

**USO DO SIG NO MAPEAMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS QUE PRODUZEM  
BIOGÁS VISANDO A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL:  
IMPACTOS SOCIAIS, AMBIENTAIS E ECONÔMICOS**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e0l20201040-1056



**Érica Bento Sarmento<sup>1</sup>**

**Karen Hidalgo Daia<sup>2</sup>**

**Renata de Almeida<sup>3</sup>**

**Deyvison Souza Rodrigues<sup>4</sup>**

**Juliana Tófano de Campos Leite Toneli<sup>5</sup>**

**Graziella Colato Antonio<sup>6</sup>**

**RESUMO**

O tratamento e destinação dos resíduos sólidos urbanos é um problema socioeconômico e ambiental. Mais da metade dos resíduos coletados são constituídos de matéria orgânica e, uma vez dispostos no ambiente de forma inadequada, se decompõem naturalmente, contaminando a água, o solo e o ar. A degradação da matéria orgânica em ausência de oxigênio produz metano e gás carbônico, gases geradores de efeito estufa que contribuem para as mudanças climáticas. Os aterros sanitários são considerados pela legislação vigente a forma mais adequada de destinação final destes resíduos. São pontos positivos: gerar energia nos aterros sanitários, a utilização dessa energia para seu próprio funcionamento, ou distribuir na

<sup>1</sup> <sup>2</sup> <sup>3</sup> <sup>4</sup>Discentes do Programa de pós-graduação em Energia. Universidade Federal do ABC. engericabento@gmail.com, karen.hdaia@gmail.com, renataa056@gmail.com, rdeyvison@yahoo.com.br.

<sup>5</sup> <sup>6</sup> Professoras do Programa de pós-graduação em Energia. Universidade Federal do ABC. juliana.toneli.ufabc@gmail.com, graziella.colato@ufabc.edu.br.

rede a energia para beneficiamento local. Neste trabalho, foi feita uma avaliação da produção de biogás associado à decomposição da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos nos aterros sanitários do Brasil que utilizam esse tipo de energia para seu próprio consumo ou que a injetam na rede de distribuição. Os impactos ambientais, econômicos e sociais associados a localização dos aterros também foram avaliados. Um modelo sistêmico foi obtido para definir os parâmetros de causa e efeito que giram em torno do tema. Os indicadores mais importantes foram selecionados para compor a matriz de sustentabilidade. Com o software QGIS foi possível analisar a localização, constatando-se que todos pertencem à região Sudeste do país.

**Palavras-chave:** RSU. Biogás. Aterro sanitário. Biometanização. Energia elétrica.

## **USE OF GIS IN THE MAPPING OF BIOGAS PRODUCING LANDFILLS FOR ELECTRICITY GENERATION IN BRAZIL: SOCIAL, ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC IMPACTS**

### **ABSTRACT**

The treatment and disposal of urban solid waste is a socioeconomic and environmental problem. More than half of the collected waste is made up of organic matter and, once improperly disposed of in the environment, naturally decomposes, contaminating water, soil and air. Degradation of organic matter in the absence of oxygen produces methane and carbon dioxide, greenhouse gases that contribute to climate change. Sanitary landfills are considered by current legislation as the most appropriate form of final disposal of these wastes. Positive points are: generating energy in landfills, using this energy for its own operation, or distributing the energy to the local beneficiation network. In this work, an evaluation of biogas production associated with the decomposition of the organic fraction of urban solid waste in Brazilian landfills that use this type of energy for their own consumption or that inject it into the distribution network was made. Environmental, economic and social impacts associated with landfill location were also assessed. A systemic model was obtained to define the cause and effect parameters that revolve around the theme. The most important indicators were selected to compose the sustainability matrix. With the software QGIS it was possible to analyze the location, finding that all belong to the Southeast region of the country.

**Keywords:** MSW. Landfill. Biomethanization. Electric power.

## **1 INTRODUÇÃO**

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são definidos, segundo a Norma ABNT NBR 10004:2004 (ABNT, 2004) como os resíduos sólidos e semissólidos resultantes da atividade humana, seja ela de origem industrial, comercial, doméstica, agrícola e de

varrição, bem como todo resíduo resultante do tratamento de água e esgoto, entre outros. A cada ano, milhões de toneladas de RSU são produzidas sendo cada vez mais necessário formular estratégias de gerenciamento e aproveitamento destes resíduos. No Brasil, em 2017, estimou-se uma geração per capita de 1,035 kg.hab<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>, cerca de 214.868 (t/dia) de resíduos (ABRELPE, 2017). Os valores de coleta de RSU para este mesmo ano foram de 196.050 (t/dia) o que representa cerca de 91,24 % do total gerado.

No que se diz respeito a gestão dos resíduos, a maior dificuldade correlaciona-se ao crescimento populacional que, ano após ano, tende a consumir um volume maior de produtos que acabam se tornando resíduos. Outro fator associado é que está cada vez mais custoso encontrar locais adequados para sua disposição final. Somando-se a estes fatores tem-se a questão da saúde pública e a preocupação com o meio ambiente e os recursos naturais suscetíveis aos danos causados pelos resíduos quando dispostos em locais inadequados. Estimar a geração e disposição de RSU é um dos grandes desafios a serem encarados a atual realidade de problemas ambientais e da carência no seu sistema de gestão (MATSAKAS *et al.*, 2017).

Diante dessa problemática, foi regulamentada em 2010 a Lei N° 12305 a qual institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), considerada um marco regulatório na área e cujas diretrizes visam principalmente ações de gestão integrada e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos. Definiu-se como disposição final ambientalmente adequada os aterros sanitários, que devem funcionar com normas específicas tornando-se dessa forma a opção menos danosa à saúde pública e a segurança da população, além de reduzir impactos ao meio ambiente (BRASIL, 2010).

O aterro sanitário por sua vez, promove um ambiente adequado para a degradação dos RSU, principalmente de sua fração orgânica. A decomposição destes resíduos gera uma mistura de gases, dentre outros, o metano e gás carbônico, conhecida como biogás. O metano contido neste gás tem um potencial energético de modo que pode ser utilizado como fonte de energia elétrica (ROMERO-GUIZA *et al.*, 2016).

Entretanto, o potencial energético do biogás é pouco explorado pelos próprios aterros. A implantação de plantas de biogás para o aproveitamento energético dos resíduos orgânicos implica em algumas limitações tecnológicas. A princípio para a implantação e funcionamento de aterros sanitários, a escolha de um local adequado é imprescindível para assegurar as melhores condições de proteção da qualidade

ambiental, saúde pública e que atenda os interesses da comunidade (SANTOS, 2009).

Outro ponto a ser ressaltado é a quantidade de biogás que não é constante e varia ao longo do ano. Esta variação pode ocorrer devido a sazonalidade das estações do ano, ao poder aquisitivo da população, a educação ambiental da população na segregação dos resíduos, entre outras (GUTIERREZ, 2016). Por fim, outro tipo de limitação está associado ao investimento alto para implantação de projetos, como a construção de dutos para transportar o gás gerado nos aterros e também da central de geração de energia, onde converte-se o metano em energia elétrica.

Diante do potencial energético exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação da produção de biogás a partir da decomposição da matéria orgânica depositada em aterros sanitários do Brasil que utilizam essa energia para seu próprio consumo ou que a injetam na rede de distribuição para uso da comunidade local, sob a ótica ambiental e socioeconômica.

## 2 METODOLOGIA



O levantamento sobre quantos e quais são estes aterros foi realizado utilizando a ferramenta WebMap, da Empresa Brasileira de Energia (EPE). As informações apresentadas neste trabalho foram coletadas nos bancos de dados mais atuais da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe). A avaliação de sustentabilidade foi realizada através de índices e indicadores propostos por CEPAL & OLADE (2003). No *software* de geoprocessamento (QGIS), primeiramente, foram destacados os aterros sanitários que se enquadram na proposta do projeto e em seguida avaliou-se o impacto ambiental, social e econômico nessas regiões de acordo com os indicadores escolhidos.

### 2.1 Avaliação de sustentabilidade

#### 2.1.1 Índices e indicadores

Para selecionar índices e indicadores de sustentabilidade, a princípio atentou-se às ideias propostas por Bossel (1999) que propôs subsistemas os quais atendem

às dimensões de “sistema humano”, “sistema de suporte” e “sistema natural”. Desta forma, dentro de um sistema humano, interagem setores como i) desenvolvimento individual; ii) sistema social; e iii) sistema governamental. Para atender o sistema de suporte, iv) sistema econômico e v) sistema de infraestrutura, e para o sistema natural: vi) sistema ambiental e de recursos. Desta forma, todos os subsistemas interagem entre si, atingindo às dimensões política e econômica, tecnológica, social e ambiental e abrangem os indicadores de desenvolvimento sustentável. Sendo assim, selecionou-se os indicadores mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Indicadores avaliados

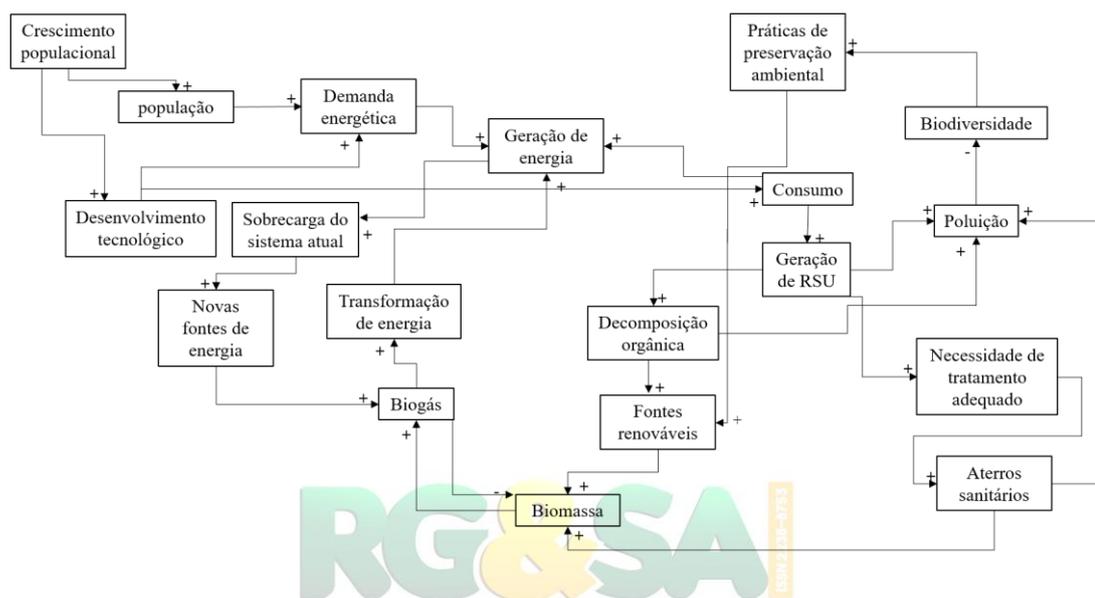
<b>Indicadores</b>	<b>Objetivos</b>
<b>Autossuficiência Energética</b>	Garantia de Abastecimento Externo
<b>Cobertura de Eletricidade</b>	Diversificação da matriz energética; Abastecimento suficiente
<b>Preservação Ambiental (Unidades de Conservação); Redução de emissão de gases do efeito estufa.</b>	Melhor qualidade do ar

Fonte: Elaborado pelos Autores.

## 2.2. Modelo Sistêmico

Para compreender melhor a dinâmica da geração de RSU, utilização dos aterros sanitários e os impactos ambientais e socioeconômicos uma abordagem holística e integrada foi adotada através da construção do diagrama de blocos ilustrado na Figura 1. Nele é possível observar as profundas relações de causa e efeito que envolvem os três pilares da sustentabilidade.

Figura 1. Diagrama de blocos – abordagem sistêmica



Fonte: Elaborado pelos Autores. **RG&SA** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

### 2.3. Matriz de sustentabilidade

Para uma completa avaliação de sustentabilidade, elaborou-se a matriz de sustentabilidade. Procurou-se relacionar os indicadores selecionados observados na Tabela 1 com algumas das características que o objeto de estudo (aterros sanitários) deve oferecer para atender às necessidades econômicas, ambientais e sociais, ao gerar energia elétrica.

## 3 RESULTADOS

Constatou-se que cinco locais enquadram-se as características descritas. Todos os aterros são de grande porte e pertencem a região Sudeste. A relação está na Tabela 2, bem como a produção de metano ( $m^3 \cdot dia^{-1}$ ), seu equivalente em kWh e o público alvo de cada um deles.

Tabela 2. Aterros sanitários de grande porte em operação no Brasil e que utilizam biogás.

UF/ Município	Fonte	Aplicação	Situação	Produção (m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> )	Equivalente (kW.h <sup>-1</sup> .dia <sup>-1</sup> )*	Escala	Público-alvo
MG/Belo Horizonte	Aterro Sanitário de Belo Horizonte	Energia Elétrica	Em operação	120.000,00	150.000-171.600	Grande porte	Consórcio Horizonte <u>Asja</u>
MG/Uberlândia	Aterro Sanitário de Uberlândia	Energia Elétrica	Em operação	45.000,00	56.250- 64,350	Grande porte	<u>Energas</u> , Geração de Energia
SP/ São Paulo	Aterro Sanitário de Mauá	Energia Elétrica	Em operação	360.000,00	450.000-514.800	Grande porte	Lara
SP/ Guataporã	Aterro Sanitário de Guataporã	Energia Elétrica	Em operação	94,285,71	117.857,14-134.828,57	Grande porte	ESTRE Energia <u>Renovável</u>
RJ/ Duque de Caxias	Aterro Sanitário de <u>Gramacho</u>	Energia Elétrica	Em operação	49.000,00	61.250- 70.070	Grande porte	Gás Verde S. A.

\* Fundação Ecológica Nacional, 2013

Fonte: Adaptado do WebMap da Empresa de Pesquisa Energética.

Com os dados de geração obtidos através do banco de dados da EPE foi possível estabelecer a relação entre produção de energia em cada aterro sanitário a partir da captação de biogás e a estimativa cobertura energética, a qual atenderia às populações e um indicador da matriz de sustentabilidade proposta. Conforme os dados apresentados na Tabela 3, o aterro que atenderia a menor parcela da população é o de Uberlândia, garantindo energia elétrica para 353 residências por dia. Em seguida, o aterro sanitário de Duque de Caxias, o qual possui capacidade para atender 383 famílias/dia.

Estima-se que o aterro localizado na cidade de Belo Horizonte pode atender até 544 residências por dia. Os aterros que poderiam atender o maior número de

casas estão localizados no estado de São Paulo: Guatapar, atingindo 737 casas ao dia, e o aterro de Mauá, com capacidade para suprir às necessidades diárias de 2816 residências.

Tabela 3. Estimativa de residências atendidas pela produção de biogás dos aterros.

Aterro	Geração (kWh/dia)	Consumo médio residencial* (kWh/mês)	Consumo médio total* (kWh/mês)	Consumo per capita* (kWh/hab)	Número de residências que poderiam ser atendidas**
Belo Horizonte - MG	150.00-171.600				544
Uberlândia - MG	56.250-64.350				352
São Paulo - SP	450.00-514.800	171,3	536,6	2,654	2816
Guatapar - SP	117.857,14-134.828,57				737
Duque de Caxias - RJ	61.250-70.070				383

\*Região Sudeste – EPE – Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017

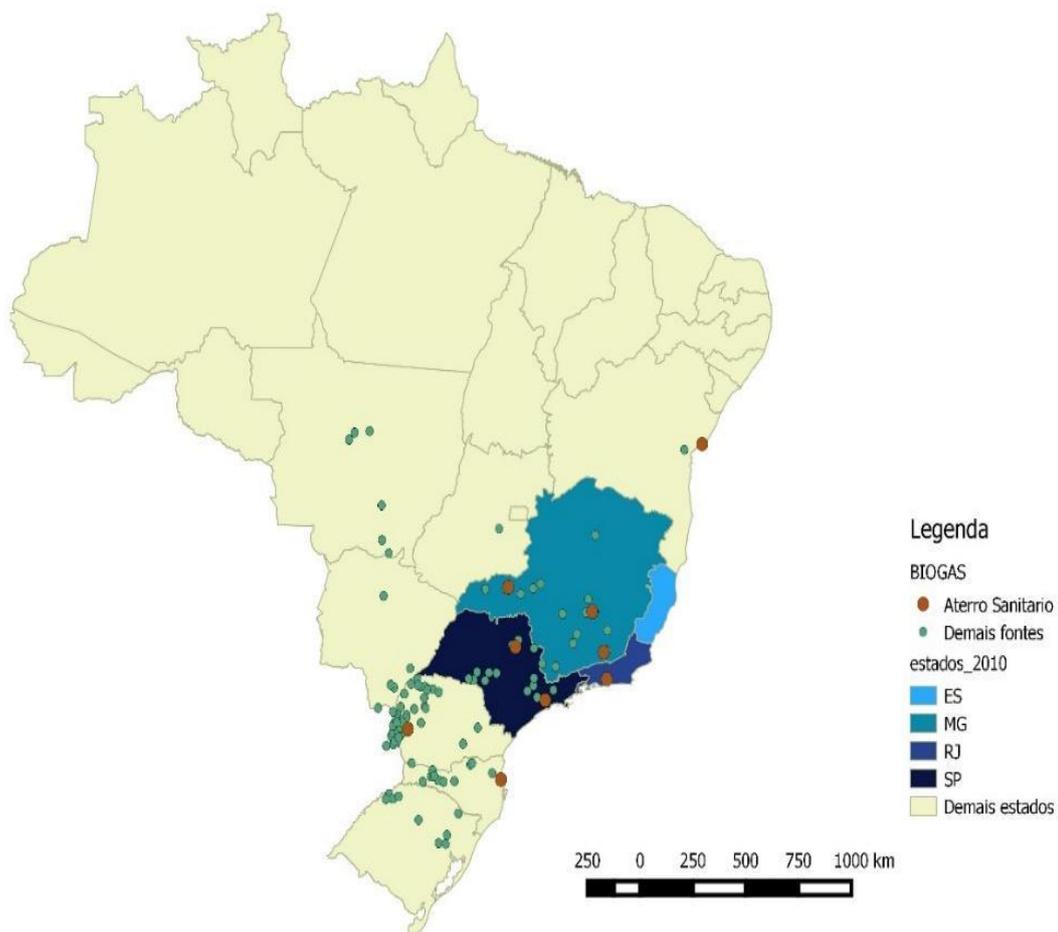
\*\* baseada no consumo médio residencial

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Já para análise da problemática escolhida com software QGis, foram utilizadas como base as informações fornecidas pelo Sistema de Informações Geográficas do Setor Energético Brasileiro, disponibilizado pela EPE. No WebMap, selecionou-se a camada de biogás que nos deu a informação referente aos usos de biogás para

geração de energia elétrica no Brasil. Após o download do Layer o arquivo .shp foi aberto no QGis e realizou-se um filtro pela tabela de atribuições, de todos os produtores de biogás das mais variadas fontes, que fazem uso para geração de energia elétrica (Figura 2).

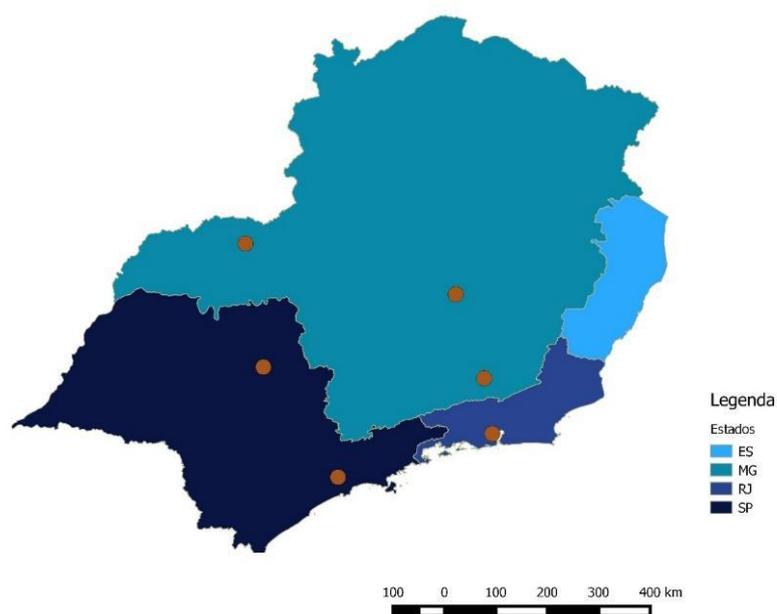
Figura 2. Mapa dos produtores de biogás no Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores.

Após essa primeira identificação, outro filtro foi realizado, destacando-se entre todos os produtores de biogás, apenas os aterros sanitários, fazendo um delineamento da região Sudeste (Figura 3).

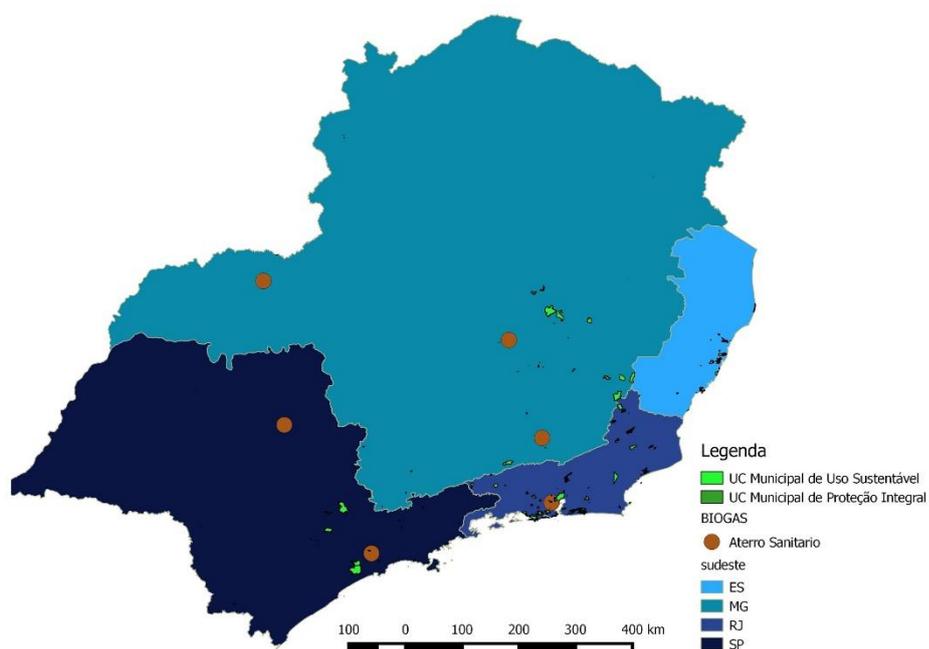
Figura 3. Aterros sanitários que produzem biogás na região sudeste.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a definição da região escolhida e do objeto de estudo, iniciou-se o mapeamento do indicador de preservação ambiental, que foi avaliado de acordo com a base de informações de unidades de conservação disponíveis no site do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2018). Esta base de dados apresenta Unidades de Conservação (UC) Federal, Estadual e Municipal. Foram elaborados diferentes mapas para entender em qual escala os aterros sanitários poderiam impactar o meio ambiente. Como é possível observar na Figura 4, as UCs municipais possuem uma área pequena, porém, principalmente no estado do Rio de Janeiro constata-se que algumas unidades de conservação estão localizadas próximas ao aterro sanitário.

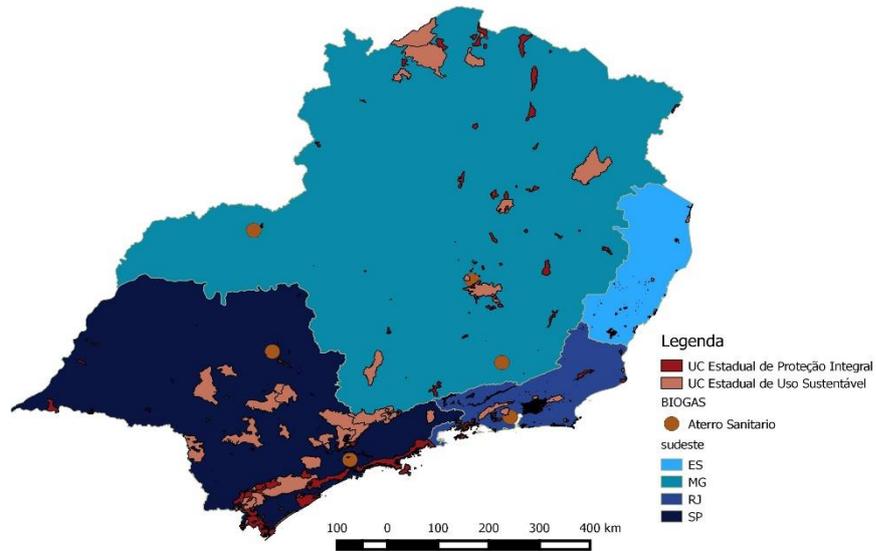
Figura 4. Aterros sanitários e unidades de conservação municipais.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

Já as unidades de conservação estaduais, apresentadas na Figura 5 possuem uma área de abrangência maior e estão localizadas próximas a todos os aterros sanitários, com exceção de um aterro localizado no estado de MG.

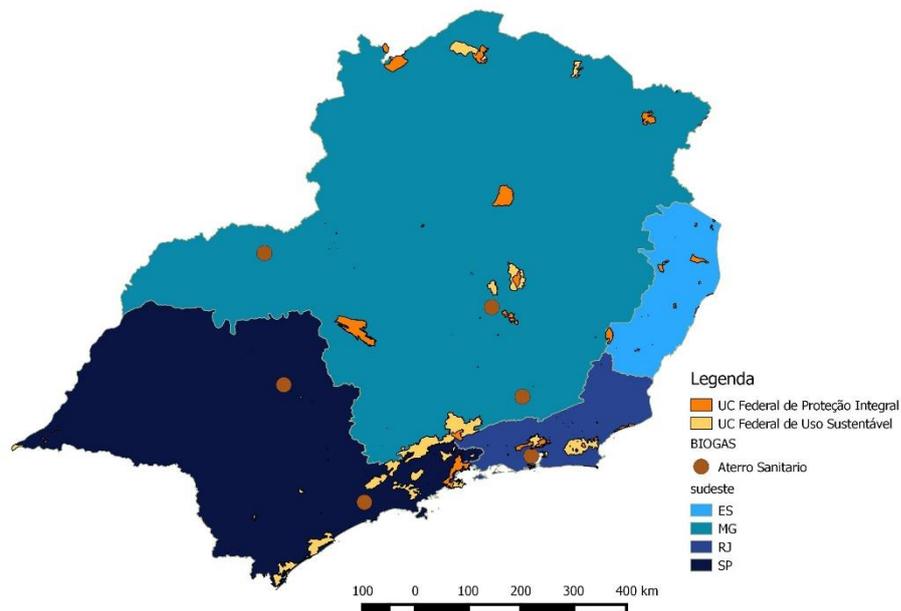
Figura 5. Aterros sanitários e unidades de conservação estaduais.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

As UCs Federais estão localizadas, principalmente próximo ao litoral dos estados de SP e RJ, estando próximo a dois aterros mapeados nestes estados. Porém, as áreas delimitadas para as UCs federais são pequenas quando comparadas com as UCs estaduais (Figura 6).

Figura 6. Aterros sanitários e unidades de conservação federais.



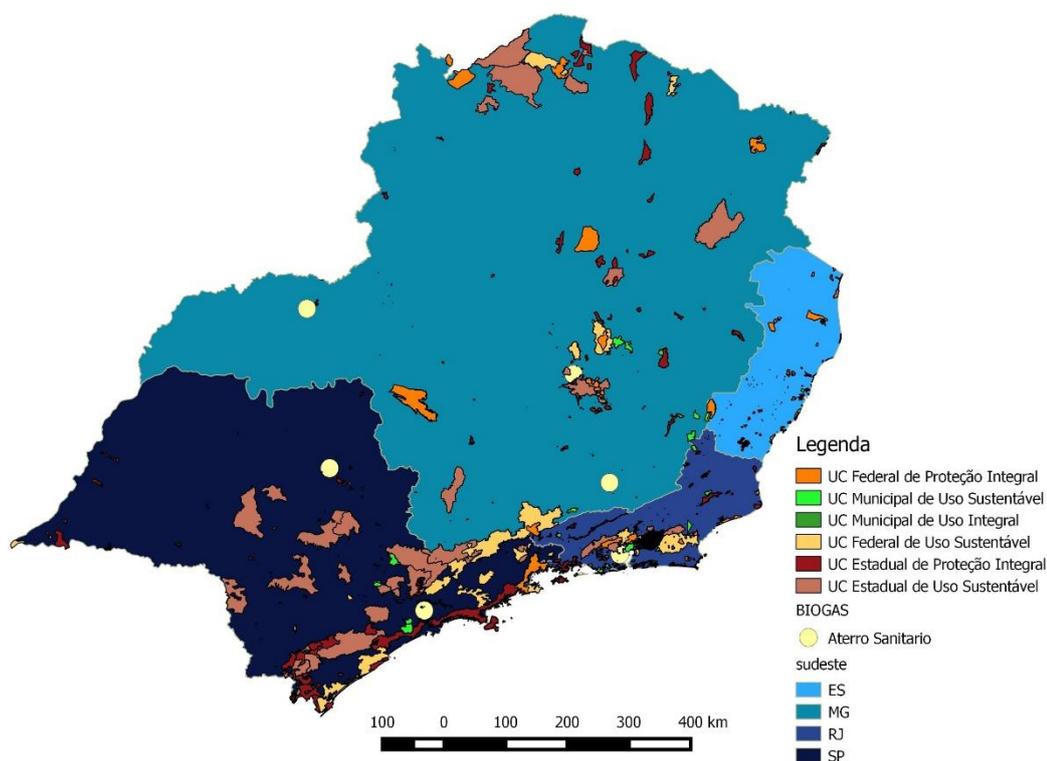
Fonte: Elaborado pelos Autores

Por fim, elaborou-se um mapa com a junção de todas as unidades de conservação a fim de observar o efeito da sobreposição de todas essas unidades e

os possíveis impactos ambientais que os aterros sanitários poderiam causar nestas regiões.

É possível observar que os aterros localizados mais próximos ao litoral dos estados de SP e RJ são os que mais poderiam oferecer riscos a estas unidades. Porém, vale considerar que todos estes aterros, são aterros sanitários e consideram em sua construção o uso de geomembranas impermeabilizantes que visam proteger e evitar a contaminação do solo.

Figura 7. Aterros sanitários e todas as unidades de conservação.



Fonte: Elaborado pelos Autores.

A matriz de sustentabilidade gerada (Figura 8) com indicadores escolhidos contempla todas as dimensões de sustentabilidade definidas pela literatura (variáveis sociais, ambientais e econômicas), sendo instrumento de avaliação para

implementação da tecnologia de conversão de biogás em energia elétrica em aterros sanitários.

**Figura 8.** Matriz de Sustentabilidade

Dimensão	Político-econômica	Social	Ambiental
Indicadores/ Características da energia do biogás	Autossuficiência energética	Cobertura de eletricidade	Preservação ambiental
Uso de recurso disponível no aterro	- Aproveitamento de potencial energético - Independência energética (PIB)	- Geração de empregos	- Diminuição do impacto causado pela FORSU; - Preservação de ecossistemas.
Disponibilização da energia elétrica para o atendimento da demanda local	- Dependerá da composição do resíduo (inclui-se sazonalidade e variação da geração)	- Benefícios para a comunidade local referentes ao desenvolvimento	- Melhor qualidade do ar
Produção de energia elétrica próxima aos centros de consumo	- Autossuficiência energética.	- Diminuição do custo da energia elétrica; - Aumento do consumo	Não se aplica

Fonte: Elaborado pelos Autores.  Ista Gestão & Sustentabilidade Ambiental

## 4 CONCLUSÕES

Através do levantamento bibliográfico realizado para os aterros sanitários escolhidos como objeto tecnológico deste estudo, constatou-se que a recuperação energética de biogás que neles ocorre, oferece alguns benefícios, tais como: a geração de energia para uso próprio garantindo autossuficiência ou para comercialização; atendendo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a disposição final ambientalmente adequada até o final do seu ciclo e redução da emissão de metano na atmosfera, corroborando com o Acordo de Paris.

Os mapas obtidos com uso da ferramenta GIS mostram uma visão ampla da localização dos aterros de grande porte do país, coincidentes todos na região

Sudeste, e também das Unidades de Conservação. Foi possível inferir que em maior ou menor grau, os aterros em questão (exceto o de Belo Horizonte) estão próximos de U. C., reforçando a importância da implantação da tecnologia proposta nestes locais, uma vez que o metano produzido é voltado para a rota energética, poupando o meio ambiente local e a qualidade de vida das comunidades no entorno.

Porém, ressalta-se também que não há garantia do fornecimento mínimo de resíduo para promover a atividade da central de tratamento energético, sendo necessário um estudo complementar sobre a gravimetria dos RSU depositados nos aterros variando-se a sazonalidade ao longo do ano. Por fim, esta é uma tecnologia simples e viável tecnicamente, porém sua implementação, isto é, a construção da central de tratamento energético, implantação dos ductos de coleta e injeção nos reatores possui um custo elevado.



## REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10.004:2004 Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004. 74 p.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo. 2017.
- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de limpeza pública e resíduos especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2014.
- BOSSSEL, H. **Indictors for sustainable development: Theory, method, applications**. International Institute for Sustainable Development, 1999.
- 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 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.
- CEPAL & OLADE. **COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA & ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGÍA**. Energía y Desarrollo Sustentable en América Latina y el Caribe – Guía para la Formulación de Políticas Energéticas. 1. Ed. Santiago de Chile, 2003.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016**. Brasília, DF. 2017. 232 p.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Energia Renovável Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro, 2016 452p.
- GUTIERREZ, A.C.G. **Caracterização da fração combustível de Resíduos Sólidos Urbanos úmidos do município de Santo André visando seu aproveitamento energético por processos termoquímicos**. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade Federal do ABC. Santo André – SP. Brasil. 90 p. 2016.
- LINARD, A. F. G.; AQUINO, M. D. **Biogás de aterro sanitário: análise de duas medidas mitigadoras das mudanças climáticas sob a perspectiva do mecanismo de desenvolvimento limpo**. DAE, Fortaleza, v. 1619, n. 201, p.21-32, 20 maio 2015.

MATSAKAS, L.; GAO, Q.; JANSSON, S.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P. **Green conversion of municipal solid wastes into fuels and chemicals.** *Electronic Journal of Biotechnology*, 26: 69-83, 2017.

MIGUEZ, R. **Lixo Energético.** *TN Petróleo*. v.66, p 101-102, 2009.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Dados Georreferenciados.** Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>> Acesso em agosto/2018.

ROMERO-GUIZA, M. S., VILA, J. MATA-ALVAREZ, J., CHIMENOS, J. M., ASTALS, S. **The role of additives on anaerobic digestion: A review.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58: 1486-1499, 2016.

SANTOS, J. V. **A gestão dos resíduos sólidos urbanos: um desafio.** *Tese (Doutorado)*. Programa de Pós-graduação em Direito da Universidade de São Paulo, São Paulo. 271 p. 2009.

