

## APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS EM ATERROS SANITÁRIOS BRASILEIROS

*José Kelison Lima Freitas<sup>1</sup>, Maria Josicleide Felipe Guedes<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Graduando do curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, e-mail: <jose.freitas46240@alunos.ufersa.edu.br>, <sup>2</sup>Professora Adjunta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró-RN, Centro de Engenharias, e-mail: <mjosicleide@ufersa.edu.br>.

### RESUMO

O biogás proveniente de aterros sanitários é gerado a partir da biodegradação anaeróbia da matéria orgânica contida nos resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo composto, majoritariamente, por metano e dióxido de carbono. Por um lado, o metano é um gás de efeito estufa (GEE), sendo em torno de 20 vezes mais potente, em termos de aquecimento global, quando comparado ao dióxido de carbono. Por outro lado, o elevado poder calorífico do metano permite sua utilização como combustível em processos de combustão, podendo citar os motores de combustão interna e a produção de eletricidade. Considerando esta última aplicação, existem experiências em aterros sanitários brasileiros que atuam sob a ótica do aproveitamento energético do biogás neles gerados. Nesta perspectiva, este artigo teve por objetivo fazer uma revisão bibliográfica do aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários, apresentando as perspectivas no setor alinhadas às mudanças climáticas e experiências brasileiras, a exemplos dos Aterros Sanitários de São João, Bandeirantes e Caieiras, todos localizados no estado de São Paulo, região Sudeste do Brasil. Contudo, pode-se observar que ainda há muito o que avançar em termos desta aplicação, levando esses projetos para as demais regiões brasileiras. Nesse contexto, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos traz metas explícitas para aterros sanitários energéticos no Brasil, com uma estimativa de que, até 2040, o percentual de aproveitamento energético de biogás em aterros sanitários atinja um índice superior a 60%.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos urbanos; metano; geração de energia.

### 1 INTRODUÇÃO

O biogás oriundo dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é um gás formado por meio da atuação de bactérias na decomposição anaeróbia da matéria orgânica (FEI et al., 2016; PALMISANO; BARLAZ, 1996). É importante destacar que, do ponto de vista de composição do biogás, de 45% a 60% é constituído por metano ( $\text{CH}_4$ ) e de 40% a 60% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (O'LEARY; TCHOBANOGLIOUS, 2002). O gás metano é o que confere o potencial energético ao biogás, visto que este apresenta um elevado poder calorífico, na ordem de 35.600 KJ/m<sup>3</sup> (GANDOLA et al., 1997). Nessa conjuntura, é válido destacar que a “gestão adequada de resíduos também pode contribuir para a agenda climática, apresentando um potencial considerável de redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE)” (ABRELPE, 2022, p. 37).

Nesse âmbito, de acordo com informações da ABRELPE (2022), 61% dos resíduos sólidos urbanos no Brasil (equivalente a aproximadamente 46.412.091 t/ano) são encaminhados para locais de disposição ambientalmente adequadas, entendida pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) como a disposição de RSU em aterros sanitários (BRASIL, 2010).

---

Por meio de estimativas realizadas ainda pela ABRELPE (2022), considerando: i) um cenário atual onde 42.141.039,68 t/ano de resíduos são provenientes de aterros sanitários sem aproveitamento energético e 4.271.051,32 t/ano de resíduos de aterros sanitários com aproveitamento; e ii) as metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), especificamente indicador da meta 8: “até 2040, mais de 60% do biogás gerado em processos de digestão anaeróbia e nos aterros sanitários será aproveitado energeticamente, com potencial para abastecer 9,5 milhões de domicílios com eletricidade” (BRASIL; MMA, 2022, p. 154); as emissões de GEE no setor de resíduos sólidos urbanos passariam de 86.503.183,25 para 56.350.054,06 toneladas de CO<sub>2</sub>eq, o que perfaz uma redução em torno de 35%.

No entanto, embora a utilização de aterros sanitários energéticos corrobore com a sustentabilidade ambiental e contribuam para avançar na agenda climática mundial, ainda há um grande desperdício do potencial energético proveniente dos RSU. Sob essa ótica, é imprescindível destacar que, a partir dos dados supracitados, menos de 10% dos resíduos dispostos em aterros sanitários no Brasil apresentam uma destinação para fins energéticos (ABRELPE, 2022); o que torna a fonte proveniente de resíduos sólidos urbanos na matriz energética bastante incipiente. Outrossim, é válido destacar que o Brasil é um país amplamente dependente de usinas hidrelétricas, haja vista que a principal fonte na matriz elétrica do país é a hidráulica (EPE, 2022); fazendo, também, com que haja uma dependência de chuvas para que, com isso, possa se ter uma elevada produção no setor.

Portanto, utilizar fontes alternativas de geração de energia elétrica, a exemplo do aproveitamento de biogás em aterros sanitários, vai ao encontro da necessidade de descentralização da produção de energia, de ampliação da utilização de fontes renováveis e da gestão de RSU gerando baixas emissões de GEE para a atmosfera. Nesse ínterim, o objetivo deste artigo foi trazer uma revisão bibliográfica do aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários, apresentando as perspectivas no setor alinhadas às mudanças climáticas e experiências brasileiras.

## **2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS, ACORDOS INTERNACIONAIS E RESÍDUOS SÓLIDOS**

A priori, as mudanças climáticas vêm impactando negativamente a Terra, trazendo consigo efeitos deletérios ao homem, como “o aumento da temperatura média do planeta, o aumento da frequência e da duração de ondas de calor, a variação dos índices de precipitação, a escassez de água, a acidificação, o aumento da temperatura dos oceanos e o aumento do nível do mar” (BRASIL; MDR, 2021, p. 20). Vale destacar que conter as mudanças climáticas exige esforços em duas frentes, que são: i) a mitigação, que se trata da “intervenção humana para reduzir as emissões por fontes de GEE e fortalecer as remoções por sumidouros de carbono” e ii) a adaptação, “relacionada a aumentar a preparação e a capacidade de resposta aos impactos das alterações climáticas aos níveis local, regional, nacional” (BRASIL; MDR, 2021, p. 30-31). Sendo assim, se tratando do setor de RSU, o aproveitamento do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica vai de encontro à frente de mitigação.

A posteriori, é importante destacar, também, que o setor de resíduos é um dos responsáveis pela geração de impactos ambientais, como a intensificação dos gases do efeito estufa, perfazendo 4% das emissões em âmbito nacional. Diante dessa circunstância, denota-se a necessidade de se dá uma destinação correta aos resíduos e uma disposição final ambientalmente adequada, como a de aterros de aproveitamento energético (ABRELPE, 2022).

Além disso, é válido ressaltar, como resultado da preocupação em virtude das mudanças climáticas, a criação de acordos de âmbito global, a exemplo do Protocolo de Kyoto, tratado internacional, assinado na cidade de Kyoto – Japão, em 1997, por 84 países. Nesse acordo, ficou

---

decidido a necessidade de controle dos gases de efeito estufa intrinsecamente pelos países desenvolvidos, ou seja, os que compunham o denominado Anexo I do Protocolo (SENADO FEDERAL, 2023). Dentre os GEE, as emissões de gás metano (CH<sub>4</sub>) na atmosfera acarretam em danos extremamente nocivos ao meio ambiente, tendo em vista que esse possui um potencial de aquecimento global em torno de 20 vezes mais que o dióxido de carbônico (CO<sub>2</sub>) (SOLOMON et al., 2007).

Nesse viés, paralelo à necessidade de inclusão dos países emergentes no acordo, a exemplo do Brasil, o Protocolo de Kyoto passa a ser substituído pelo Acordo de Paris (SOUZA; CORAZZA, 2017). Esse acordo foi efetivado em 2015 na Conferência de Clima da ONU 21 (COP 21) em Paris - França, em que foi proposto adotar mecanismos de cooperação entre as nações a fim de conter as elevadas emissões de GEE para que com isso possa-se abrandar a ascensão da temperatura global de 2 °C para 1,5 °C em relação aos níveis de emissões pré-industriais até o ano de 2100 (UN, 2015).

Em contrapartida ao que foi acordado, o Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2021) afirmou que, em 2019, as concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> foram bastante superiores que qualquer outro período nos últimos 2 milhões de anos, além de afirmar que as emissões de CH<sub>4</sub> também foram maiores nos últimos 800.000 anos. Nesse âmbito, é notório que as emissões de GEE estão cada vez mais elevadas, o que torna a necessidade de medidas de extrema urgência serem tomadas para conter tal avanço.

A cidade de Recife, capital de Pernambuco, foi uma das primeiras cidades a decretar estado de emergência climática tendo em vista que essa ocupa a 16ª posição no que tange ao ranking de municípios vulneráveis às mudanças climáticas estabelecido pelo IPCC (BRASIL; MDR, 2021).

Paralelo ao aumento da temperatura em decorrências dos GEE, há também uma preocupação no que tange a geração de energias renováveis, visto que as formas mais comuns de abastecimento energético trazem danos muitas vezes irreversíveis ao meio ambiente. Ainda, cabe destacar, a necessidade de se ter uma destinação correta dos resíduos sólidos urbanos, uma vez que as tecnologias disponíveis para tal fim, “além de viabilizar o abatimento das emissões de GEE na atmosfera (p.ex.: na recuperação de gases nos aterros sanitários), podem evitar a geração de emissões diretas (p.ex.: compostagem de resíduos orgânicos)” (ABRELPE, 2022, p. 37). Nesse ínterim, há como alternativa a geração de energia por meio do biogás oriundo de aterros sanitários, visto que esse gás pode ter diversas aplicações no ramo, desde a geração de eletricidade, assim como na matriz energética veicular (LI et al., 2015).

Outro ponto importante é que, no período de 2013 a 2014, devido as diversas alterações climáticas que resultaram em uma elevada crise hídrica ocorreu, também, uma alta no consumo de energia, que ascendeu quase 3% em 2014 (EPE, 2015). Em consequência, houve um aumento do consumo frente a redução da disponibilidade energética, já que a maior fonte da matriz elétrica do país é composta por hidrelétricas. Com isso, diversificar a matriz energética utilizando, também, o biogás de aterro sanitário é uma alternativa iminente, uma vez que “a tendência é de que a geração de resíduos aumente e as emissões de GEE também aumentem. Sem uma ação urgente, até 2050 a geração de resíduos aumentará 70% em relação aos níveis atuais, de acordo com o relatório do Banco Mundial *“What a Waste 2.0: a global snapshot of solid waste management 2050”*” (BRASIL; MDR, 2021, p. 29).

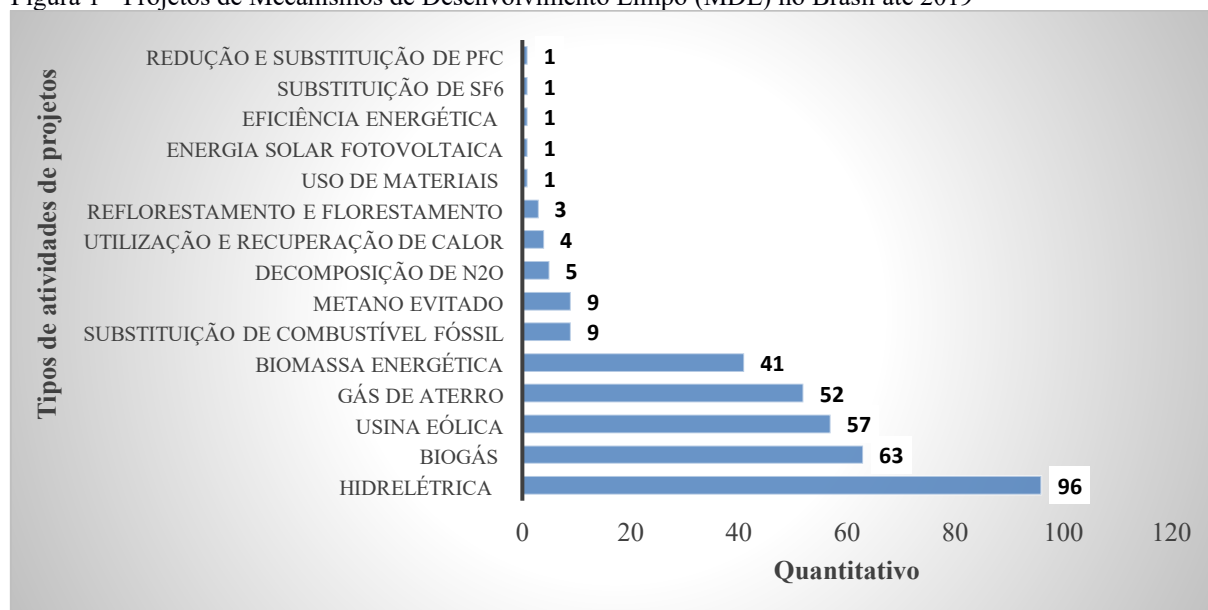
## **2.1 Projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e perspectivas futuras para o mercado de carbono**

É importante destacar, em primeira análise, que a partir do Protocolo de Kyoto foram estabelecidos três mecanismos econômicos de flexibilização, que previam possibilidades dos países conseguirem reduzir suas emissões em âmbito global. Dois desses mecanismos diziam

respeito aos países considerados do Anexo I, ou seja, os desenvolvidos, que eram considerados os principais emissores de GEE, sendo assim atribuídos a esses a Implementação Conjunta e o Comércio de Emissões. Já a terceira proposta, denominada de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), possibilitou que os países do Anexo I conseguissem atingir suas metas de redução de GEE por meio de negociações com as nações que não compunham o referido anexo, como o Brasil. Dessa forma, os países desenvolvidos, constantes no Anexo I, conseguiam obter os denominados créditos de carbono, adquiridos por meio de projetos de MDL de países em desenvolvimento (ICLEI-Brasil, 2009).

Vale ressaltar, em segunda análise, que no cenário internacional, em 2019, o Brasil ocupava uma elevada posição no número de projetos de MDL registrados, totalizando um quantitativo de 344, sendo divididos em diversos setores (Figura 1), que possuíam capacidade de redução de mais de 380 milhões tCO<sub>2</sub>eq, o que corresponde a quase 5% do quantitativo mundial de redução atrelado ao MDL (BRASIL; MRE; MCTI, 2020).

Figura 1 - Projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil até 2019



Fonte: BRASIL; MRE; MCTI (2020).

É importante destacar que, no cenário de atuação do Protocolo de Kyoto, ou seja, antes do Acordo de Paris, “o Brasil não apresentava obrigação quantificada de redução de emissões estabelecida em foro internacional, porém, podia ser beneficiado pelos investimentos em desenvolvimento sustentável aportados pelo MDL” (IPEA, 2023).

Outrossim, é válido citar que os projetos de MDL registrados no Brasil até 2019 apresentavam uma estimativa de redução de emissão de GEE de 380.094.646 tCO<sub>2</sub>eq. Tendo como destaque que os projetos de MDL de hidrelétricas ocupam o 1º lugar no ranking de quantidade, totalizando 96, o que correspondia a 27,9% dos projetos. Já os projetos de MDL de gás de aterro ocupavam a 4ª posição no ranking, com 15,1%. Contudo, em termos de redução estimada de emissões de GEE, os projetos de gases de aterro ocupam a 2ª posição, com 91.367.345 tCO<sub>2</sub>eq, o que corresponde a 24% do total (BRASIL; MRE; MCTI, 2020); e indicam um cenário favorável ao setor.

Além disso, é importante pontuar que a criação de novos projetos de MDL estão suspensos no Brasil desde 2021, por meio de nota emitida pelo sítio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (BRASIL; MCTI, 2021).

---

Porém, ressalta-se que o enfraquecimento de projetos que visavam a redução de GEE, como o MDL, já se dava desde o Protocolo de Kyoto, quando em 2012 o pacto foi encerrado sem uma perspectiva futura de qual mecanismo sucederia (GODOY; SAES, 2015). Com a assinatura do Acordo de Paris, em 2015, reativou a possibilidade dos países conseguirem negociar as taxas de emissões, pautadas por meio da *Internationally Transferred Mitigation Outcomes (ITMOs)*, que previa que as nações poderiam negociar a compra e venda de créditos de carbono, assim como estabelecer projetos em seus territórios que visassem a mitigação de GEE (MIGUEZ; ANDRADE, 2019).

Assim, “a agenda do MDL traz lições aprendidas e reúne memória institucional para a discussão sobre a implementação do mercado de carbono, pauta nos termos do art. 6.4 do Acordo de Paris e do Decreto nº 11.075/2022” (IPEA, 2023).

Ainda no que tange a âmbito internacional, as relações permanecem complexas mesmo após a efetivação do Acordo de Paris, pois em junho de 2017, os Estados Unidos, considerado a maior potência mundial e segundo maior emissor de GEE, abandonou o referido. Com a saída desse país, isso dificultaria o cumprimento do Acordo que era o de reter a ascensão da temperatura em até 2° C, assim como em as grandes nações ajudar as demais a se adaptar as alterações climáticas e em financiar alternativas de adoção de energias renováveis, como o MDL (MCGRATH, 2017). No entanto, em 2021, os Estados Unidos decidiram retornar ao Acordo de Paris, com metas de zerar as emissões em seu território (CNN BRASIL, 2021).

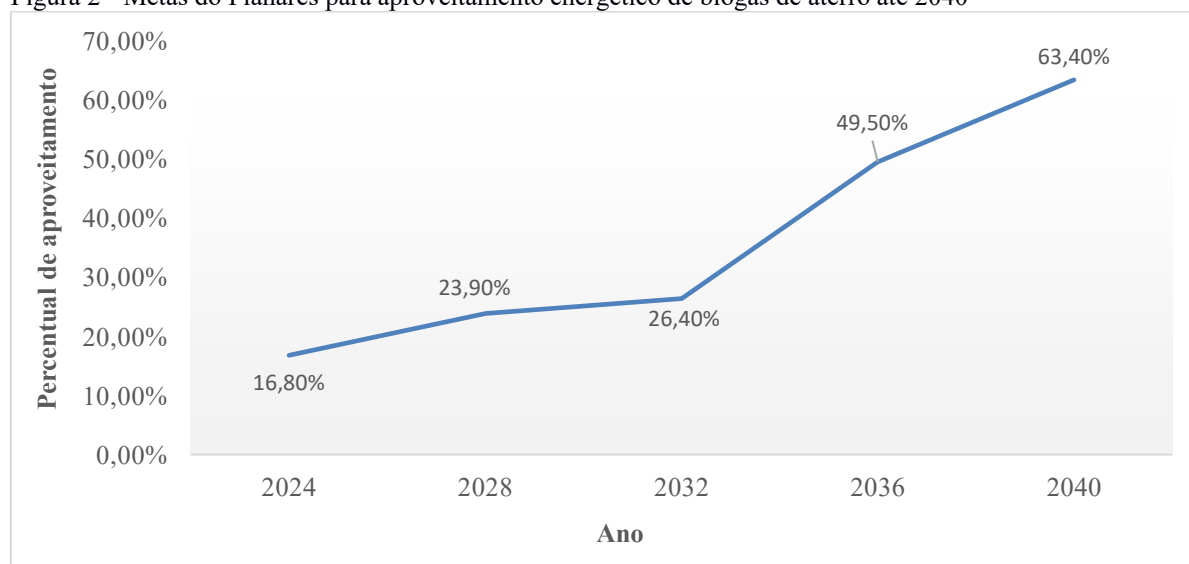
### **3 METAS NACIONAIS OBJETIVANDO A ASCENDÊNCIA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS DE ATERRO SANITÁRIO E REDUÇÃO DE GEE**

Em primeiro plano, é válido destacar que há projetos de MDL em execução que visam reduzir as emissões de GEE por meio da intensificação do aproveitamento energético do biogás, conforme pontuado no item 2.1 e experiências relatadas no item 4 deste artigo. Contudo, de acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), existe uma meta específica para esta pauta, traduzida na Meta 8:

Aumentar a recuperação e aproveitamento energético de biogás de RSU. É esperado que os projetos estruturados para redução de emissões de gases de efeito estufa, em termos de CO<sub>2</sub> equivalente, incluindo o metano, que resultem em créditos de carbono transacionáveis no mercado nacional e internacional contribuam para a viabilização econômica dos investimentos necessários e para o atendimento da Meta 8 (BRASIL; MMA, 2022, p. 154).

De acordo com essa meta, é esperado que, até 2040, o percentual de aproveitamento energético de biogás em aterros sanitários atinja um índice superior a 60%, conforme dados constantes na Figura 2, o que equivaleria a uma potência instalada de 270 MW, “considerando que 50% do biogás gerado será aproveitado energeticamente até 2040, com o uso de tecnologias avançadas que permitam a captação de até 75% do gás” (BRASIL; MMA, 2022, p. 154). Ainda segundo o Planares, há também a previsão de que, até o final do período estipulado, o aproveitamento de biogás de aterro sanitário tenha a capacidade de abastecer mais de 9 milhões de residências com eletricidade, o que segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) corresponde a quase 3 vezes mais a quantidade de residências que possuía a cidade de São Paulo no período do censo demográfico de 2010.

Figura 2 - Metas do Planares para aproveitamento energético de biogás de aterro até 2040



Fonte: BRASIL; MMA (2022)

Com base nas metas estabelecidas pelo Planares (BRASIL; MMA, 2022), a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2022) realizou estimativa do potencial de redução de emissões de GEE no setor de resíduos sólidos urbanos no Brasil. Ressalta-se que ainda existe uma elevada disposição final ambientalmente inadequada de RSU em lixões e aterros controlados, o que totaliza 29.706.226 t/ano (aproximadamente 39% do total gerado). Assim, para atender às metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, as emissões de GEE teriam que passar de 3.424.236,07 tCO<sub>2</sub>eq (aterro com aproveitamento energético) e 45.017.261,03 tCO<sub>2</sub>eq (aterro sem aproveitamento energético) no cenário 2022 para 27.958.882,91 e 23.844.107,56 tCO<sub>2</sub>eq, respectivamente, no cenário 2040, conforme informações sintetizadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Tipo de destinação de RSU e emissões de GEE no cenário atual (2022) e cenário metas Planares (2040)

| Destinação                                            | Massa (t/ano)<br>(2022) | Massa (t/ano)<br>(2040) | Emissões<br>(toneladas de<br>CO <sub>2</sub> eq)<br>(2022) | Emissões<br>(toneladas de<br>CO <sub>2</sub> eq)<br>(2040) |
|-------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| <b>Aterro sanitário sem aproveitamento energético</b> | 42.141.039,68           | 22.327.153              | 45.017.261,03                                              | 23.844.107,56                                              |
| <b>Aterro sanitário com aproveitamento energético</b> | 4.271.051,32            | 34.883.254              | 3.424.236,07                                               | 27.958.882,91                                              |
| <b>Aterro controlado</b>                              | 17.322.000,00           | -                       | 24.614.451,86                                              | -                                                          |
| <b>Lixão</b>                                          | 12.384.226,00           | -                       | 13.447.234,29                                              | -                                                          |

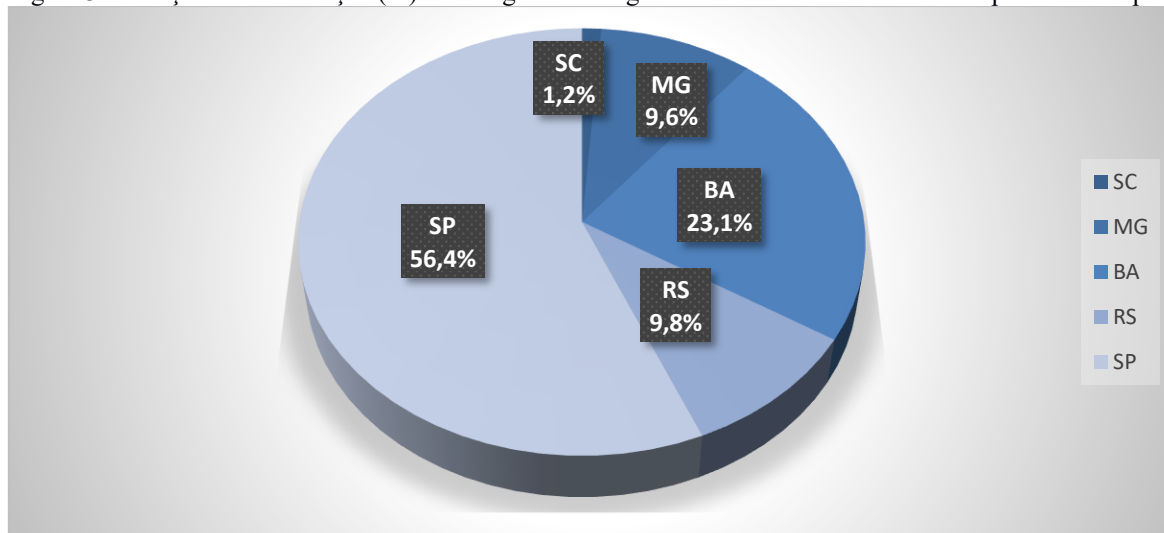
Fonte: ABRELPE (2022).

Analisando os dados apresentados na Tabela 1, para que as metas do Planares sejam alcançadas, faz-se necessário uma redução de mais de 50% do tal de resíduos sólidos que chegam a aterros sanitários sem aproveitamento energético, uma elevação de mais de 85% dos resíduos com disposição em aterros com aproveitamento energético e zerar a disposição final em locais inadequados, como lixões e aterros controlados.

#### 4 ATERROS SANITÁRIOS COM APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS NO BRASIL

Nascimento et al. (2019) realizaram um levantamento a respeito do estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano. A pesquisa realizada pelos autores, identificaram que, no Brasil, “entre os anos de 2004 e 2015, foram implantadas nove usinas termelétricas que aproveitam o biogás dos aterros de resíduos que geram 86,3 MW de energia elétrica (potência total instalada)” (NASCIMENTO et al., 2019, p. 146). Na Figura 3 é possível verificar a distribuição das usinas termelétricas em para geração de energia elétrica, por estado, sendo distribuídas, majoritariamente nas regiões Sudeste e Sul do país.

Figura 3 - Relação da distribuição (%) da energia elétrica gerada nas usinas termelétricas implantadas no país



Fonte: Adaptado de Nascimento et al. (2019)

Dentre as usinas termelétricas listadas por Nascimento et al. (2019) merecem destaque: i) Aterro Sanitário Bandeirantes, com início de operação em 2004, potência instalada de 22,2 MW e custo de R\$ 48 milhões; ii) Aterro São João, operação em 2007, potência instalada de 22,4 MW e custo de R\$ 64 milhões; e iii) Termoverde Salvador, operação em 2011, potência instalada de 19,7 MW e custo de R\$ 50 milhões. Vale destacar que a Termoverde Salvador foi a primeira termelétrica movida a biogás de RSU na região Nordeste do Brasil e gera energia limpa a partir dos resíduos depositados no Aterro Sanitário da Battre – Bahia Transferência e Tratamento de Resíduos Ltda (PORTAL TERMOVERDE, 2023). Essas 3 termelétricas, no conjunto, totalizam 64,3 MW de potência, o que corresponde a cerca de 75% da potência instalada até 2015.

Contudo, por meio do detalhamento da matriz de energia elétrica no Brasil, realizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2017 apud GUEDES, 2018), o país apresentava uma capacidade instalada de 163.895.861 KW (aproximadamente 164 GW), sendo que 122.250 KW (aproximadamente 122 MW) eram provenientes de biogás de resíduos sólidos urbanos, o que perfaz um percentual de 0,0745%, com 17 usinas instaladas.

A partir dos dados supracitados, observa-se um aumento da capacidade instalada, principalmente com a implantação da usina Termoverde Caieiras, em 2016, movida a biogás de RSU no aterro sanitário da Essencis, em Caieiras-SP, com uma potência instalada de 29,5 WM (PORTAL TERMOVERDE, 2023).

---

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na conjuntura apresentada, constatou-se que o Brasil tem um grande desafio quanto ao avanço na disposição final de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários com aproveitamento energético. Sob essa ótica, cerca de 40% dos resíduos sólidos sequer tem disposição final ambientalmente adequada, ainda sendo encaminhados a lixões a céu aberto e aterros controlados. Dos 61% dos RSU que chegam a aterros sanitários, ainda um percentual ínfimo tem aproveitamento energético, sendo essas usinas majoritariamente localizadas na região Sudeste e Sul do país.

Ressalta-se também que no Brasil há uma significativa parcela de municípios de pequeno porte, com população inferior a 50.000 mil habitantes, e que, soluções individuais de disposição final de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários têm se mostrado complexas, levando em consideração os desafios e custos associados para a implantação, operação e monitoramento desses aterros. Por isso, destaca-se que para viabilizar a implantação de aterros sanitários energéticos, faz-se necessário pautar as soluções de forma regionalizada, por meio de consórcios entre municípios, por exemplo, podendo, assim, viabilizar economicamente a destinação e disposição final ambientalmente adequada dos RSU, proporcionar ganhos de escala e, num contexto mais amplo, uma gestão de resíduos sólidos urbanos com vistas à minimização dos gases de efeito estufa. Desta forma, contribuindo, também, para a agenda climática brasileira.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acesso em: 03 abr. 2023.

BRASIL. **Lei nº. 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2010]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 08 dez. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI).

**Autoridade Nacional Designada para o MDL**. 2021. Disponível em:

[https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/copy\\_of\\_autoridade-nacional-designada-para-o-mdl](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/copy_of_autoridade-nacional-designada-para-o-mdl). Acesso em: 04 mai. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS RELAÇÕES EXTERIORES (MRE). MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES (MCTI). **Quarto Relatório de**

**Atualização Bienal do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. 2020. Disponível em:

[https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao\\_Nacional/bur.html](https://antigo.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/Comunicacao_Nacional/bur.html). Acesso em: 02 dez. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR). **Roteiro para Redução de Emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU**. 2021.

Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/proteger/roteiro-para->

---

reducao-das-200bemissoes-de-gases-de-efeito-200bestufa-gee-no-manejo-de-rsu. Acesso em: 23 jan. 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. 2022. Disponível em: <https://sinir.gov.br/informacoes/plano-nacional-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

CNN, BRASIL. Estados Unidos retornam ao Acordo de Paris nesta sexta – feira (19). **CNN Brasil**. 19 de fevereiro de 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/estados-unidos-retornam-ao-acordo-de-paris-nesta-sexta-feira-19/>. Acesso em: 02 mai. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz Energética Nacional 2015**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2015>. Acesso em: 01 fev. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Matriz Energética Nacional 2022**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 23 mar. 2023.

FEI, X.; ZEKOS, D.; RASKIN, L. Quantification of parameters influencing methane generation due to biodegradation of municipal solid waste in landfills and laboratory experiments. **Waste Management**, v.55, p. 276-287, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.10.015>

GANDOLLA, M.; ACAIA, C.; FISCHER, C. **Formazione, captazione e sfruttamento di biogas in discariche**. In: Seminario di Aggiornamento, Collana Ambiente, v.18, C.I.P.A., Milão, Itália, 1997.

GODOY, S. G. M.; SAES, M. S. M. Cap-and-trade e projetos de redução de emissões: comparativo entre mercados de carbono, evolução e desenvolvimento. **Ambiente & Sociedade**, v. XVIII, n. 1, p. 141-160, 2015.

GUEDES, M. J. F. G. **Estudo das emissões de biogás em aterro de resíduos sólidos urbanos no semiárido brasileiro**. 2018. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

ICLEI-BRASIL. **Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários**. São Paulo: Secretariado para América Latina e Caribe (LACS), 2009. Disponível em: <https://e-lib.iclei.org/manual-para-aproveitamento-de-biogas-volume-i-aterros-sanitarios/>. Acesso em: 01 mai. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2010**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 02 abr. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Texto para discussão: Gastos federais, alavancagem de capital privado e receitas advindas da venda de reduções certificadas de emissões (RCEs) no contexto do Mecanismo de**

---

**Desenvolvimento Limpo no Brasil (2000 a 2020)**, 2023. Disponível em: [https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11975/1/TD\\_2877\\_web.pdf](https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11975/1/TD_2877_web.pdf). Acesso em: 04 mai. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE (IPCC). **The Physical Science Basys: Report produced for invatation of the United Nations Framework Convention on Climate Change**, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>. Acesso em: 13 mai. 2023.

LI, S.; YOO, H. K.; MACAULEY, M.; PALMER, K.; SHIH, J. S. Assessing the role of renewable energy policies in landfill gas to energy projects. **Energy Economics**, v. 49, p. 687-697, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2015.03.022>  
MCGRATH, M. Cinco Efeitos Globais da Saída dos EUA do Acordo de Paris. **BBC News Brasil**. 01 de junho de 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-40114352>. Acesso em: 02 fev. 2023.

MIGUEZ, J. D. G.; ANDRADE, T. C. M. A. **A continuidade do MDL ante o acordo de Paris e sua articulação com o MDS**. In: FRANGETTO, F. W.; VEIGA, A. P. B.; LUEDEMANN, G. Legado do MDL: impactos e lições aprendidas a partir da implementação do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo no Brasil. Brasília: IPEA, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9495/1/A%20Continuidade.pdf>. Acesso em 05 abr. 2023.

NASCIMENTO, M. C. B; FREIRE, E. P.; DANTAS; F. A.S; GIANANTE, M. B. Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil, **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 1, p. 143-155, 2019. DOI: 10.1590/S1413-41522019171125

O'LEARY, P. R; TCHOBANOGLIOUS, G. **Landfilling: Chapter 14**. In: THOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. Handbook of Solid Waste Management. 2 ed. McGraw-Hill, 2002.

PALMISANO, A. C.; BARLAZ, M. A. **Microbiology of solid waste**. CRC Press, Inc., Boca Raton, Flórida, USA, 1996.

PORTAL TERMOVERDE. **Unidades**. Disponível em: <https://www.termoverde.com.br/>>. Acesso em: 06 mai. 2023.

SENADO FEDERAL. **Protocolo de Kyoto**. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/entenda-o-assunto/protocolo-de-kyoto>. Acesso em: 30 mai. 2023.

SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007**. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, NY, U.S, 2007.

SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões

---

de gases de efeito estufa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, p. 52-58, 2017. DOI: 10.5380/dma.v42i0.51298

UN - United Nations. Paris Agreement. Paris: UN. 2015. Disponível em: [https://unfccc.int/sites/default/files/english\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf). Acesso em: 10 mai. 2021.