

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MATHEUS MAGNAGO FERREIRA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E DA
PARTICIPAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS

CURITIBA

2020

MATHEUS MAGNAGO FERREIRA

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BRASILEIRO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E DA
PARTICIPAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de MBA em Gestão Estratégica em Energias Renováveis e Biocombustíveis, setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. M. Sc. Nicolas Lazzaretti Berhorst

CURITIBA

2020

Avaliação do potencial brasileiro de produção de biogás e da participação dos aterros sanitários.

Matheus Magnago Ferreira

RESUMO

Gerir os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos pelos grandes centros populacionais sempre foi um problema, sobretudo nas últimas décadas, com o crescimento exorbitante das populações, a alta densidade demográfica em pequenas áreas e a descontrolada geração de grandes volumes de resíduos. Em 2010, foi posta em vigor a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), impondo diretrizes e caminhos para a gestão responsável dos mesmos. O campo das energias renováveis nos fornece opções que podem contribuir de forma eficaz com a melhoria na gestão e no gerenciamento de resíduos, e uma delas é a geração de biogás por meio da decomposição de RSU. Este trabalho realizou um estudo das condições atuais de produção de biogás no território nacional, bem como da participação dos aterros sanitários nesse tipo de projeto.

Palavras-chave: biogás; aterros sanitários; resíduos sólidos urbanos;

ABSTRACT

Managing the Urban Solid Waste (USW) generated by large population centers has always been a problem, especially in recent decades, with exorbitant population growth, high demographic density in small areas and uncontrolled generation of large volumes of waste. In 2010, which instituted the National Solid Waste Policy - NSWP (Law nº 12.305), put in place guidelines and paths for their responsible management. The field of renewable energy provides us with options that can effectively contribute to improved waste management and management. This paper made a survey about the current conditions of biogas production in the national territory, as well as the participation of landfills in this type of project.

Keywords: biogas; landfills; solid urban waste;

1 INTRODUÇÃO

Com aumento do poder aquisitivo da população e o rápido desenvolvimento econômico, países subdesenvolvidos, principalmente, começam a enfrentar problemas graves quando do gerenciamento dos seus resíduos. No caso do Brasil, o crescimento do poder aquisitivo não é acompanhado de imediato por melhorias nos processos de gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). A ausência de

investimentos em infraestrutura adequada e o avanço tímido em tecnologias para valorização dos resíduos contribuem para que os lixões permaneçam sendo utilizados na disposição final dos RSU (CARVALHO, *et al.*, 2019).

Estes se constituem na forma mais inadequada de disposição de resíduos sólidos urbanos, por não contemplarem cuidados que evitam danos ambientais e à saúde. Esse tipo de disposição de resíduos causa poluição ao solo, ao ar e à água; atraem vetores de doenças; não restringem os resíduos de serem levados pela ação do vento e por animais; não controla o risco de deslizamentos, fogo e explosões; dentre outros problemas (ARCADIS, 2010).

O desafio atual do poder público para o setor é a realização de ações e esforços que coordenem a minimização da geração de resíduos, a sua valorização e o reconhecimento do potencial de empregabilidade e de movimentação de renda que o setor tem a oferecer.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em vigor desde 2010 por meio da Lei 12.305, incentiva a não geração, a redução, reutilização e reciclagem dos RSU. Além disso, prevê a disposição em aterro sanitário apenas do que for rejeito, ou seja, material que não possui mais possibilidades de reutilização. (BANCO MUNDIAL, 2012 *apud* CARVALHO, 2019).

Num projeto de um aterro sanitário, por exemplo, diversos fatores influenciam a biodegradação dos resíduos e, por consequência, também afetam a taxa de geração final de biogás. Aterros podem receber resíduos de diversas origens como, por exemplo, resíduos de limpeza urbana, de abatedouros de aves ou suínos, da indústria sucroalcooleira, de efluentes de esgotos, etc. (PARANÁ, 2016). Cada um desses resíduos possui suas particularidades, que, por sua vez, irão gerar outras singularidades de projeto no que tange a seus processos de digestão.

Banco Mundial (2012) destaca que as principais tecnologias atualmente utilizadas para aproveitamento energético dos RSU, consistem em utilização de biogás e incineração. No caso do biogás há duas alternativas de obtenção, a primeira delas é segregar a fração orgânica dos resíduos e digeri-la em reatores na ausência de oxigênio; a segunda consiste em capturar o biogás gerado em aterros sanitários.

O metano, principal componente do biogás, quando recuperado pode ser usado para uma diversidade de fins energéticos. (BANCO MUNDIAL, 2012 *apud* CARVALHO, 2019).

O aproveitamento energético do biogás promove a utilização e/ou reaproveitamento de recursos renováveis; colabora com a não dependência de fonte de energia fóssil; aumenta a oferta e possibilita a geração descentralizada de energia próxima aos centros de carga e promove economia no processo de tratamento de efluentes, melhorando, adicionalmente a viabilidade da implantação de serviços de saneamento básico.

No Brasil, o uso do biogás como fonte de combustível data desde a década de 1970, resultados das crises do setor petrolífero de 1973 e 1979. No início dos anos 2000 o interesse por este tipo de fonte voltou a crescer em decorrência das demandas do mercado de desenvolvimento limpo (MDL) e políticas de crédito de carbono, resultantes do Protocolo de Quioto e outras iniciativas internacionais de redução da geração dos Gases de Efeito Estufa (GEE) (CARVALHO, 2019).

Cabe mencionar que o biogás gerado por meio dos RSU não constitui uma solução para todos os problemas energéticos do país, mas é um recurso essencial para otimizar a gestão local dos resíduos gerados e diversificar as fontes de combustíveis utilizadas em escala municipal (CARVALHO, 2019).

Com a entrada de novos pequenos geradores de energia elétrica no mercado brasileiro, por meio da geração distribuída (GD), o poder público se sentirá forçado a atualizar seus modelos de gestão da rede para considerar explicitamente esse aumento de complexidade.

No Brasil, a geração distribuída de energia elétrica está fortemente concentrada em empreendimentos de cogeração de médio porte em alguns segmentos industriais e de serviços, e o desenvolvimento de um sistema de inovação tecnológica ainda está em seus primeiros passos. Em parte, a lentidão do processo se explica pela forte centralização do sistema elétrico brasileiro e do interesse das autoridades por grandes centrais geradoras (CARVALHO, 2019).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar as condições de produção de biogás no Brasil, com base em dados atualizados, estimando seu potencial de produção, bem como avaliando a participação dos aterros sanitários em relação à produção total de biogás estimada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

No ano de 2010, passou a vigorar no Brasil a Lei 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A referida Lei estipulou, em um de seus itens, que a partir de 2014, apenas os rejeitos sem viabilidade de recuperação, ou seja, resíduos que não dispunham mais de viabilidade técnica e econômica para utilização e tratamento, devem ser depositados em aterros sanitários (FIEP, 2016).

A PNRS, em seu Art. 3º, parágrafo XVI, define resíduos sólidos como:

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

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 10004, por sua vez, define resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólidos e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso solução técnica e economicamente inviável em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004)

O Art. 4º da PNRS menciona que nela está reunido um conjunto de princípios, objetivos, diretrizes, instrumentos, ações e metas a serem adotadas pelo Governo Federal, com o intuito de aprimorar a gestão integrada e o correto gerenciamento dos RSU (BRASIL, 2010).

Uma das diretrizes da PNRS traz a determinação de que sejam eliminados do território nacional, todos os lixões a céu aberto e aterros controlados. No entanto, apenas 58,3% das unidades de destinação final de resíduos são classificadas atualmente como aterros sanitários (PARANÁ, 2016).

2.2 ATERROS SANITÁRIOS

Os aterros sanitários são, dentro da realidade brasileira, a melhor forma de destinação dos resíduos sólidos urbanos, em uma área pré-determinada, de forma controlada e monitorada, e seguindo parâmetros de projeto. No processo de construção de um aterro sanitário é viável que seja previsto a implantação de um sistema de canalização e coleta do biogás gerado através da sua decomposição, de forma que os impactos ambientais da sua instalação sejam reduzidos e ainda exista a possibilidade do aproveitamento energético deste subproduto (PARANÁ, 2016).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a disposição final adequada de RSU registrou um índice de 59,5% do montante anual encaminhado para aterros sanitários, porém, as unidades inadequadas como lixões e aterros controlados, ainda estão presentes em todas as regiões do país e receberam mais de 80 mil toneladas de resíduos por dia, representando um significativo potencial de poluição ambiental e de geração de impactos à saúde (ABRELPE, 2019).

Segundo dados da Nota Técnica 02/2020, do CIBIOGÁS, dentre as plantas em processo de implantação ou reformulação/reforma, 66% do volume de biogás produzido advinha de aterros sanitários e/ou Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), ou seja, plantas de grande porte, por isso a alta representatividade na porcentagem final de volume de biogás produzido.

2.3 O BIOGÁS

As legislações que regulam a utilização dos resíduos sólidos urbanos como forma de geração de energia, bem como a própria Política Nacional de Resíduos Sólidos ainda são bastante recentes, e por isso muito ainda deve ser aperfeiçoado. No entanto, trata-se de uma oportunidade para a diminuição da quantidade de resíduos nos centros urbanos, assim como uma fonte alternativa para a matriz energética brasileira (GALIZA; CAMPOS, 2015).

Em 2013, o Governo Federal criou o Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS), que teve como objetivo ampliar o uso energético eficiente do biogás em saneamento básico e em iniciativas agropecuárias e agroindustriais, visando inserir o biogás e o biometano na matriz energética nacional, reduzindo, por consequência, a emissão de gases de efeito estufa (PROBIOGÁS, 2015).

A Parceria, que consistia de um projeto Brasil-Alemanha de fomento ao aproveitamento energético de biogás no Brasil, chegou ao fim em 2017, mas deixou uma importante contribuição, além de materiais técnicos para subsidiar o aproveitamento do biogás no Brasil como, por exemplo, cadernos divididos em temas como o desenvolvimento do mercado de biogás (Biogás); aproveitamento energético do biogás de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), aproveitamento energético de biogás de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) e aproveitamento energético do biogás de Resíduos Agrosilvopastorais (RA), disponíveis ao domínio público de forma online (CNM, 2017).

O biogás é composto majoritariamente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) e, em menor grau, por nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2). Além desses, o biogás é composto também por gases a nível de traço como sulfeto de hidrogênio (H_2S), compostos orgânicos voláteis (COVs) e siloxanos, todos com impactos negativos na operação do equipamento e/ou na saúde dos trabalhadores. COVs, por exemplo, podem afetar a saúde dos operários, sobretudo se ficarem expostos por períodos prolongados. O H_2S é corrosivo, podendo danificar o equipamento, enquanto os siloxanos, quando levados à combustão, geram depósitos de sílica nas partes internas do motor, como válvulas, cilindros e cabeças do pistão (SEVIMOGLU; TANSEL, 2013 *apud* CARVALHO, 2019).

Atualmente, a modelagem matemática de parâmetros de projeto constitui uma das mais eficazes ferramentas de monitoramento e criação de cenários para quase todas as áreas da ciência e tecnologia. Modelos de geração de biogás em aterros sanitários podem fornecer estimativas dos resultados dos processos de decomposição dos resíduos, tomando como base o conceito de conservação de massa, por exemplo. Deste modo, os modelos caracterizam-se como ferramentas essenciais para estimar o potencial gerador de biogás de aterros sanitários e servem de base para projetos envolvendo sua captura e aproveitamento (CARVALHO, 2019).

O modelo de decaimento de primeira ordem é o mais comumente usado na prática, dentre os quatro modelos existentes atualmente. Modelos desse tipo pressupõem, dentre outras coisas, que a geração de metano atinge picos e em seguida sofre uma queda exponencial de geração com o passar do tempo. (ABRELPE, 2014).

O *Landfill Gas Emissions Model* (LandGEM) da *US Environmental Protection Agency* (EPA) é o modelo de primeira ordem mais usado para estimar a geração de metano (EPA, 2010) e serve de base para vários outros (BERGE; REINHART; BATARSEH, 2009).

3 METODOLOGIA

Para o levantamento do quantitativo de aterros sanitários existentes e em operação no Brasil, bem como a classificação deles quanto ao seu volume de produção, foram realizadas pesquisas em sites de órgãos do governo a nível nacional e estadual, de agências reguladoras como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), bem como o site da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE).

Como ferramenta de sobreposição de dados, foi utilizada também a plataforma online do Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBIOGÁS), denominada Biogasmmap, que disponibiliza gratuitamente a localização, quantidade, e porte dos diversos tipos de fontes de produção de biogás instalados no país.

Foram utilizados ainda relatórios disponibilizados pela plataforma georreferenciada do CIBIOGÁS chamado Biogasmmap (2019), que forneceram informações sintetizadas de instalação dos aterros no território nacional como, por exemplo, os anos de instalação, suas capacidades produtivas de biogás, os estados nos quais se encontram instalados, o tipo de fonte fornecedora dos resíduos, etc.

Ademais, foram utilizados os últimos panoramas disponibilizados pela ABRELPE, referente aos anos de 2017 e 2018, que caracterizam as condições de gestão dos RSU do Brasil, e forneceram dados referentes às condições nas quais se encontram os resíduos sólidos no Brasil, como, por exemplo, a quantidade em toneladas de resíduos destinada a aterros sanitários de acordo com o último levantamento.

Como complemento, utilizou-se a Nota Técnica de nº 2/2019, também do Centro Internacional de Energias Renováveis, que traça o panorama do biogás no Brasil de acordo com dados atualizados referentes ao ano de 2018.

Através da plataforma Biogasmmap, criou-se um filtro de seleção de dados que compilou informações referentes aos aterros sanitários existentes no território nacional, estivessem suas plantas em operação, sendo reformadas ou em processo

de instalação. Adicionalmente, para avaliar o comportamento temporal da evolução das plantas, considerou-se os dados referentes aos anos de 2018 e 2019.

Foram levantadas ainda as capacidades de produção total de biogás para os dois anos citados, bem como as capacidades individualizadas de cada uma das plantas mapeadas.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

De acordo com dados disponibilizados pela Nota Técnica nº 002/2019 do CIBIOGÁS, atualizada com dados até o ano de 2018, no Brasil, até o ano referência, havia 276 plantas de geração de biogás registradas, produzindo juntas cerca de 3,1 milhões de metros cúbicos de biogás diariamente para a geração de energia elétrica, calor e energia mecânica e produção de biometano. Os dados deste levantamento podem ser observados na Tabela 1.

TABELA 1 - QUANTIDADE DE PLANTAS E PRODUÇÃO DE BIOGÁS SEGUNDO O PORTE DAS PLANTAS EM OPERAÇÃO EM 2018.

Situação	Quantidade de plantas			Produção média diária de biogás		
	2015	2018	Diferença	2015	2018	Diferença
Em operação	127	276	149	1.305.288	3.110.871	1.805.583
Em instalação	22	82	60	1.246.146	1.561.843	315.697
Em reformulação ou reforma	10	8	-2	121.971	50.424	71.547
Total Geral	159	366	207	2.673.404	4.723.138	2.049.734

FONTE: Nota Técnica 02/2019 (CIBIOGÁS, 2019).

Ainda de acordo com a Nota Técnica 002/2019, dentre as 276 plantas de produção de biogás em operação no país, 179 delas possuíam como origem de seu substrato a agropecuária, outras 64 a indústria de modo geral, e as 33 restantes, substratos advindos dos RSU ou de esgotos.

Ademais, a quantidade de plantas que realizavam a aplicação do biogás para geração de energia elétrica era de cerca de 70%, o que representa 73% do volume total de biogás produzido, indicando uma provável tendência de uso energético do mesmo (CIBIOGÁS, 2019).

Dados atualizados pela Nota Técnica 002/2020 do CIBIOGÁS, que consideraram dados referentes também ao ano de 2019, apontam atualizações no

cenário das plantas de biogás do Brasil. O número de plantas existentes em operação, implantação e/ou em reforma se encontram na Tabela 2.

TABELA 2 – SITUAÇÃO DAS PLANTAS DE BIOGÁS EM 2019 PARA FINS ENERGÉTICOS.

Situação	Quantidade de plantas	%	Volume de Biogás (Nm ³ /ano)	%
Em operação	521	95	1.345.498.670	76
Em implantação	15	3	390.048.888	22
Em reforma / reformulação	12	2	43.714.780	2

Fonte: Nota Técnica 02/2020 (CIBIOGÁS, 2020).

O levantamento indicou um total de 548 plantas de biogás para fins energéticos no Brasil em 2019, com uma queda no quantitativo de plantas em instalação quando comparado ao levantamento anterior supracitado, que indicava um total de 82 plantas. Juntas, estas 548 plantas representam uma capacidade de produção de biogás estimada em 1.779.262.339 Nm³/ano (CIBIOGÁS, 2020).

É curioso observar que 78% das plantas em operação em 2019 foram classificadas como de pequeno porte, ou seja, com capacidade de produção de até 2.500 Nm³/dia, e representam apenas 9% do volume total de biogás produzido. A Tabela 3 apresenta uma síntese da relação entre os portes das plantas e suas capacidades de produção de biogás.

Tabela 3 - CLASSIFICAÇÃO EM RELAÇÃO AO PORTE E VOLUME DE BIOGÁS PRODUZIDO DAS PLANTAS DE BIOGÁS EM OPERAÇÃO EM 2019 NO BRASIL.

	Número de Plantas	Volume de Biogás
Pequeno	78%	9%
Médio	16%	14%
Grande	6%	77%

Fonte: Nota Técnica 02/2020 (CIBIOGÁS, 2020).

Interessante observar ainda, que as plantas de grande porte correspondem a apenas 6% do total do país, mas são responsáveis pela produção de 77% de todo o biogás produzido.

A Tabela 4 apresenta as plantas de biogás com fins energéticos do Brasil em 2019, por classe de substrato. Os substratos utilizados como biomassa para produção de biogás podem ser divididos em três categorias quanto à sua origem.

São elas: indústria, agropecuária e aterros sanitários/ estações de tratamento de esgoto (CIBIOGÁS, 2020).

Tabela 4 – CLASSIFICAÇÃO, POR SUBSTRATO, DAS PLANTAS DE BIOGÁS COM FINS ENERGÉTICOS, EM OPERAÇÃO NO BRASIL EM 2019.

Origem do substrato	Quantidade de plantas	Volume de Biogás (Nm ³ /ano)
Indústria	62	153.858.569
Agropecuária	416	165.112.571
RSU / ETE	43	1.026.527.529
Total	521	1.345.498.670

Fonte: Nota Técnica 02/2020 (CIBIOGÁS, 2020).

Conforme exposto na Tabela acima, a agropecuária é a principal fonte de substrato utilizada para produção de biogás em sistemas de biodigestão no Brasil até o último levantamento. O setor representa 80% das plantas em operação até o ano passado, entretanto, contribui com apenas 12% de todo o biogás produzido com fins energéticos. Em contrapartida, plantas que processam RSU e efluentes de ETE representam somente 8% do montante de plantas, mas contribuem com 76% de todo o biogás produzido no país (CIBIOGÁS, 2020).

Segundo dados da plataforma Biogásmap, existiam no Brasil, até o ano de 2018, vinte e cinco plantas de aterros sanitários. Sendo que destas, apenas vinte e uma encontravam-se em estado de perfeita operação, atingindo uma capacidade de produção estimada em 721.773.364 m³/ano.

Das vinte e cinco plantas existentes naquele ano, duas eram de pequeno porte, com capacidade de produção de até 2.500 Nm³/dia, outras três de médio porte, com produção entre 2.501 e 12.500 Nm³/dia, e as outras 20 com capacidade de produção acima de 12.501 Nm³/dia.

Considerado também o ano de 2019 para este levantamento, constatou-se que existiam instaladas, seja em operação ou em reforma e em processo de instalação, vinte e oito plantas de aterros sanitários no Brasil. Um aumento de apenas três unidades no quantitativo observado no ano anterior.

Das vinte e oito plantas existentes naquele ano, duas eram de pequeno porte, quatro de médio porte, e as outras vinte e duas de grande porte.

Considerando apenas as plantas em operação durante o ano de 2019, o número total reduz para 24, totalizando uma capacidade de produção de biogás de 922.855.182 m³/ano. Um acréscimo de mais de 200.000.000 m³/ano na capacidade total de produção de biogás do país por meio de aterros sanitários.

A distribuição espacial das plantas no Brasil é apresentada na Figura 3.

FIGURA 1: GEOLOCALIZAÇÃO DAS PLANTAS DE ATERROS SANITÁRIOS NO TERRITÓRIO NACIONAL, PARA O ANO DE 2019.



FONTE: CIBIOGÁS (2019).

A capacidade de produção diária de cada planta instalada, bem como suas dimensões, estão dispostas na Tabela 5.

TABELA 5: PLANTAS DE ATERROS SANITÁRIOS EXISTENTES NO BRASIL ATÉ O ANO DE 2019.

Plantas de aterros sanitários existentes no Brasil no ano de 2019		
Código do Aterro	Porte	Capacidade (Nm ³ /dia)
94	Grande	144.000
3	Médio	12.480
413	Grande	93.338
122	Pequeno	1.636
387	Grande	85.000
419	Grande	240.000
21	Médio	12.000
15	Grande	46.669
7	Grande	60.000
17	Grande	120.000
284	Grande	72.000

9	Médio	10.240
422	Médio	10.909
421	Grande	144.000
386	Pequeno	1.417
5	Grande	48.000
418	Grande	300.000
96	Grande	144.000
393	Grande	48.000
414	Grande	46.669
417	Grande	280.014
649	Grande	29.455
126	Grande	62.225
148	Grande	322.330
4	Grande	114.000
416	Grande	218.181
20	Grande	360.000
124	Grande	192.000

FONTE: CIBIOGÁS (2019).

De acordo com o relatório fornecido pela plataforma, as plantas supracitadas foram instaladas entre os anos de 2008 e 2019, e apresentavam, até a última atualização, uma produção estimada em 1.174.776.854 m³/ano de biogás.

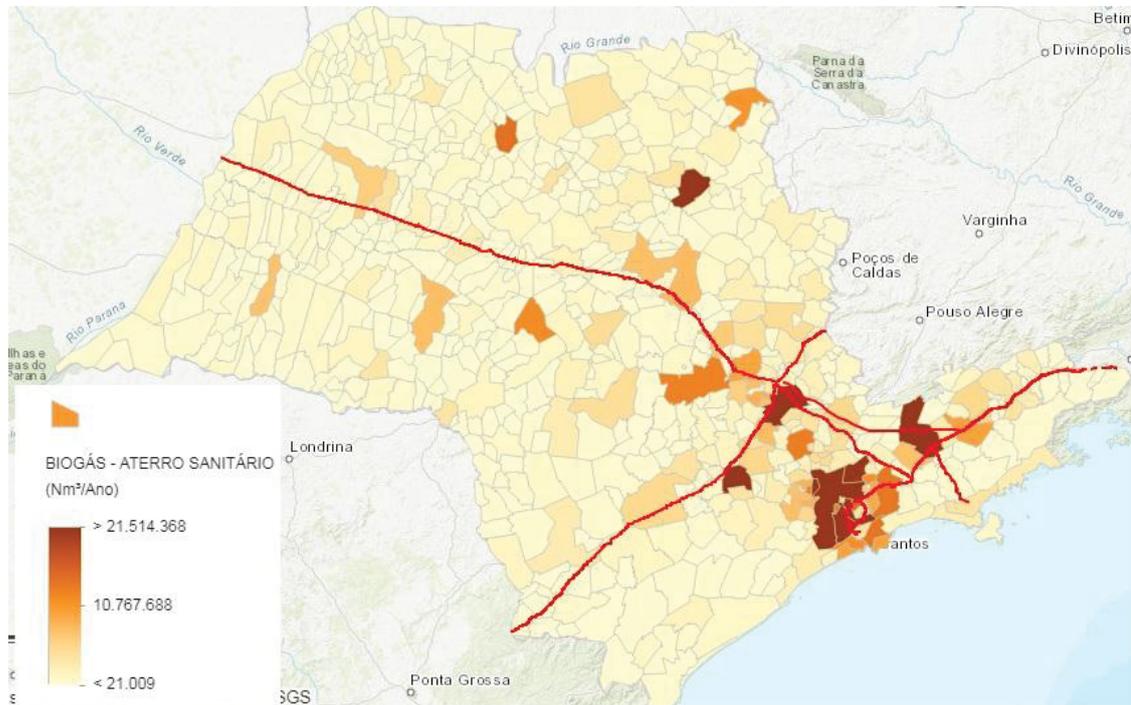
Segundo dados da Nota Técnica 002/2020 do CIBIOGÁS, observa-se que o estado de Minas Gerais é o que detém o maior número de plantas de biogás em operação, sendo 196, o que equivale a 38% do total de unidades em operação. Em segundo lugar está o estado do Paraná, com 110 plantas (21%), e em terceiro o estado de São Paulo, com 44 plantas.

O estado de São Paulo ocupa a terceira posição, em número de plantas, mas ocupa o primeiro lugar em termos de produção de biogás, concentrando 35,3% do volume total produzido, seguido pelo Rio de Janeiro com 14,6% (CIBIOGÁS, 2020).

Segundo um levantamento realizado no ano de 2018, por Mariani (2018), a distribuição espacial das unidades de produção de biogás, da categoria aterro sanitário, encontram-se instaladas próximas aos grandes centros urbanos, como a região metropolitana de São Paulo e do Rio de Janeiro. Isso se deve, certamente, pela facilidade logística de escoamento dos resíduos até os aterros, e, claro, pela proximidade com os grandes centros produtores dos maiores volumes de resíduos.

A Figura 2 apresenta o mapeamento do potencial energético de RSU em aterros sanitários para o estado de São Paulo, e apresenta a malha de gasodutos disponível no estado para o escoamento da produção de biogás.

FIGURA 2 - POTENCIAL ENERGÉTICO DE RSU EM ATERRO SANITÁRIO NO ESTADO DE SÃO PAULO E MALHA DE GASODUTOS EXISTENTES.



Fonte: O autor (2020). Adaptado de: Potencial de Biogás do Estado de São Paulo (ABILOGÁS, 2020).

Conforme evidenciado acima, os municípios paulistas com maior capacidade de produção em volume estão, em sua maioria, próximos à Região Metropolitana de São Paulo, além da capital, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, Osasco, Sorocaba, Campinas, São José dos Campos e Ribeirão Preto também lideram os índices de capacidade produtiva de biogás proveniente de aterros sanitários.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados apresentados pela plataforma do CIBILOGÁS, nota-se que as plantas instaladas no país se distribuem nas regiões sul, sudeste e nordeste, concentrando-se nos estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Santa Catarina, Bahia, Rio Grande do Sul, Pernambuco e Ceará, e o biogás produzido nelas é destinado aos usos térmico, elétrico e de biometano.

Além disso, a maioria das plantas de produção de biogás por meio de aterros sanitários instaladas no Brasil é de grande porte, ou seja, possui capacidade de produção de biogás acima de 12.501 Nm³/dia, e destaca-se também que a capacidade anual de produção de biogás aumentou significativamente, tendo um

acréscimo estimado de 201.081.818 m³/ano entre 2018 e 2019, atingindo um valor esperado de 922.855.182 m³/ano, considerado apenas as plantas em operação.

Ademais, pode-se afirmar pela localização da maioria das plantas, que a proximidade com os grandes centros urbanos é um fator primordial para a sua instalação. Quer seja pela otimização da logística de movimentação dos resíduos, quer pela facilidade de distribuição da energia eventualmente produzida nas plantas que dispunham deste tipo de ferramenta.

Não se pode notar um aumento significativo no número de plantas de aterros sanitários instalados no Brasil, considerando-se os anos de 2018 e 2019, no entanto, é notório que houve um crescimento no setor. Além disso, destaca-se o aumento de políticas públicas que visam à extinção de lixões e à criação e adoção de mais aterros sanitários como alternativa de destinação adequada de resíduos sólidos.

Restou evidente que no Brasil existe um grupo pequeno, formado por grandes produtores de biogás com potenciais de larga escala, como é o caso dos grandes aterros sanitários e das grandes indústrias, e outro grupo maior, formado por pequenos produtores. Tal distinção deve ser considerada quando da criação de políticas públicas a fim de que sejam também fornecidos incentivos que garantam o atendimento às particularidades de ambos os grupos.

REFERÊNCIAS

ABIOGÁS. **Infográficos ABiogás/ABRELPE: RSU**. Disponível em: <<https://abiogas.org.br/infograficos-abiogas-abrelpe-rsu/>>. Acesso em: maio de 2020;

ABIOGÁS. **Mapa do Potencial de Biogás do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://www.arcgis.com/apps/View/index.html?appid=280ffdedd6e74724903ff161803a1462&extent=-53.9090,-25.0137,-43.3621,-20.1000>>. Acesso em: maio de 2020;

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2017**. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>>. Acesso em: 21 de outubro de 2019; 74p.

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil – 2018/2019**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>> Acesso em: 21 de outubro de 2019; 68p;

ALVES, J. C.; **Avaliação dos parâmetros físico-químicos para a determinação do metano gerado em reator de bancada**. 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado) -

Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015;

ARCADIS. **Estudo sobre o potencial de geração de energia a partir de resíduos de saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável.** 2010, São Paulo. Produto 6 – Resumo Executivo: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD. 56p;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação**, 2004; Rio de Janeiro;

BANCO MUNDIAL. **What a waste: a global review of solid waste management.** Washington: World Bank, 2012. 116p. (Urban Development Series Knowledge Papers, 15);

BERGE, N. D; REINHART, D. R.; BATARSEH, E. S. **An assessment of bioreactor landfill costs and benefits.** Waste Management, 2009. v.29, n.5, p.1558-1567;

BRASIL. Lei n 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a **Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 25 de outubro de 2019;

CAMPOS, A. F.; GALIZA, J. J. M.; **Regulação de resíduos sólidos urbanos para geração de energia a partir de biogás; estudo de viabilidades em regiões da grande Vitória/ES.** Revista Augustus, [s.l.], v.20, n.40, p.56-69, 19 jan. 2016. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta – UNISUAM;

CARVALHO, Ruy de Quadros *et al.* **Oportunidades Enterradas: Geração Elétrica a Partir do Biogás de Resíduos Sólidos Urbanos.** 2019, EDUFES. Vitória, 302p;

CIBIOGÁS - (Brasil) (org.). **BiogasMap.** 2019. Organizado por Itaipu Binacional, Parque Tecnológico Itaipu, Ministério da Cidadania, ABiogás. Disponível em: <https://mapbiogas.cibiogas.org/>. Acesso em: 18 abr. 2020;

CIBIOGÁS. **Panorama do biogás no Brasil em 2018.** Nota Técnica 002. Foz do Iguaçu, 2019. 9p;

CIBIOGÁS. **Panorama do biogás no Brasil em 2019.** Nota Técnica 002. Foz do Iguaçu, 2020. 12 p;

CNM. **Encerrado projeto de gerenciamento de biogás entre Brasil e Alemanha.** Confederação nacional dos municípios, 2017. Disponível em:<<https://www.cnm.org.br/comunicacao/noticias/encerrado-projeto-de-gerenciamento-de-biogas-entre-brasil-e-alemanha>>. Acesso em: 12 jun. 2020;

MARIANI, L. **Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil.** 2018. 1 recurso online (144p.). Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP;

PARANÁ. Federação das Indústrias do Estado do Paraná : FIEP. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **Oportunidades da Cadeia Produtiva de Biogás para o Estado do Paraná**. Curitiba: SENAI/PR, 2016. 144p;

SEVIMOGLU, O.; TANSEL, B. **Effect of persistent trace compounds in landfill gas on engine performance during energy recovery: a case study**. 2013. Waste Management, v. 33, n. 1, p. 74-80;