes. Nesse contexto, os agentes geradores possuem maior previsibilidade e segurança na receita da venda da energia, o que favorece a obtenção de condições de

financiamento mais favoráveis para a implantação dos empreendimentos. Os empreendedores que desejam participar dos leilões devem submeter seus projetos ao processo de habilitação técnica realizado pela EPE. A evolução dos preços médios praticados nos leilões é apresentada na Figura 4.

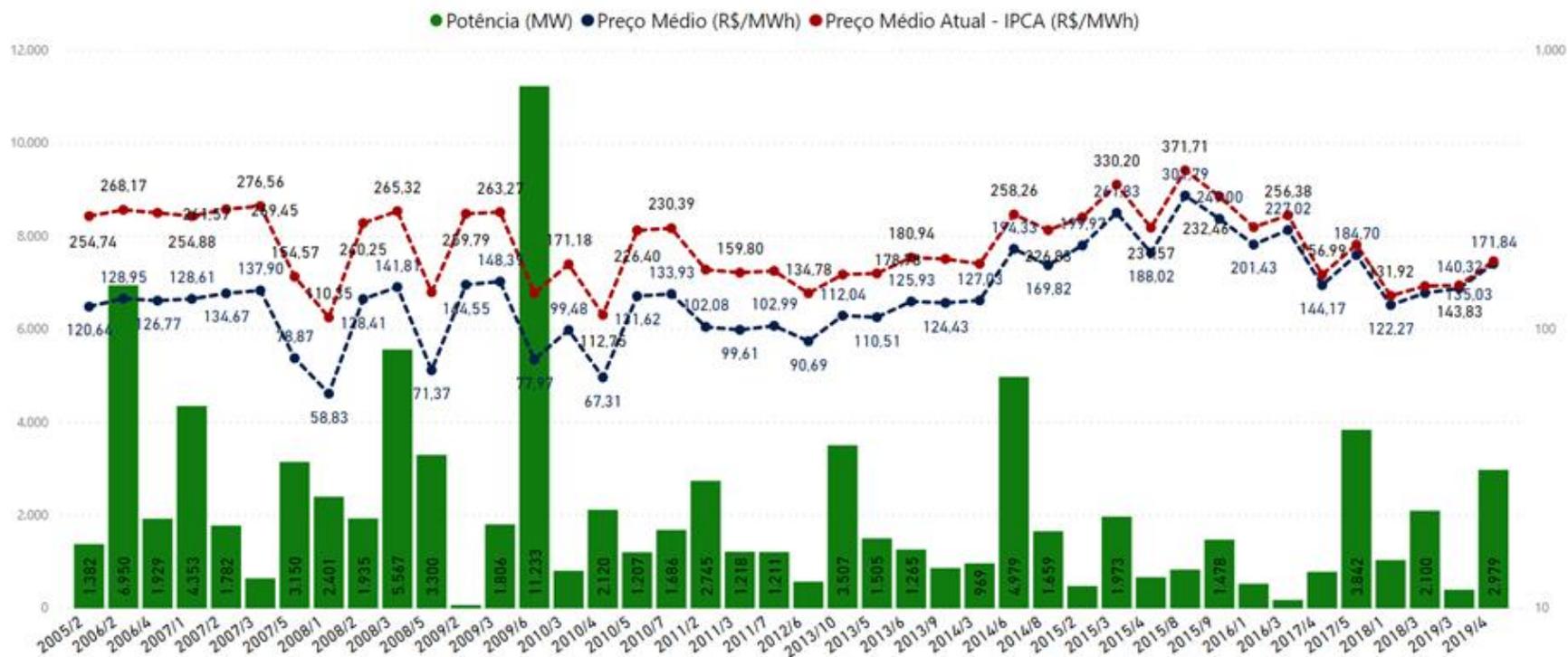


Figura 4 – Resultados de leilões (Preço Médio e Potência Contratada)

Fonte: ANEEL (2021)

2.2 Via Chamada Pública pelas Distribuidoras (VRES)

Segundo o Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004, as distribuidoras podem atender até 10% de sua carga através de projetos de geração distribuída. A contratação dos empreendimentos deste tipo é feita por meio de chamadas públicas, promovidas diretamente pelos agentes de distribuição. Conforme estabelecido pela Lei 10.848/2004, o repasse dos custos de aquisição de geração distribuída às tarifas finais dos consumidores estava limitado pelo Valor de Referência (VR), que era calculado com base nos valores médios dos leilões A-5 e A-3, baseados em projetos centralizados de grande porte.

Como isso inviabilizava a maior parte dos projetos de geração distribuída, a Lei nº 13.203/ 2015, instituiu o Valor Anual de Referência Específico (VRES), um valor diferenciado que considera condições técnicas e a fonte de geração distribuída. A partir de então, o repasse dos custos desta modalidade de contratação está limitado ao maior valor entre o VR e o VRES.

A Portaria MME nº 65/2018, estabeleceu o VRES para diferentes tecnologias de geração distribuída, incluindo o valor de até R\$ 561/MWh para projetos de RSU (MME, 2018), via biodigestão, enquanto plantas de incineração dispõem de R\$ 450/MWh. Por outro lado, deve-se reconhecer que ambos os valores são superiores ao custo médio com compra de energia (Pmix, que foi R\$ 207/MWh em 2019 – EPE, 2019) das distribuidoras, o que tenderia a aumentar as tarifas de eletricidade.

Adicionalmente, a recomendação da ANEEL (2018) é de que *“(...) as distribuidoras poderiam elaborar estudo para justificar a escolha (i) de uma fonte de geração em especial e (ii) de determinado ponto de conexão da GD em sua rede, demonstrando as vantagens econômicas para integração da fonte de GD e/ou do local de conexão, considerando-se aspectos de perdas, redução ou postergação de investimentos, bem como o cálculo do impacto tarifário acumulado desse tipo de contratação.”*

Sob o ponto de vista das distribuidoras, em evento realizado pelo BNDES no final de 2018, representantes das companhias informaram que tal contratação traria impacto nas tarifas, que seria um vetor para o aumento da inadimplência. Logo, o modelo de contratação voluntária não seria atrativo para as distribuidoras.

Além disso, convém ressaltar que a perspectiva de evolução da demanda, a partir da crise do Covid19, é de redução sobre o que estava projetado anteriormente.

3 Enquadramento como Minigeração Distribuída

No âmbito da Resolução ANEEL nº 482/2012 (REN 482), há a possibilidade do empreendimento de geração elétrica via RSU injetar a energia na rede da distribuidora e compensar os créditos em outras unidades consumidoras dentro da área de concessão da mesma distribuidora. A REN é válida para projetos de até 5 MW. O empreendedor responsável pelo investimento na planta e pela sua operação pode destinar essa eletricidade para unidades consumidoras do Poder Público ou outros consumidores comerciais, por exemplo, e ser remunerado por isso.

A REN 482 proíbe a comercialização da eletricidade gerada (em R\$/MWh), mas através de modelos de arrendamento ou aluguel da planta de geração, em conjunto com a atividade de operação, é possível que o empreendedor seja remunerado mensalmente pelo ativo e serviço prestado. Para o cliente, a escolha dessa solução deve proporcionar uma economia em relação aos gastos com eletricidade através da compra via distribuidora. Portanto, o empreendedor precisa fornecer um “desconto” em relação ao fornecimento convencional.

No momento, a REN 482 se encontra em revisão, havendo a possibilidade de alteração das regras de compensação. Atualmente, os créditos de energia gerados podem compensar todas as componentes tarifárias¹. A proposta de compensação de apenas algumas componentes tende a diminuir a viabilidade dos projetos, como mostra a Figura 5.

¹ Energia, distribuição (FIO B), transmissão (FIO A), encargos e perdas.

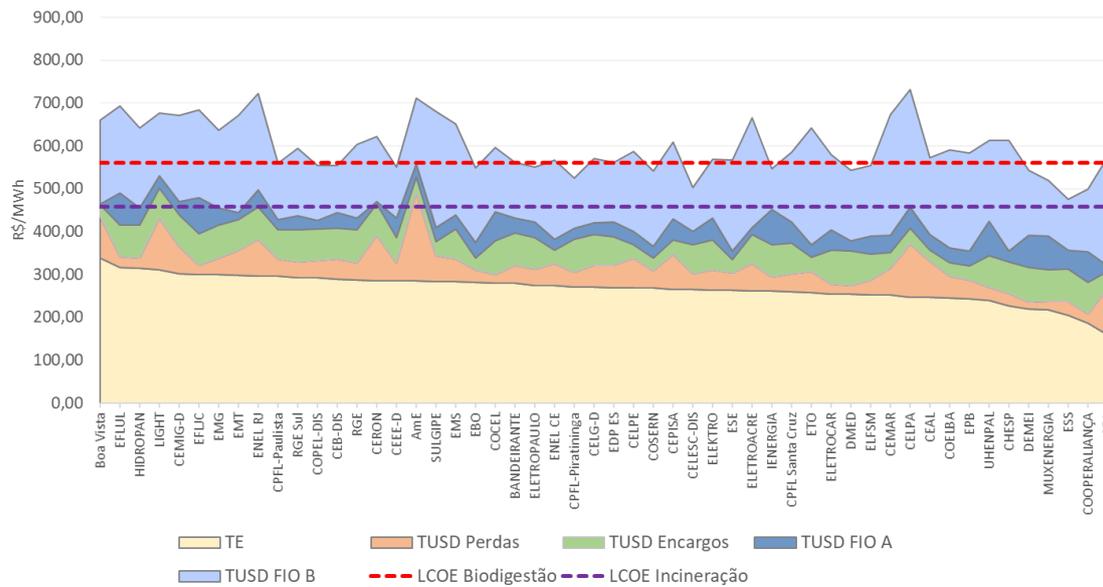


Figura 5 - Comparação de tarifas comerciais com o custo nivelado da eletricidade de projetos de RSU

Nota: tarifas de 2019 com impostos compatíveis com modelo de geração remota de 5 MW. Custos nivelados calculados com base em MME (2018).

Fonte: EPE, 2020a

Como mostra a Figura 5, com o empilhamento de todas as componentes, o custo nivelado dos projetos de biodigestão e incineração se mostra competitivo em diversas distribuidoras. No caso da não compensação da parcela FIO B, somente projetos de incineração em algumas distribuidoras seriam competitivos. Dadas as incertezas quanto ao futuro da REN 482, há um risco no desenvolvimento de projetos nesse modelo.

Por fim, cabe ressaltar que, internacionalmente, cerca de 90% das plantas de incineração instaladas têm potência superior a 5 MW (WTERT, 2013). Portanto, pode-se encontrar dificuldades em viabilizar plantas na escala permitida pela REN 482.

3.1 Isenção de ICMS para projetos acima de 1 MW

As tarifas apresentadas na Figura 5 não têm a incidência de ICMS, pois o Convênio CONFAZ ICMS 15/2016 limita a isenção para projetos de até 1 MW. Ou seja, a compensação dos créditos de geração distribuída acima de 1 MW não abatem o ICMS da fatura de eletricidade. No caso de projetos de geração elétrica de RSU, entende-se que a escala supera esse patamar, e, portanto, não receberiam o benefício.

Caso houvesse a extensão da isenção para projetos acima de 1 MW, a viabilidade seria melhorada, como pode ser visto na Figura 6. Caberia aos estados avaliar a redução de

receita esperada, frente aos custos com saúde oriundos da má destinação do lixo nas cidades.

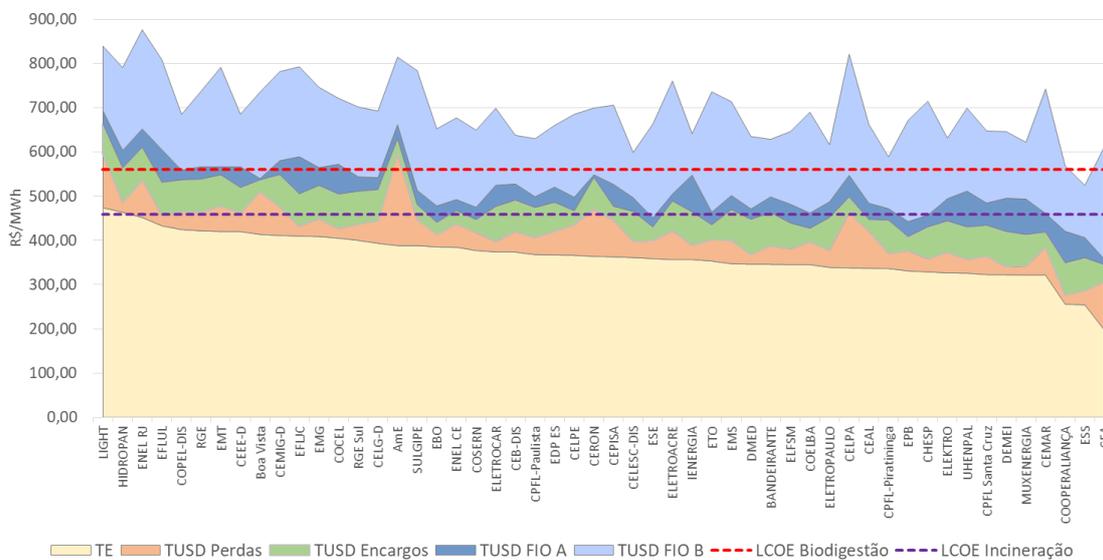


Figura 6 - Comparação de tarifas comerciais com o custo nivelado da eletricidade de projetos de RSU

Nota: tarifas de 2019 com impostos (ICMS, PIS e COFINS). Custos nivelados calculados com base em MME (2018).

Fonte: EPE, 2020a

4 Cogeração

Com vistas a complementar a receita, avalia-se a apropriação de parte do calor residual. Para tanto, a planta de incineração de resíduos com cogeração deveria ser instalada junto a um distrito industrial, comercializando o calor para obter receita adicional. No entanto, a contabilização deste benefício complementar não é simples, uma vez que o mercado para a comercialização do calor no Brasil² é mais restrito que em outros países.

Para estimar o valor da comercialização do calor, foi calculado o custo de atendimento térmico de um produto substituto. Nesse caso, a lenha.

² Em alguns países, através do modelo conhecido como district heating, o calor é comercializado em forma de água quente ou vapor através de tubulações.

Foram utilizados os dados de 2018 da quantidade produzida e do valor da produção de lenha, da publicação “Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Estes dados estão disponíveis no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). A quantidade produzida é informada em metros cúbicos estéreos, e sua conversão em unidades energéticas utilizou dados do Balanço Energético Nacional para lenha comercial (Densidade de 390 kg/metro cúbico estéreo, e poder calorífico inferior de 3.100 kcal/kg).

A produção de lenha está concentrada nos estados da região sul, mais Minas Gerais e São Paulo. Para esses estados, o cálculo mostrou os valores da energia térmica mínimo e máximo são R\$ 41,57/MWh-t (SP) e R\$ 49,91/MWh-t (PR). O valor para o Brasil é de R\$ 48,01/MWh-t.

No caso da planta de incineração, foi considerada uma eficiência elétrica de 20% e eficiência térmica final de 40%. Ou seja, a planta de cogeração teria uma eficiência total de 60%. Dividindo a receita extra com o calor (preço médio nacional) pela eletricidade total produzida pela planta, obtém-se o valor de R\$ 96 para cada MWh elétrico gerado. Portanto, caso fosse comercializado o calor da planta, seria possível reduzir em R\$ 96/MWh o custo nivelado da eletricidade a partir da incineração, chegando a um valor de R\$ 363/MWh. A Figura 7 ilustra o efeito desse benefício em comparação à Iluminação Pública, modalidade que tem a menor das tarifas pagas pelo poder público, numa análise conservadora. Por outro lado, a mesma dispõe da Contribuição de Iluminação Pública (CIP) ou a Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP) (Brasil, 1988) para garantir o pagamento.

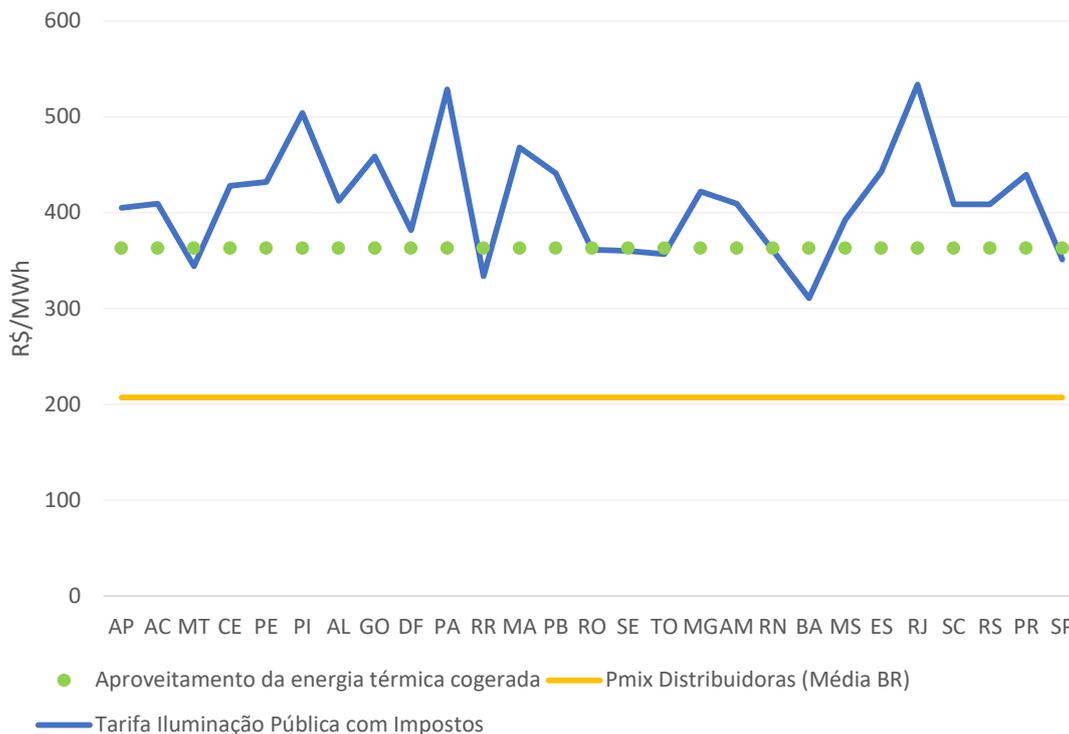


Figura 7 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício da remuneração da energia térmica via cogeração.

Nota: cálculo para plantas de incineração.

Fonte: EPE, 2020a

Ainda que também seja identificada viabilidade em 70% das UF's, é importante observar que o valor considerado na estimativa se refere apenas à parcela combustível para o consumidor de energia térmica. As parcelas de investimento, operação e manutenção (O&M) fixa do processo de geração de calor não estão incluídas na estimativa realizada, caracterizando uma abordagem conservadora para novos empreendimentos industriais e, descontando o investimento e parte do O&M, para os já existentes que venham a substituir a oferta.

5 Mix de eletricidade, combustível e cogeração

A composição dos RSU e a disponibilidade tecnológica permite o consórcio de soluções de modo a extrair os produtos de acordo com as melhores valorações de mercado, de acordo com o conceito de economia de escopo.

A Figura 8 abaixo, recuperada do IT de 2019, representa a demanda de energia das atividades relacionadas ao serviço público de transportes e à oferta potencial a partir dos resíduos urbanos, em quantidade de diesel equivalente.

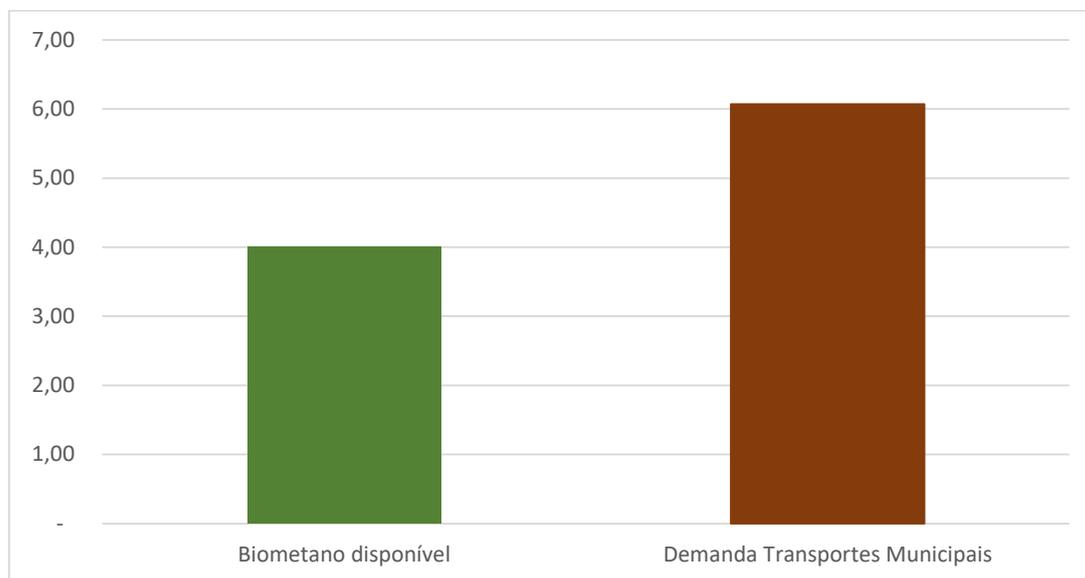


Figura 8 – Demanda energética do Poder Público e potencial de oferta dos resíduos urbanos, em diesel equivalente (Mm^3/a), ao fator de 1 metro cúbico de biometano por litro de óleo diesel

Fonte: EPE, 2019.

A Figura 8 permite depreender que existe demanda suficiente do poder público para absorver toda a energia disponibilizada a partir dos resíduos atualmente gerados. Além disso, mostra-se relevante a relação entre os serviços públicos de transporte e o risco do mercado não contratado (“spot”) de combustíveis, uma vez que esse serviço tem a característica de ser regulado. Logo, é capaz de atender à premissa de previsibilidade que afeta a análise de risco de empreendimentos, conforme citado por Milanez et al (2015) em proposição de contratos de longo prazo para biocombustíveis.

A Figura 9 mostra os preços médios do óleo diesel, para revenda da distribuidora e para o consumidor final, provenientes da pesquisa da ANP (2021), foram comparados aos valores de biometano publicados pela EPE (2014a). A comparação é feita em valores de óleo diesel equivalente (R\$/L), para o que foi utilizado o fator de 1 metro cúbico de biometano por litro de óleo diesel.

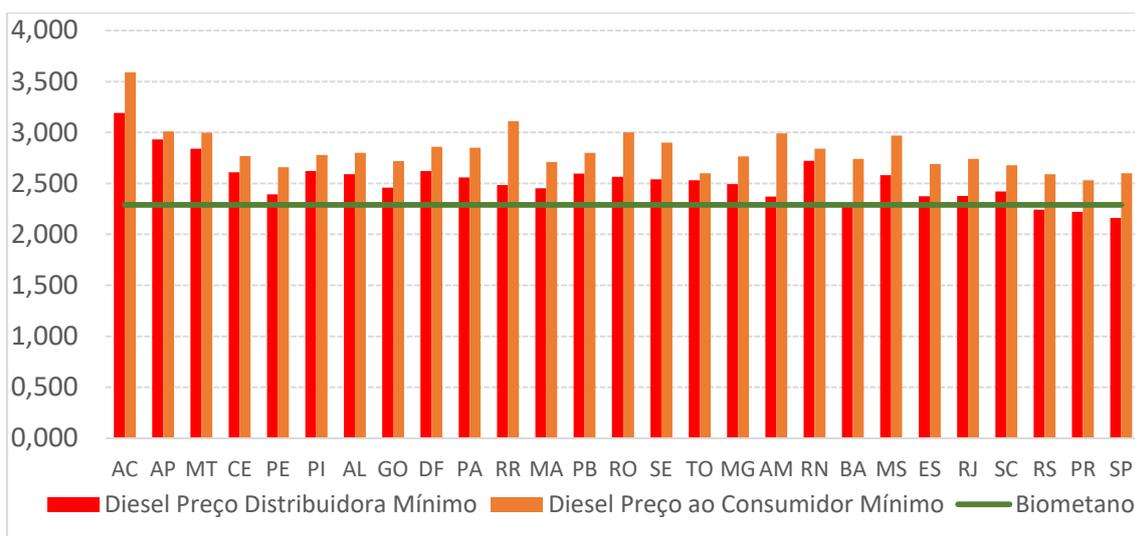


Figura 9 – Comparação de preços entre consumo elétrico e de combustíveis dos serviços públicos (R\$/L de diesel equivalente).

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE, 2019.

Em virtude do custo de aproveitamento energético dos resíduos urbanos³ ser inferior ao preço mínimo à distribuidora cobrado pelos combustíveis fósseis, na maioria dos estados, é possível utilizar parte da economia a ser obtida com essa substituição para arcar com o incremento do custo em algumas aplicações elétricas, como apresentado em EPE (2019).

Os subitens, a seguir, tratarão da apropriação dos energéticos de acordo com suas valorações ora disponíveis.

5.1 Licitação em Bloco de Eletricidade e Combustíveis

Com o objetivo de se aproveitar as parcelas úmida e seca do lixo, além de aumentar a competitividade da produção da eletricidade, propõe-se um modelo de negócio conjugado. Ou seja, diminui-se a margem na venda do biometano para melhorar a competitividade da eletricidade. Para tanto, as prefeituras concederiam o aproveitamento dos resíduos com a obrigatoriedade de produção dos dois energéticos.

³ A análise para biometano foi realizada como base em simulador de um fabricante, mas considerou-se que os demais integrantes do mercado mantenham preços competitivos (NGV, 2019). A análise para eletromobilidade foi realizada a partir de simulador da EPE, disponível no site.

Esse modelo, conhecido como licitação por blocos, ou “filé com osso”, costuma ser utilizado no setor de telecomunicações (IPEA, 2018) e aeroportos⁴, de forma a equilibrar áreas lucrativas com áreas deficitárias. Tal modelo pode vir acompanhado pela compra compulsória do combustível e eletricidade por parte das prefeituras, ou somente do combustível, com a liberdade do empreendedor comercializar a eletricidade nos modelos anteriores.

A partir de EPE (2019), foi estimado quanto pode ser reduzido o custo nivelado da eletricidade de RSU com a compensação do benefício da parcela de combustível. Ou seja, foi simulado que a diferença de preço entre o biometano e o diesel fosse destinada para reduzir o preço do produto eletricidade, melhorando sua competitividade. A Figura 10 ilustra a estimativa.

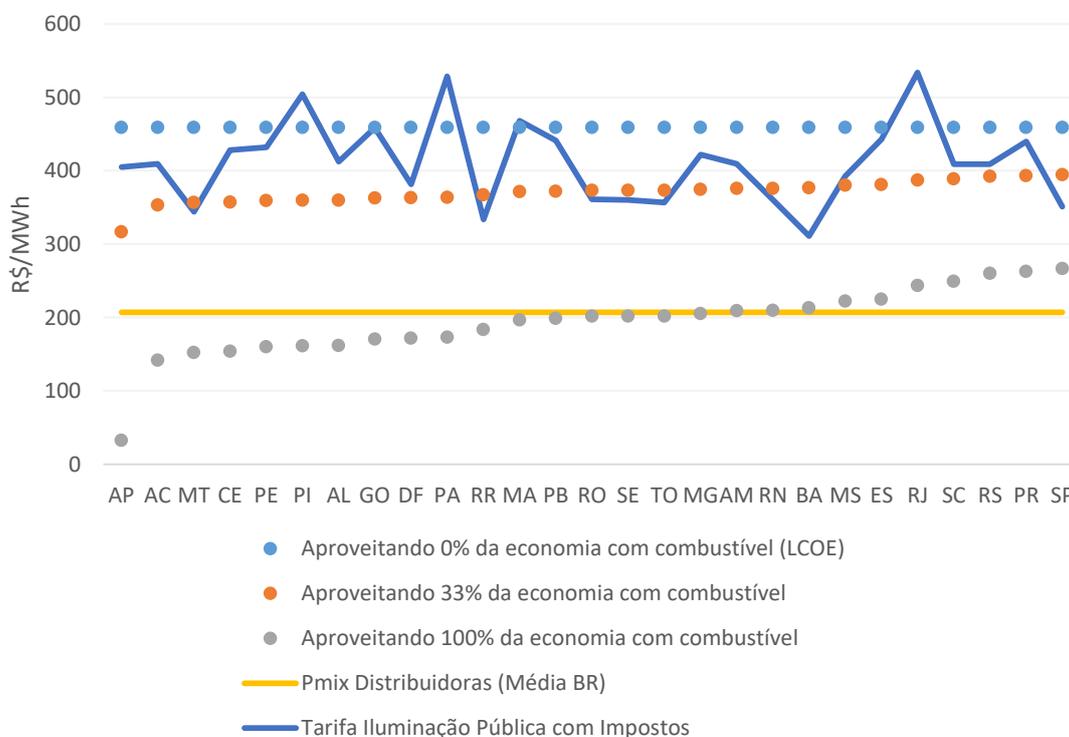


Figura 10 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício com venda de combustível.

Nota: cálculo para plantas de incineração.

Fonte: EPE, 2020a

⁴ <https://www.machadomeyer.com.br/pt/inteligencia-juridica/publicacoes-ij/financiamento-de-projetos-e-infraestrutura-ij/concessoes-aeroportuarias-licoes-aprendidas-desafios-e-novas-oportunidades>

Como pode ser visto, a eletricidade poderia ser vendida abaixo do preço médio de compra de eletricidade das distribuidoras (Pmix) em 60% das unidades federativas caso fosse considerada a receita conjunta da eletricidade e do combustível. Com o aproveitamento de 1/3 da economia da parcela combustível, situação que permite a remuneração do incremento no custo de aquisição dos veículos e a assimilação de algum risco operacional, é possível encontrar competitividade com a tarifa de iluminação pública em 70% das UFs.

5.2 Licitação em Blocos mais bônus com cogeração

Agregando as análises realizadas acima, é possível ampliar a viabilidade, como mostra a Figura 11.

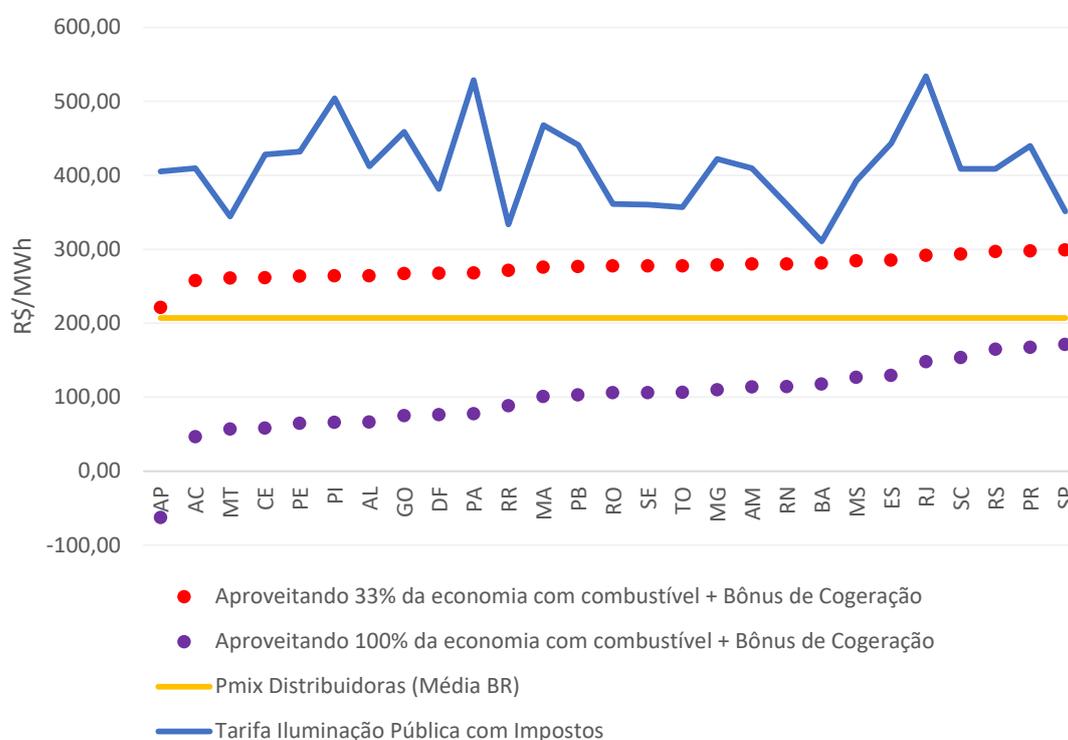


Figura 11 - Estimativa de custo da eletricidade com apropriação do benefício com venda de combustível e da remuneração da energia térmica via cogeração.

Nota: cálculo para plantas de incineração.

Fonte: EPE, 2020a

A Figura 11 permite depreender que a agregação dos benefícios com a venda de combustível promove a viabilidade em todas as UF's. Inclusive, quando utilizada a íntegra da economia da substituição de combustíveis, a agregação de benefícios torna a eletricidade da incineração mais barata que o Pmix.

Por outro lado, cabe ressaltar a complexidade adicional de estruturar um negócio que envolva diferentes agentes (cliente da eletricidade, cliente do combustível, cliente do calor, poder concedente, empreendedor) e a uniformização dos contratos.

6 Atendimento à demanda das prefeituras

Além de somente utilizar a demanda por combustível das prefeituras para complementar a receita da contratação da eletricidade, é possível avaliar a modalidade de atendimento integral da demanda energética das prefeituras, utilizando a estrutura do Ambiente de Contratação Livre, aplicável a consumidores livres, com demanda a partir de 3 MW, ou especiais, a partir de 500 kW. A Figura 12 abaixo, recuperada do IT de 2019, representa a demanda de energia das atividades relacionadas ao poder público e a oferta potencial a partir dos resíduos urbanos, em quantidade de diesel equivalente. Merece destaque o fato de ter sido desprezada a demanda de tração elétrica, pois ocorre em poucas distribuidoras e representa montante comparativamente desprezível. A incineração representada corresponde à parcela complementar à utilizada para a obtenção de biometano.

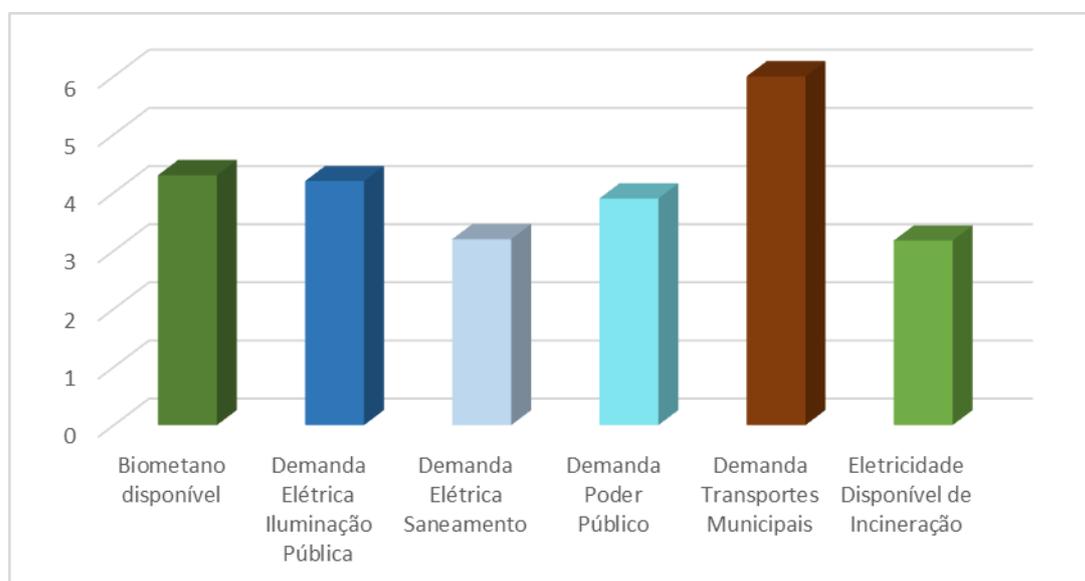


Figura 12 – Demanda energética do Poder Público e potencial de oferta dos resíduos urbanos, em diesel equivalente (Mm³/a), ao fator de 260 litros por MWh

Fonte: EPE, 2019.

A Figura 12 permite depreender que existe demanda suficiente do poder público para absorver toda a energia disponibilizada a partir dos resíduos atualmente gerados.

Uma vez verificada a capacidade de absorção da energia proveniente dos resíduos urbanos pela demanda das atividades relacionadas ao poder público, é necessário verificar se existe economicidade nessa substituição.

As tarifas elétricas informadas pela ANEEL (2020), para as classes de consumo por distribuidoras⁵, e os preços médios do óleo diesel, para revenda da distribuidora e para o consumidor final, provenientes da pesquisa da ANP (2021a), foram comparados aos valores de geração elétrica considerado no VRES (MME, 2018), corrigido pelo IPCA até março de 2021 (IBGE, 2021), para usinas superiores a 20 MW, e biometano (EPE, 2014a). A Figura 13 mostra a comparação em valores de óleo diesel equivalente (R\$/L), para o que foi utilizado o fator de 260 litros por MWh.

⁵ Nos estados em que há mais de uma distribuidora atuando somente em seu território, foi calculada a média ponderada. Nos casos de distribuidoras que atuam em mais de um estado, sua participação e seu custo foram desprezados.

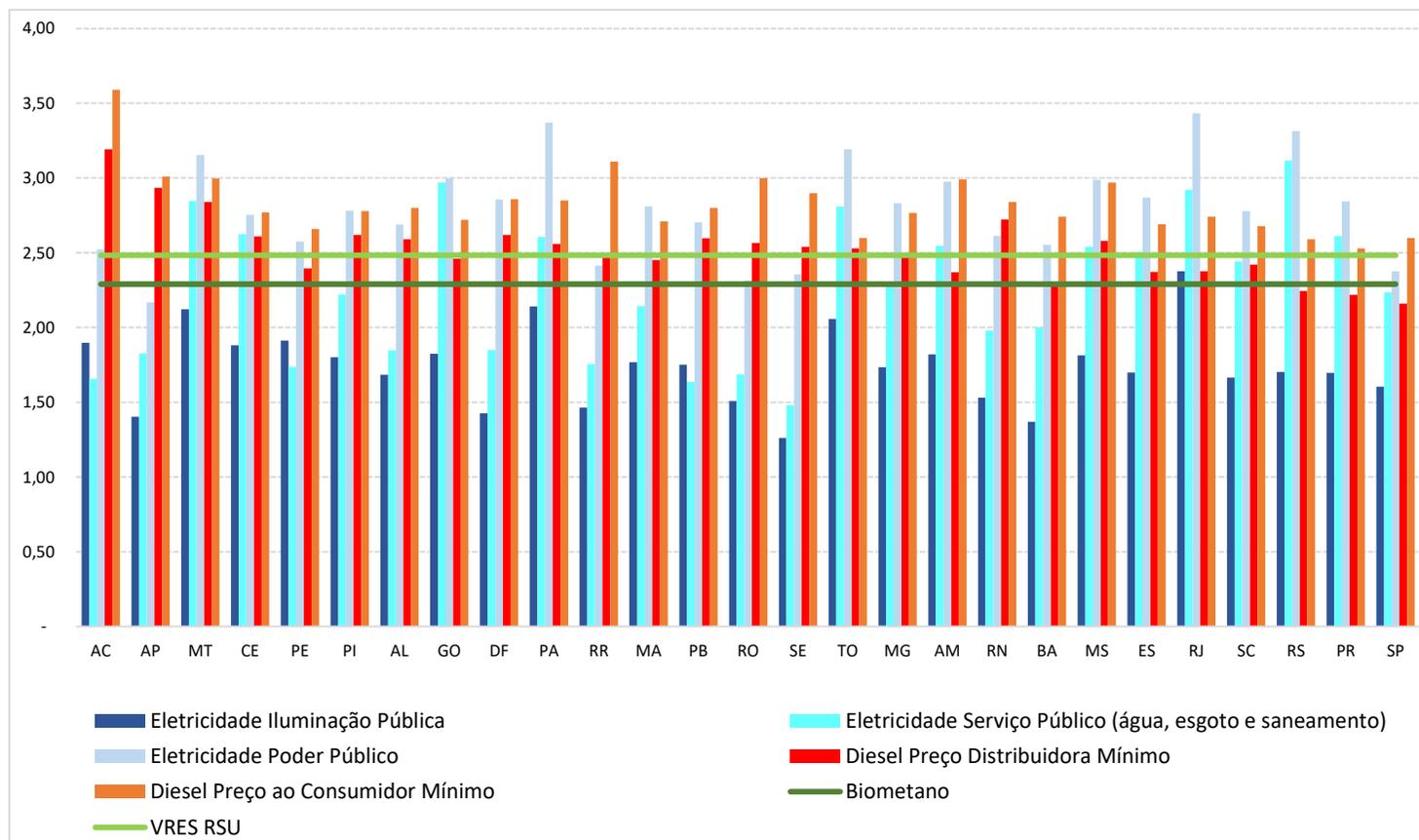


Figura 13 – Comparação de preços entre consumo elétrico e de combustíveis dos serviços públicos (R\$/L de diesel equivalente).

Fonte: Elaboração própria a partir de EPE, 2019.

Em virtude do custo de aproveitamento energético dos resíduos urbanos, algumas aplicações elétricas para os consumos tradicionais parecem interessantes e merecem maior atenção. Já no caso do uso veicular, com capacidade de consumir 82% da oferta, é viável em muitos estados, seja para biometano ou eletromobilidade⁶.

Cabe realçar que existem alternativas elétricas mais baratas no ACL, mas sua aquisição consumiria parte dos recursos disponíveis para o aproveitamento energético de resíduos que, concomitantemente, resolve a questão sanitária. Dessa forma, justifica-se a aquisição de alternativa elétrica mais cara uma vez que sistemicamente é mais barata.

6.1 Eletrificação da frota de serviços públicos

Em virtude das comprovações internacionais sobre os danos das emissões dos combustíveis fósseis (Baker et al, 2007), a indústria do setor de transportes envolveu-se na busca de maneiras para reduzir seus impactos. Para tanto, concomitantemente ao desenvolvimento tecnológico dos veículos pesados à gás natural e biocombustíveis, também investiu na inserção de veículos pesados elétricos.

Ainda que essa opção requeira troca da frota, mais cara que a conversão para biometano, a eletricidade é mais barata que o biometano, como mostra a Figura 13. Portanto, sua viabilidade depende da vida útil do equipamento ser longa o suficiente para a economia nos custos energéticos pagar pelo incremento no investimento, incluindo os custos financeiros.

Em 2019, a EPE publicou um simulador de viabilidade de ônibus elétricos⁷ e, em 2020, uma Nota Técnica avaliando algumas de suas aplicações (EPE, 2020b), que evidenciou a importância do prazo de substituição da frota para a análise de viabilidade, dado o elevado preço de aquisição. Tal procedimento é exigido pelas posturas municipais devido à perda da eficiência dos motores, para evitar os danos incrementais causados pelas emissões locais e globais. Uma vez que os veículos elétricos não geram emissões

⁶ A análise para biometano foi realizada como base em simulador de um fabricante, mas considerou-se que os demais integrantes do mercado mantenham preços competitivos (NGV, 2019). A análise para eletromobilidade foi realizada a partir de simulador da EPE, disponível no site.

⁷ http://shinyepe.brazilsouth.cloudapp.azure.com:3838/simulador_onibus/Onibusv3/

no uso, poderia ser compatível a ampliação do horizonte de utilização de 5 para 10 anos, sendo necessário atentar para a vida útil das baterias.⁸

A Associação Brasileira para a Recuperação Energética de Resíduos publicou artigo (ABREN, 2020) apontando para a oportunidade da eletromobilidade de veículos pesados ser associada ao aproveitamento energético de resíduos. O artigo reforça que, além de garantir o consumo e a receita para viabilizar as usinas de aproveitamento energético dos resíduos, essa solução reduz a emissão de material particulado, que representa custos para o sistema de saúde, de dióxido de carbono, de ruídos e da evolução dos custos para o setor de transportes, uma vez que a energia dos resíduos está dissociada da cesta de combustíveis internacional e da taxa de câmbio.

6.2 Alocação dos energéticos

Em virtude da Figura 12 mostrar que o biometano e a eletricidade, juntos, representam oferta superior em 18% à demanda das frotas de serviços públicos, deve-se avaliar as alternativas para aplicações do excedente. Mesmo podendo ser comercializado no varejo, optou-se por analisar sua contratação no âmbito do poder público, de modo a testar a viabilidade da realocação das diferenças.

Ainda que exista demanda por gás em prédios públicos (escolas e hospitais, para cocção, por exemplo), a distribuição de seu excedente enfrenta maiores dificuldades que o da eletricidade. Por isso, considerou-se, então, que fosse priorizado o aproveitamento do biometano para fins veiculares, o qual é insuficiente para atender à demanda e, portanto, uma parcela da eletricidade gerada poderia ser consumida nesse mesmo setor, restando um excedente. A título de análise conservadora, avaliou-se o efeito dessa eletricidade ser disponibilizada para a Iluminação Pública, que conta com a menor tarifa dentre as apresentadas na Figura 13. Por outro lado, como já dito, a mesma dispõe da Contribuição de Iluminação Pública (CIP) ou a Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP) (Brasil, 1988) para garantir o pagamento e a diferença pode ser deduzida da economia no setor de transportes.

Considerou-se o consumo de óleo diesel, o potencial de produção de biometano e de eletricidade como proporcionais à produção de RSU. Caso a demanda por óleo diesel

⁸ Conforme foi realizado nos municípios que já adotaram caminhões de coleta de lixo e ônibus urbanos com essa tecnologia, no Brasil (BYD, 2020).

seja atendida por biometano e complementada por eletricidade, ainda sobrarão o equivalente a 1,1 Mm³/a de diesel equivalente (Figura 12). O recurso financeiro necessário para suportar o custo incremental foi diluído pelos energéticos que substituíram o óleo diesel, mas só consegue viabilidade em certas condições e em alguns estados, conforme a Figura 14.

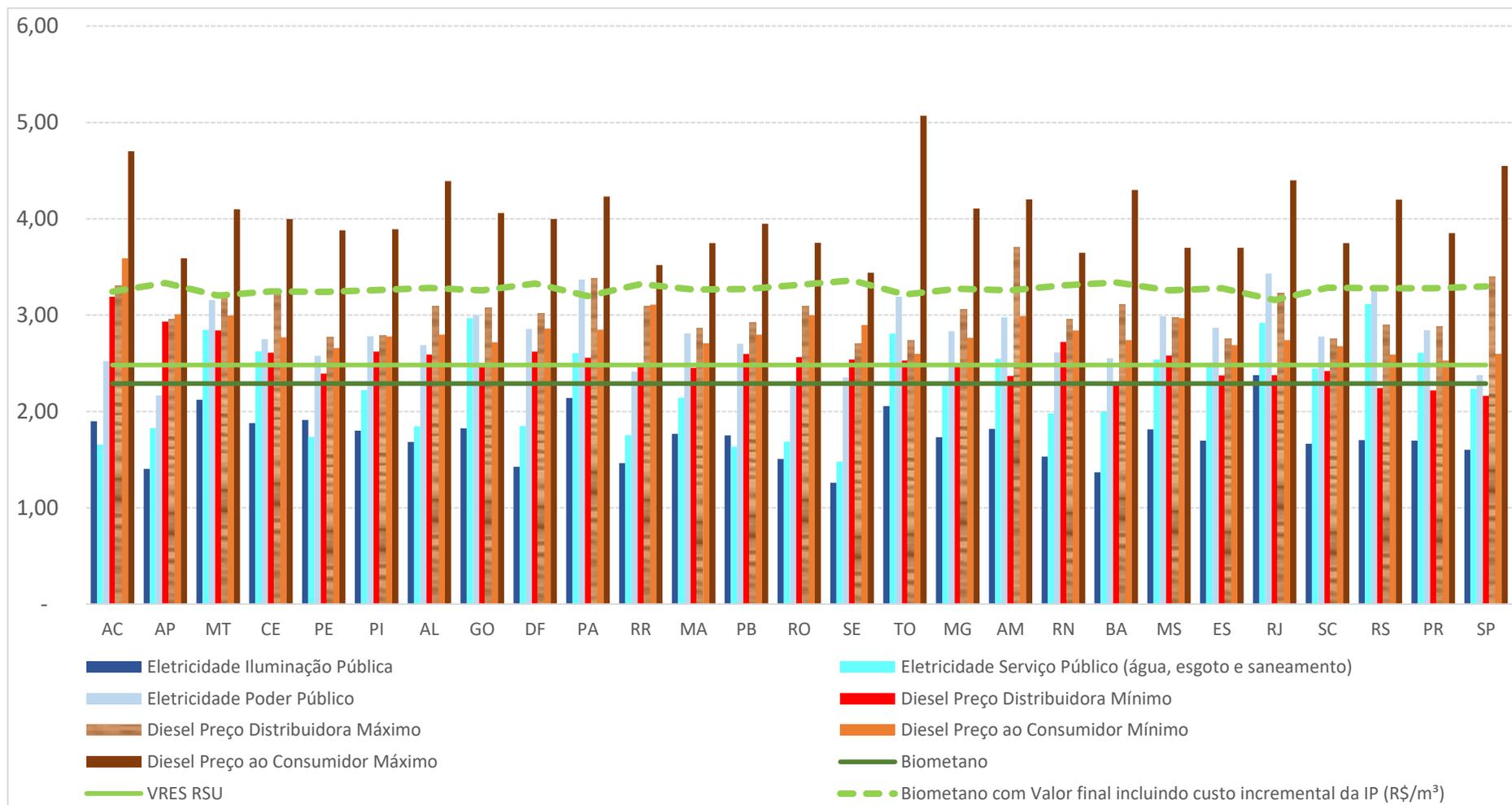


Figura 14 - Comparação de preços entre consumo elétrico e de combustíveis dos serviços públicos (R\$/L de diesel equivalente, considerando custos incrementais no setor de transportes para absorver a eletricidade na iluminação pública).

Fonte: Elaboração própria, a partir de EPE, 2019.

7 Potencial de receitas adicionais

Esses modelos estão alinhados com os princípios de modernização do setor elétrico, com a estratégia para cumprimento da Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC) do Brasil e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

7.1 Mercado de Crédito de Carbono

O aproveitamento energético dos resíduos urbanos mitiga emissões equivalentes ao balanço entre as fontes emissoras, como os plásticos e borrachas, que têm origem fóssil, e a mitigação dos materiais biodegradáveis que emitiriam metano em vazadouro, além do conteúdo de carbono no mix da matriz elétrica nacional. Além disso, quando esses energéticos forem utilizados para substituir óleo diesel, evitarão sua combustão.

A quantidade mitigada é de 80% do metano da decomposição dos restos alimentares (pois as tochas de segurança só têm eficiência de 20%). Sabe-se que a massa específica do metano é de 0,716 kg/m³ e o potencial de aquecimento global (GWP)⁹ é de 28, para 100 anos, enquanto sua combustão é considerada neutra, por ser de origem biogênica (IPCC, 2014). Assim, a mitigação será de 80%*0,716 kg CH₄/m³ x 28=16 kg CO₂eq/m³. Como o potencial de biometano é de 4,3 Mm³ de diesel equivalente/a (EPE, 2019), sabendo-se que a relação energética entre diesel e biometano é de 1L:1m³, tem-se que a mitigação equivalente a seu consumo será de 69 Mt CO₂ eq/a.

Já o potencial de geração elétrica da incineração foi estimado em 3,2 Mm³ eq de óleo diesel (idem), cujo fator de conversão é de 260 L/MWh, o que corresponde a 12,3 TWh/a. Considerando o fator de emissão do plástico e da borracha presentes no lixo urbano, materiais com poder calorífico para incinerar, da ordem de 2,83 kg CO₂/kg (CentroClima, 2005), representa a emissão de cerca de 9 Mt CO₂. Desse valor pode ser descontado o fator de emissão da eletricidade disponível na rede de transmissão e distribuição, que foi de 0,45 t CO₂/MWh, em média, em 2020 (MCTI, 2020), o que corresponde a 5,5 Mt. Com isso, a emissão da eletricidade é de 3,5 MtCO₂.

⁹ O potencial de aquecimento global ou GWP (da sigla em inglês) tem como função equiparar o efeito dos gases para o fenômeno climático ao do CO₂.

A mitigação da substituição do óleo diesel corresponde ao volume desse combustível consumido, 6 Mm³, multiplicado por seu fator de emissão, de 2,93 kg CO₂/L (EPE, 2007), em todo o ciclo de vida, o que atinge 17,6 Mt CO₂.

O potencial de mitigação do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos em substituição ao óleo diesel e à parte da eletricidade utilizada na iluminação pública é, portanto, de 83 Mt CO₂ eq.

Como o aproveitamento veicular do biometano e da eletricidade mostra-se competitivo, é possível que esse montante de mitigação seja disponibilizado apenas para viabilizar a energia elétrica passível de geração através da incineração para utilização em iluminação pública, correspondente a 1,1 Mm³ de diesel equivalente. Dada a impossibilidade de assimilação pela economia em óleo diesel, a diluição desse montante pela mitigação de emissões acima estimava corresponde a valores de até US\$ 10,05/t CO₂, ao câmbio de R\$ 5,30/US\$, em função dos preços dos energéticos por estado.

As estimativas sobre custos de carbono utilizam três faixas: a primeira envolve medidas com custos negativos ou nulos, que requer ações para reduzir a assimetria de informações, alterar comportamentos ou remover barreiras institucionais; a segunda com custos positivos até um certo nível, passível de assimilação pela alteração de preços relativos; a terceira, com valores mais altos, que requer desenvolvimento tecnológico (FGV, 2018). Como as negociações europeias atingiram € 45,12/t CO₂ em abril de 2021 (Reuters, 2021), os maiores valores necessários para que os créditos de carbono do excedente do aproveitamento energético dos RSU pelos serviços públicos de transporte na iluminação pública, sem novos custos para a população, equivalem a menos de 1/4 do valor ora praticado pelo mercado europeu.

7.2 Precificação de externalidades pelos municípios

Os problemas relacionados com a destinação inadequada dos RSU são explicados, em parte, pela falta de uma cobrança do poluidor (famílias e empresas) pelas externalidades negativas geradas ao meio ambiente e à saúde da população.

A aplicação do consagrado princípio de “poluidor-pagador” é prevista no artigo 4º da Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 1981). Portanto, uma cobrança de indenização pelas externalidades negativas possibilitaria um recurso adicional que poderia ser destinado para remunerar

as empresas responsáveis pela coleta e aproveitamento energético de tais resíduos. A cobrança poderia ser realizada através de multa pela falta de separação do lixo, ou através da instituição ou aumento da taxa de coleta de lixo, para incluir também os custos com a correta destinação.

Essa receita adicional favoreceria o aproveitamento energético nos modelos de negócio apresentados, mesmo que possa incorrer em oposição popular por ser uma cobrança extra às famílias e empresas. Adicionalmente, exige a regulamentação pulverizada dos governos municipais.

Cabe ressaltar que o novo marco legal do saneamento (Lei 14.026/2020) permite a cobrança dos custos de coleta, tratamento e disposição final dos resíduos através de taxas incorporadas nas faturas de água.

Benefícios possíveis

O aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos evita, simultaneamente, doenças de sua destinação inadequada e da poluição do óleo diesel bem como dispêndios internacionais com importação.

Segundo a ABRELPE (2015), os danos ambientais e as doenças causadas pela parcela disposta em vazadouros clandestinos custam, respectivamente, entre R\$ 200 e 400 milhões por ano¹⁰ e de R\$ 380 milhões anuais referentes aos custos hospitalares e perdas de produtividade. Com isso, a faixa de perda anual é de R\$ 580 a 780 milhões.

O mesmo tipo de abordagem é utilizado pela Organização Mundial da Saúde acerca dos poluentes atmosféricos locais lançados pela combustão de óleo diesel em veículos pesados. Nesse caso, a sensibilidade aumenta de acordo com o adensamento populacional e as condições de relevo (que afetam a dissipação das emissões). No tocante ao material particulado, foi avaliado o custo de sua redução na Região Metropolitana de São Paulo¹¹, com base na substituição por biocombustíveis (EPE, 2021), cujos efeitos foram comparados aos custos aceitáveis definidos pela Organização

¹⁰ Excluindo os danos à atmosfera considerados como emissões de gases de efeito estufa, os quais correspondem a 30% dos custos apresentados para os danos ambientais.

¹¹ A delimitação geográfica decorreu da existência de inventário de emissões.

Mundial da Saúde¹², tendo sido aprovados em ambos os casos. A avaliação da EPE (2021), de substituição de 5% do óleo diesel por biodiesel, remete a um ganho de R\$ 15 bilhões. A ampliação dessa análise para o Brasil depende de inventários de emissões atmosféricas.

A pretensão ao elencar essas reduções de custos no setor de Saúde é de informar sobre os benefícios sistêmicos da adoção do aproveitamento energético de resíduos, em nenhum momento de pleitear a alocação desses recursos financeiros para o setor energético.

Estimativa da remuneração adicional para viabilizar a eletricidade a partir de RSU

Conforme apresentado na seção 2.2, há uma diferença de aproximadamente R\$ 240/MWh entre o preço da eletricidade atual médio pago pelas distribuidoras e o custo nivelado de uma planta de incineração a partir de RSU, complementar à planta de biometano. Considerando a composição média do lixo no Brasil (Figura 2) e o PCI da parcela combustível do lixo, são necessárias 5 toneladas de lixo bruto para produzir cada MWh de eletricidade. Logo, se o empreendedor gerador recebesse em torno de R\$ 46/t de RSU adicionais ao valor atual recebido pela coleta¹³, a diferença seria compensada.

Dado o valor médio brasileiro da despesa total com serviços de coleta e manejo de RSU por tonelada, em 2018, apresentado na Figura 15, com base em dados do SNIS; o empreendedor gerador poderia receber remunerações ainda maiores para o manejo destes resíduos, o que tornaria mais viável este aproveitamento energético estudado.

¹² A metodologia, descrita nas publicações citadas, prevê que cada ano de vida a mais vale até o triplo do PIB per capita. Logo, o benefício é a diferença entre esse valor e o custo da atividade mitigadora de emissões.

¹³ Para o cálculo do custo nivelado de R\$ 450/MWh, foi considerada uma taxa de R\$ 40/t. Portanto, seria necessária uma taxa total de R\$ 86/t.

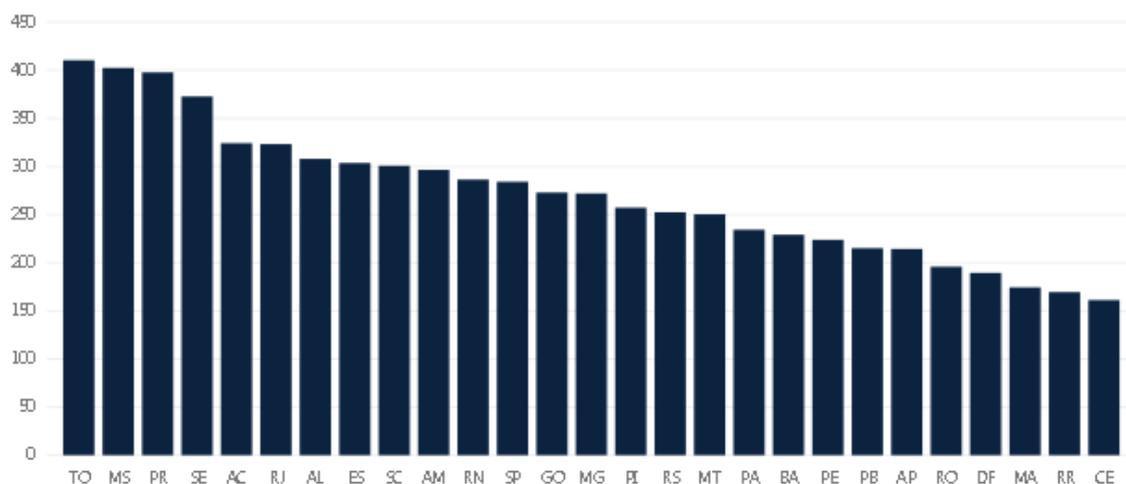


Figura 15 – Despesa total com serviços de coleta e manejo de RSU por tonelada.

Fonte: EPE, 2019.

Estimativa da remuneração adicional para viabilizar o aproveitamento energético de RSU pela frota pública e pela iluminação pública

No item 7.2 foi identificada a necessidade de aporte anual para garantir o total aproveitamento energético dos RSU para o abastecimento da demanda dos serviços públicos de transportes e da iluminação pública. Desprezando-se os créditos de carbono, o incremento necessário para garantir esse tratamento adequado seria inferior a R\$ 89/t de RSU, menos da metade do menor custo da solução acima analisada.

8 Substituição de Importações

No que concerne à substituição das importações, a Figura 16 mostra o histórico da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) quanto ao montante da importação e dos dispêndios, dados em metros cúbicos e em milhares de dólares (valores nominais), respectivamente.

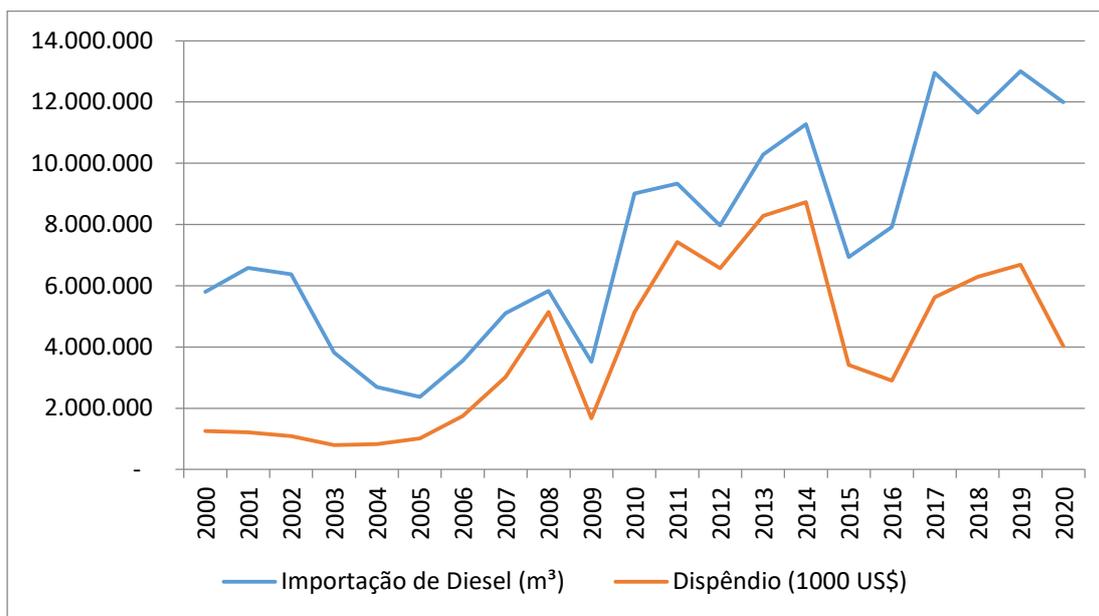


Figura 16 – Importação de óleo diesel, quantidade (m³) e dispêndio (1000 US\$)

Fonte: Elaboração própria a partir de ANP (2021b).

Pode-se notar que, na última década, a importação foi superior à demanda do serviço público de transportes mostrada na Figura 12. Logo, a substituição total de óleo diesel utilizado no transporte público por biometano e eletricidade do RSU reduz o dispêndio em, pelo menos, US\$ 2 bilhões anuais e dinamiza a economia nacional. Com isso, além dos energéticos provenientes dos RSU serem mais baratos que os fósseis utilizados, parte do recurso alocado representará a dinamização da economia pela substituição de importações, o que também reflete no aumento da segurança energética.

9 Desafios e oportunidades dos modelos de negócios analisados

A Tabela 1 apresenta os mecanismos que podem gerar receitas, divididos em dois grupos: os cujas aplicações são exclusivas para a parcela de RSU utilizado e as que podem ser adicionadas ao primeiro grupo.

Tabela 1 – Desafios e oportunidades dos modelos de negócios analisados

Tipo de Receita	Modelo de Negócio	Oportunidades	Desafios
Principal	Leilões	<ul style="list-style-type: none"> • Contratos firmes e de longo prazo com pool de distribuidoras • Modelo contratual praticado para diversas fontes e que já viabiliza financiabilidade • Decisões de Políticas Energéticas podem definir um nível de contratação 	<ul style="list-style-type: none"> • Preço da energia mais elevado comparado com as demais fontes • Baixo nível de competitividade, seja por número reduzido de oferta, seja por custo mais elevado • Demanda reduzida das distribuidoras e consequente menor espaço para aplicação de políticas • Oposição popular com possível aumento de tarifas
	Chamadas Públicas pelas Distribuidoras (VRES)	<ul style="list-style-type: none"> • Preço teto é suficiente para viabilizar projetos • Contratos firmes com distribuidoras 	<ul style="list-style-type: none"> • Depende do interesse das distribuidoras • Oposição popular com possível aumento de tarifas
	Enquadramento como Minigeração Distribuída	<ul style="list-style-type: none"> • Contratos podem ser negociados bilateralmente com agentes públicos e privados (um ou vários) • Tarifa final de baixa tensão é elevada, oferecendo competitividade para a energia dos resíduos 	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo em revisão. Novas regras podem diminuir a atratividade
	Cogeração	<ul style="list-style-type: none"> • Permite aumentar a competitividade do produto eletricidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Exige maior integração dos contratos
	Mix de eletricidade, combustível e cogeração	<ul style="list-style-type: none"> • Permite aumentar a competitividade do produto eletricidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminui a competitividade do produto combustível • Exige maior integração dos contratos
	Eletrificação da frota de serviços públicos	<ul style="list-style-type: none"> • Como no caso do biometano, a garantia da demanda e da receita está na mesma dimensão administrativa que concede a gestão dos resíduos 	<ul style="list-style-type: none"> • A velocidade para integração, por parte das prefeituras, dessas concessões (que abrangem setores e empreendedores diferentes)
Adicional	Com mercado de créditos de carbono	<ul style="list-style-type: none"> • Mercado internacional em franca retomada a partir do retorno dos EUA ao Acordo de Paris 	<ul style="list-style-type: none"> • Mercado programado para o Brasil
	Com precificação de externalidades	<ul style="list-style-type: none"> • Maneira direta de aumentar a receita com aproveitamento energético dos resíduos 	<ul style="list-style-type: none"> • Oposição popular com aumento de taxas • Regulamentação pulverizada por municípios

10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este documento buscou dar continuidade aos relatórios publicados pela EPE no final de 2019 e em 2020 com o intuito de reduzir a assimetria de informação no mercado sobre o aproveitamento energético de RSU. Mesmo ampliando a análise, não se pretendeu esgotar os modelos de negócios possíveis, uma vez que em mercados abertos e competitivos os próprios empreendedores encontram soluções inovadoras de negócios.

De modo geral, empreendimentos destinados exclusivamente ao aproveitamento elétrico têm baixa competitividade frente aos preços do mercado, livre ou regulado. Dessa forma, foi identificado que a viabilidade do negócio pode ser alcançada através de arranjos que combinem mais de um produto/receita proveniente do lixo, como, por exemplo, a remuneração da eletricidade em conjunto com biometano e/ou. No entanto, ressalta-se a dificuldade de integrar contratos entre diferentes agentes com interesses em produtos distintos, de modo a dar garantias mínimas ao empreendedor para a realização do investimento. Já o aproveitamento prioritário de biometano e eletricidade pela frota de serviços públicos, desde que convertida, mostra-se viável para 82% da oferta e aderente aos conceitos de economia circular, cidades inteligentes e sustentáveis.

Modelos de receita adicional também foram estudados, buscando incorporar o custo das externalidades ao preço dos energéticos. Nesse caso, a economia com gastos em saúde, por exemplo, poderia justificar a cobrança de uma taxa extra que seria destinada à remuneração dos empreendimentos. De toda forma, os instrumentos de receita adicional isolados requereriam valores elevados para tornar viável o aproveitamento exclusivo da eletricidade. Apenas a mitigação de emissões de gases responsáveis pelo aquecimento global mostrou-se na faixa de viabilidade dos preços praticados internacionalmente, ainda que a garantia de acesso a esse recurso para todos os empreendimentos requeira uma negociação específica. Portanto, reforça-se a proposta principal de que a competitividade dos 18% excedentes à demanda de transportes deve ser buscada através do desenvolvimento de negócios que conjuguem a produção de eletricidade com a de biocombustível e o aproveitamento do calor para fins industriais.

Por fim, cabe ressaltar que o novo marco legal do saneamento (Lei 14.026/2020) define o ano de 2024 como limite para que os municípios adotem medidas para a destinação final ambientalmente adequada dos rejeitos. Nesse contexto, os modelos de negócio aqui apresentados podem ser alternativas valiosas para o atingimento desse objetivo.

11 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2015). Saúde desperdiçada: O caso dos lixões. Disponível em <https://abrelpe.org.br/saude-desperdicada-o-caso-dos-lixoes/#:~:text=Considerando%20que%20a%20r%C3%A1pida%20urbaniza%C3%A7%C3%A3o,uma%20emerg%C3%Aancia%20de%20sa%C3%BAde%20mundial>. Acesso em 03/05/2021.

___ (2019). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018-2019. 68 p. Disponível em www.abrelpe.org.br. Acesso em 20/03/2020.

___ (2020). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2019-2020. 52 p. Disponível em www.abrelpe.org.br. Acesso em 03/05/2021.

ABREN. Associação Brasileira para a Recuperação Energética de Resíduos (2020). Qual a melhor solução para acabar com os lixões até 2024? Disponível em: [Qual a melhor solução para acabar com os lixões até 2024? \(CanalEnergia\) - ABREN](#). Acesso em 20/04/2021

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica (2012). Resolução 482. Compensação da Geração Distribuída. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em 04/12/2019.

___ (2018). Nota Técnica no 138/2018-SRG/ANEEL. Aprimoramentos da Resolução Normativa nº 167, de 10 de outubro de 2005, que estabelece as condições para a comercialização de energia proveniente de Geração Distribuída. 8p.

___ (2019). Revisões e Reajustes tarifários das concessionárias de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>. Acesso em 05/12/2019.

___ (2020). Relatório de consumo e receita. Disponível em <https://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>. Acesso em 10/05/2021.

___ (2021). Resultados de leilões. Disponível em <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYmMzN2Y0NGMtYjEyNy00OTNlLWI1YzctZjI0ZTUwMDg5ODE3IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>. Acesso em 03/05/2021.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (2021a). Sistema de levantamento de preços. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis>. Acesso em 10/05/2021.

____ (2021b). Dados estatísticos de importação e exportação. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>. Acesso em 03/06/2021.

Barker T., I. Bashmakov, L. Bernstein, J. E. Bogner, P. R. Bosch, R. Dave, O. R. Davidson, B. S. Fisher, S. Gupta, K. Halsnæs, G.J. Heij, S. Kahn Ribeiro, S. Kobayashi, M. D. Levine, D. L. Martino, O. Masera, B. Metz, L. A. Meyer, G.-J. Nabuurs, A. Najam, N. Nakicenovic, H. -H. Rogner, J. Roy, J. Sathaye, R. Schock, P. Shukla, R. E. H. Sims, P. Smith, D. A. Tirpak, D. Urge-Vorsatz, D. Zhou, 2007: Technical Summary. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg3-ts-1.pdf>. Acesso em 19/04/2021.

Brasil (1981). Lei 6938. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm. Acesso em 13/12/2019.

____ (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Art. 194-A. Contribuição de Iluminação Pública – CIP ou a Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública – Cosip. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em 30/04/2021.

____(2004). Decreto 5163. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Decreto/D5163compilado.htm. Acesso em 16/12/2019.

____(2010). Lei 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acessado em 22/04/2021.

____(2018). Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2018. Brasília: SNS/MDR, 2019. 247 p.

____(2019). Portaria Interministerial 274. Disciplina a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos referida no § 1º do art. 9º da Lei nº 12.305, de 2010 e no art. 37 do Decreto nº 7.404, de 2010. Disponível em: <http://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-interministerial-n%C2%BA-274-de-30-de-abril-de-2019-86235505>. Acesso em 13/12/2019.

BYD, Building Your Dreams (2020). Caminhões elétricos para coleta de lixo. Disponível em <https://www.byd.ind.br/produtos/caminhoes/>. Acesso em 22/04/2021.

CEMPRE. Guia da Coleta Seletiva de Lixo, 2014, 2ªEd.

CentroClima, 2005. Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas. Projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: Usinaverde. Disponível em https://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/ciencia/SEPED/clima/mecanismo_de_desenvolvimento_limpo/submetidos/aprovados termos_resolucao_1/publicacoes/27/Documento-de-Concepcao-do-Projeto.pdf. Acesso em 24/03/2020.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (2007). Potencial de Redução de Emissões de CO₂ em Projetos de Produção e Uso de Biocombustíveis. 66 p. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-304/EPE%20-%202%C2%BA%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL\[1\].pdf](http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-250/topico-304/EPE%20-%202%C2%BA%20Biocombust%C3%ADveis%20x%20MDL[1].pdf). Acesso em 24/03/2020.

____ (2018). Nota Técnica Mecanismos de Carbono. Documento de apoio ao PNE 2050. Série Estudos de Longo Prazo. 28 p. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-457/14.%20Mecanismos%20de%20Carbono.pdf>. Acesso em 04/05/2021.

____ (2019). Potencial Energético dos Resíduos Urbanos. Série SI Energia. EPE-DEA-IT-007/2019. Disponível em: <http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-372/topico-492/Informe%20T%C3%A9cnico%20EPE-DEA-007-19.pdf>. Acesso em 13/03/2020.

___ (2020a). Modelos de negócios para a geração de eletricidade a partir de Resíduos Sólidos Urbanos. EPE-DEA-IT-003/2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-372/topico-492/Informe%20sobre%20Modelos%20de%20Neg%C3%B3cios%20para%20Eletricidade%20de%20Res%C3%AAduos%20EPE-DEA-003-2020.pdf>. Acesso em 20/04/2021.

___ (2020b). Avaliação técnico-econômica de ônibus elétrico no Brasil. Disponível em <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-480/topico-527/NT%20SEE-SDB%20-%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20T%C3%A9cnico-Econ%C3%B4mica%20de%20%C3%94nibus%20El%C3%A9trico%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em 20/04/2021.

___ (2021). Impacto na saúde humana pelo uso de biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo. NT EPE/DPG/SDB/2021/01. Disponível em https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-570/NT-EPE-DPG-SDB-2020-01_NT_Impacto_saude_uso_bios.pdf. Acesso em 14/04/2021.

FGV. Fundação Getúlio Vargas. EAESP. Centro de Estudos sobre Sustentabilidade. Webinar GVCes. 2018.

___ CERI. Centro de Estudos em Regulação e Infraestrutura (2019). Reformulação do Marco Legal do Saneamento no Brasil. Disponível em <https://ceri.fgv.br/sites/default/files/publicacoes/2019-06/Reformulac%C3%A7%C3%A3o%20do%20Marco%20Legal%20do%20Saneamento%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em 13/12/2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2021). Disponível em <https://www.ibge.gov.br/explica/inflacao.php>. Acesso em 10/05/2021.

___ (2020). Disponível em https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/box_popclock.php. Acesso em 27/03/2020.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Kolstad C., K. Urama, J. Broome, A. Bruvoll, M. Cariño Olvera, D. Fullerton, C. Gollier, W. M. Hanemann, R. Hassan, F. Jotzo, M. R. Khan, L. Meyer, and L. Mundaca, 2014: Social, Economic and Ethical Concepts and Methods. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the

Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter3.pdf. Acesso em 23/03/2020.

IPEA. Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (2018). Diagnóstico do setor de telecomunicações no Brasil: desafios e propostas. Disponível em [http://www.agenciatelebrasil.org.br/doc/Desafios da Nacao Telecomunicacoes.pdf?UserActiveTemplate=site](http://www.agenciatelebrasil.org.br/doc/Desafios_da_Nacao_Telecomunicacoes.pdf?UserActiveTemplate=site). Acesso em 17/12/2019.

Kaza, Silpa, Lisa Yao, Perinaz Bhada-Tata, and Frank Van Woerden. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development Series. Washington, DC: World Bank. doi: 10.1596/978-1-4648-1329-0. License: Creative Commons Attribution CC BY 3.0 IGO. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em 26/03/2020.

MCTI. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (2020). Fatores de emissão da margem de operação pelo método da análise de despacho. Disponível em https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_d_espacho.html. Acesso em 27/04/2021.

MILANEZ, A.Y. et al (2015). A introdução de contratos de longo prazo poderia viabilizar a retomada de investimentos na produção de etanol hidratado carburante?. BNDES Setorial, 42. P. 55-100. Disponível em https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9617/2/BNDES%20Setorial%2042%20A%20introdu%C3%A7%C3%A3o%20de%20contratos%20de%20longo%20prazo%20poderia%20viabilizar%20a%20retomada%20%5B...%5D_P_BD.pdf. Acesso em 17/12/2019.

MME. Ministério de Minas e Energia (2018). Portaria 65. Valor de Referência Específico (VRES). Disponível em http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/mme-fixa-novos-valores-anuais-de-referencia-para-sistemas-de-geracao-distribuida. Acesso em 20/11/2019.

Reuters, 2021. EU carbon price hits record high above 45 euros a tonne. Disponível em <https://www.reuters.com/business/energy/eu-carbon-price-hits-record-high-above-45-euros-tonne-2021-04-20/>. Acesso em 03/05/2021.

SNIS (2018). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Disponível em <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>. Acesso em 16/12/2019.

WTERT (2013). Unofficial International Database of Waste-to-Energy Plants. Disponível em: <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/globalwte.html>. Acesso em 02/01/2013.