

# ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE ATERROS SANITÁRIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO UTILIZANDO O *SOFTWARE SCILAB*

Autores: Natalia de Souza Ribeiro<sup>1</sup>, Samuel Placido Galdino da Silva<sup>2</sup>, Ivan Felipe Silva dos Santos<sup>3</sup>, Regina Mambeli Barros<sup>4</sup>, Maria Luiza Grillo Renó<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Engenheira de Produção e Mestranda em Engenharia de Energia, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá (MG). E-mail: [nataliaribeiro@id.uff.br](mailto:nataliaribeiro@id.uff.br).

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Civil. Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá (MG). E-mail: [samuelgaldino11@hotmail.com](mailto:samuelgaldino11@hotmail.com)

<sup>3</sup>Engenheiro Hídrico, Mestre em Engenharia de Energia e Doutor em Engenharia Mecânica. Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá (MG). E-mail: [ivanfelipedeixe@hotmail.com](mailto:ivanfelipedeixe@hotmail.com).

<sup>4</sup>Engenheira Civil, Mestre e Doutora em Engenharia Civil. Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá (MG). E-mail: [remambeli@hotmail.com](mailto:remambeli@hotmail.com).

<sup>5</sup>Engenheira de Produção, Mestre e Doutora em Engenharia de Mecânica. Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá (MG). E-mail: [malureno@yahoo.com.br](mailto:malureno@yahoo.com.br).

## RESUMO

O aterro sanitário é o meio de disposição de resíduos mais comumente utilizado no país. Deste modo, o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos (RSU), mostra-se como uma grande oportunidade de utilização de uma fonte renovável de energia. Apesar do potencial energético, o uso de energia oriunda de resíduos ainda é incipiente no país. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o potencial energético de 7 aterros do estado de São Paulo. Desta forma, foi criado um algoritmo numérico através do *software Scilab* para obter o cálculo da projeção populacional, projeção de resíduos, produção de metano e por último a estimativa da potência a ser gerada por cada aterro. O algoritmo desenvolvido permitiu a obtenção dos resultados necessários para a análise do potencial energético destes aterros, mostrando que os aterros 2 e 5 apresentam as maiores potências.

**Palavras chaves:** Aterro sanitário, aproveitamento energético, Scilab

## ANALYSIS OF THE ENERGY POTENTIAL FROM LANDFILLS OF THE STATE OF SÃO PAULO USING THE SCILAB SOFTWARE

## ABSTRACT

Landfill is the most commonly used waste disposal facility in the country. Thus, the use of energy from municipal solid waste (MSW) is a great opportunity to use a renewable energy source. Despite the energy potential, the use of energy from MSW still incipient in the country. In this context, the present work aims to present the energy potential of 7 landfills in the state of São Paulo. In this way, a numerical algorithm was created through the Scilab software to obtain the calculation of projections for the population growth, projection of residues, production of methane and finally the estimation of the power to be generated by each landfill. The algorithm developed allowed us to obtain the necessary results for the analysis of the energy potential of these landfills, showing that the landfills 2 and 5 have the highest potential of energy.

**Key words:** Landfills, energy potential, Scilab

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) é atualmente um dos maiores problemas enfrentados pelas autoridades no país (FERNÁNDEZ-NAVA et al., 2014). O manejo inadequado de resíduos causa sérios impactos ao meio ambiente e a saúde humana. Desta forma, uma gestão eficaz de resíduos reduz os gases de efeito estufa (GEE), melhora a qualidade de vida, promove a saúde pública evita a contaminação da água e solo, permite a conservação de recursos naturais, além de fornecer energia renovável (CHERUBINI, 2008).

A Lei nº 12.305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) criou algumas premissas para lidar com os principais problemas ambientais, sociais e econômicos no manejo inadequado dos resíduos sólidos. Uma das medidas estabelecidas pela PNRS é a erradicação dos lixões, sendo os aterros sanitários o destino final mais adequado para os resíduos sólidos (MMA, 2018). Além disso a PNRS impulsiona o aproveitamento energético dos RSU no país, já que a mesma prevê a utilização de tecnologias para a recuperação energética de resíduos, desde que seja comprovada a viabilidade técnica e econômica de cada tecnologia (BRASIL, 2010).

No Brasil, de acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2017) estima-se que em 2017 foram coletados 71,6 milhões de toneladas

de resíduos. Quanto à disposição final, o mesmo estudo aponta que 59,1% dos resíduos foram enviados para aterros sanitários, 22,9% para aterros controlados e 18% para lixões.

O número elevado de aterros no Brasil mostra o grande potencial de aproveitamento de biogás nestes locais. Os RSU são uma fonte de grande potencial tanto em termos de materiais quanto em recuperação energética (ARAFAT; JIJAKLI; AHSAN, 2015). Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo estimar o potencial energético dos gases de 7 aterros sanitários do estado de São Paulo. Para isto, foi criada uma rotina no *software Scilab* para o cálculo da projeção populacional de cada cidade, projeção de resíduos, cálculo de vazão de metano e cálculo de potencial dos gases produzidos nesses aterros.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir serão apresentados os fundamentos teóricos utilizados para a obtenção dos dados necessários ao estudo. As equações citadas serão utilizadas para a preparação da rotina automática de cálculos do *Software Scilab*. A Figura 1, apresenta a sequência das etapas desenvolvidas para a realização do trabalho:

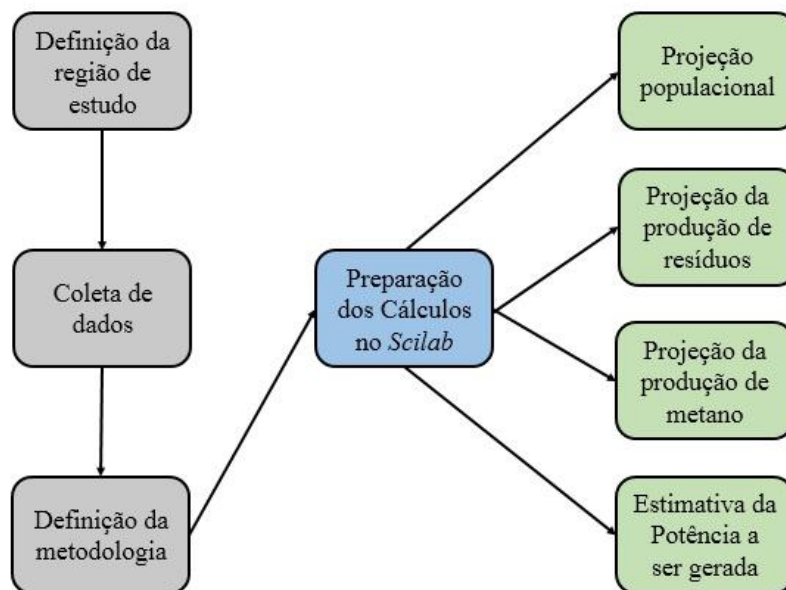


Figura 1: Fluxograma do trabalho

### 2.1 Cidades constituintes de cada aterro sanitário

O local de estudo foi o estado de São Paulo, localizado na região sudeste do país, ocupando uma área com pouco mais de 248 mil Km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Os dados da população e de geração

de resíduos do estado foram utilizados para estimar a vazão de biogás e o potencial energético de cada aterro. Nesta etapa foram pesquisados os aterros sanitários do estado de São Paulo. Com base nos dados obtidos pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2018), escolheu-se para a realização do estudo 7 aterros no estado.

## 2.2 Projeção Populacional e da geração de resíduos

Nesta etapa estimou-se a projeção da população das cidades constituintes dos aterros. O modelo adotado para o cálculo da projeção populacional é o método proposto por Sha'ato et al. (2007). Por este método fez-se uma estimativa do crescimento da população por um período de 20 anos, com início em 2020. A equação 1 utilizada para o cálculo da projeção populacional é apresentada a seguir:

$$P_n = P_0 (1 + r)^n \quad (1)$$

Onde:

$P_n$  = é a população calculada no período de projeção;

$P_0$  = é a população inicial;

$r$  = taxa anual de crescimento da população calculado com base nos dados históricos dos censos demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010);

$n$  = período de projeção dado em anos.

Para estimar a quantidade de resíduos produzidos por cada cidade, utilizou-se os dados disponíveis da geração de resíduos disponibilizados pela Cetesb (2018) para o ano de 2017, considerando um aumento anual de 0,5% (PIN et al., 2018). Com estes dados é possível calcular a geração total de resíduos em toneladas por ano em cada cidade. Em seguida, calcula-se a quantidade de resíduos referentes a cada aterro, que é dado pela soma anual de cada cidade integrante do aterro.

## 2.3 Estimativa do Potencial Energético de cada aterro sanitário

Nesta etapa, a geração de biogás de cada aterro foi estimada através da equação disponibilizada pelo *software* desenvolvido pela CETESB (2006). A equação 2 utilizada será apresentada a seguir:

$$\sum Q_x = K \cdot L_0 \cdot \sum (R_x \cdot e^{-k(x-T)}) \quad (2)$$

Onde:

$Q_x$ = vazão de metano ( $m^3$ /ano);

$K$ = constante de decaimento (t/ano);

$L_0$ = potencial de geração de biogás ( $m^3$ /t);

$R_x$ = fluxo de resíduo (t/ano);

$x$ = ano atual (ano);

$T$ = ano de deposição do resíduo (ano) (CETESB, 2006).

Os valores de  $K$  e  $L_0$ , foram obtidos com base nos dados de Santos, Barros e Tiago Filho (2018). Onde para  $K$  foi considerado o valor de 0,06, estimado para locais com precipitação acima de 1000mm (NERY; SILVA; CARFAN, 2004) e  $L_0$  o valor de 170 (média entre os valores máximo e mínimo). Em seguida, com base nos resultados obtidos foi possível calcular a potência disponível em cada aterro. Foram considerados os anos iniciais e finais da utilização de biogás como fonte de energia para cada aterro. A potência foi obtida através da equação 3 (modificado de CETESB, 2006; apud Barros, 2012).

$$P = Q_{CH_4} \cdot E \cdot E_c \cdot P_{cCH_4} \cdot \left( \frac{1}{365 \cdot 24 \cdot 3600} \cdot \frac{1}{1000} \right) \quad (3)$$

Onde:

$P$ = Potência disponível por ano (kW);

$Q_{CH_4}$ = Vazão de metano por ano ( $m^3CH_4$ /ano);

$P_{cCH_4}$ = Poder calorífico do metano ( $J/m^3CH_4$ );

$E_c$  = Eficiência de coleta de biogás (%);

$E$  = Eficiência da turbina/motor (%).

O metano possui poder calorífico no valor de  $35,5 \cdot 10^6$  ( $J/m^3CH_4$ ) (PIÑAS et al., 2016). Considerando o motor Ciclo Otto de combustão interna, a eficiência desse motor pode ser considerada 33% (PECORA, 2006; BOVE; LUNGHI, 2006) e a eficiência de coleta de biogás

de 55,5%, considerando a média encontrada em estudos (SILVA; FREITAS; CANDIANI, 2013; WATERMOLEN, 2012).

## 2.4 Preparação do Algoritmo no *Scilab*

Após a definição da metodologia foi preparado um algoritmo no *software Scilab*. O *Scilab* é um *software* gratuito utilizado para a computação numérica (SCILAB, 2018). E, portanto, tem sido utilizado por diferentes autores para a aplicações em estudos envolvendo a análise energética (COSTA; SANTOS; MENSAH, 2018; RESENDE, 2013).

Os dados de entrada necessários para gerar a solução do algoritmo para o presente trabalho são: dados históricos da população das cidades estudadas em número de habitantes; RSU per capita gerado em cada cidade em (t/dia); crescimento anual na geração de resíduos considerando o valor de 0,5% ao ano; K que é a constante de decaimento (t/ano);  $L_0$  que é o potencial de geração de biogás ( $m^3/kg$ ); Poder calorífero do metano dado em ( $J/m^3$ ); eficiência do motor e eficiência da coleta de biogás. As equações utilizadas na rotina baseiam-se nas equações de 1 a 3. Os dados de entrada estão apresentados na Tabela 1:

Tabela 1: Entradas do algoritmo

Parâmetro	Valor
População do ano 2000 (habitantes)	número de habitantes das cidades
População 2010 (habitantes)	número de habitantes das cidades
RSU per capita (t/dia)	valor individual de cada cidade
Aumento anual de geração de RSU	0,005
K (t/ano);	0,06
$L_0$ ( $m^3/t$ )	170
Poder calorífero do metano ( $J/m^3$ )	$35,5 \cdot 10^6$
Eficiência do motor	0,33
Eficiência de coleta de biogás	0,55

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Cidades constituintes dos aterros

Para o presente estudo foram escolhidos 7 aterros do estado de São Paulo. As informações referentes a cada aterro e suas cidades estão representadas no Tabela 2:

Tabela 2: Aterros e suas cidades

Aterro 1: Cachoeira Paulista - A.P.	Aparecida, Areias, Cachoeira Paulista, Canas, Cruzeiro, Cunha, Guaratinguetá, Lavrinhas, Lorena, Potim, Queluz, Roseira, São José do Barreiro e Silveiras.
Aterro 2: Caieiras - A.P.	Bom Jesus dos Perdões, Caieiras, Cajamar, Embu-Guaçu, Francisco Morato, Franco da Rocha, Iguape, Ilha Comprida, Itapeçerica da Serra, Juquitiba, Miracatu, Osasco, São Lourenço da Serra, São Paulo, Sete Barras e Taboão da Serra.
Aterro 3: Catanduva	Adolfo, Ariranha, Catanduva, Catiguá, Elisiário, Embaúba, Guaçara, Ibitinga, Itajobi, Mendonça, Mirandópolis, Novais, Novo Horizonte, Olímpia, Palmares Paulista, Paraíso, Pindorama, Pitangueiras, Pongá, Santa Adélia, Tabapuã, Uru e Urupês.
Aterro 4: Onda Verde	Altair, Bady Bassitt, Cedral, Guapiaçu, Ipiranga, Jaci, José Bonifácio, Monte Aprazível, Neves Paulista, Nhandeara, Nova Aliança, Nova Granada, Onda Verde, Palestina, São José do Rio Preto e Uchoa.
Aterro 5: Paulínia	Águas de Lindóia, Americana, Amparo, Araras, Arthur Nogueira, Campinas, Conchal, Cosmópolis, Engenheiro Coelho, Espírito Santo do Pinhal, Holambra, Hortolândia, Ipeúna, Iracemápolis, Itupeva, Jaguariuna, Lindóia, Louveira, Mogi Mirim, Monte Alegre do Sul, Morungaba, Nova Odessa, Paulínia, Pinhalzinho, Santa Cruz da Conceição, Santo Antônio de Posse, Santo Antônio do Jardim, São Pedro, Serra Negra, Sumaré, Tuiuti, Valinhos, Vinhedo.
Aterro 6: Piratininga	Águas de Santa Bárbara, Álvaro de Carvalho, Arandu, Arealva, Avaí, Bariri, Bauru, Bocaina, Boracéia, Cabrália Paulista, Cafelândia, Duartina, Espírito Santo do Turvo, Fernão, Itaporanga, Jaú, Lins, Lucianópolis, Lupércio, Marília, Pederneiras, Piraju, Piratininga, Santa Cruz do Rio Pardo e Ubirajara
Aterro 7: Rio das Pedras	Águas de São Pedro, Capivari, Conchas, Cotia, Itapevi, Mombuca, Piracicaba, Rafard, Rio das Pedras, Saltinho, Santa Gertrudes e Santa Maria da Serra.

Fonte: Cetesb (2018).

### 3.2 Resultados da Projeção Populacional e da geração de resíduos

Considerando o período de interesse (2020 a 2040), os cálculos mostram que a população passa de 21.447.516 habitantes em 2020 para 27.271.806 em 2040. A tendência de crescimento populacional foi positiva para os aterros estudados. Os valores obtidos pela projeção populacional são apresentados na Figura 2:

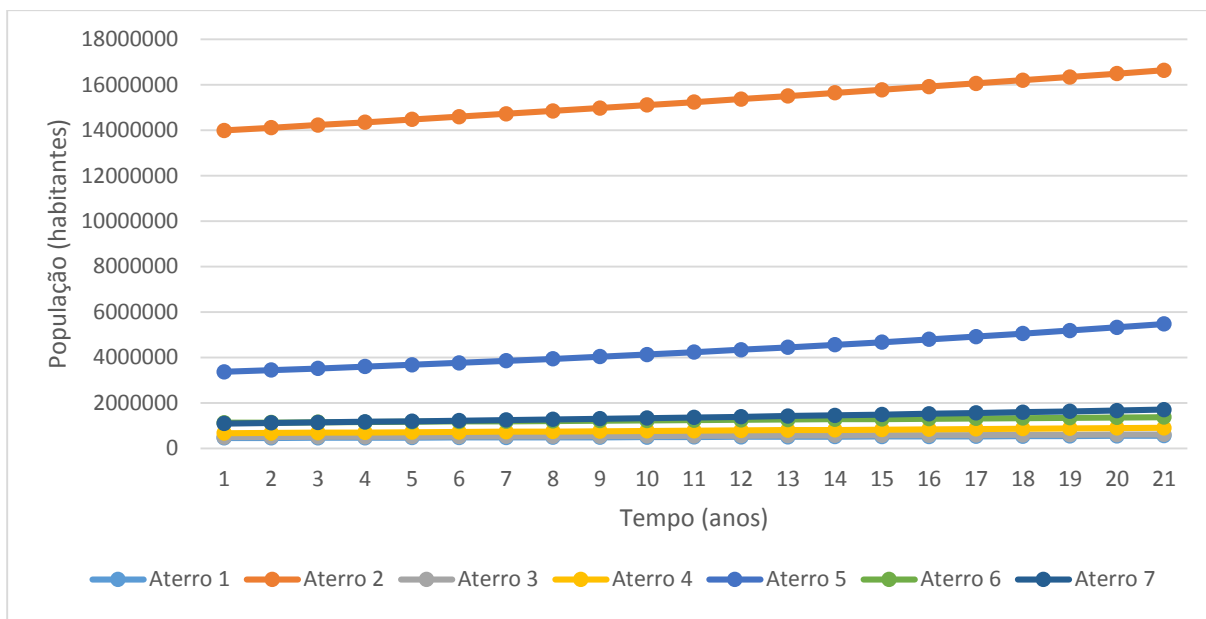


Figura 2: Projeção Populacional dos aterros

É possível observar que o aterro 2 atende a uma maior população, seguido pelo aterro 5. Já os aterros 1 e 3 as menores populações. A partir dos dados da população das cidades foi possível projetar a quantidade de resíduos a ser gerado por ano em cada aterro. Como esperado os aterros 2 e 5 apresentaram as maiores quantidades de resíduos gerados. O aterro 2 passando de  $2,77 \cdot 10^9$  toneladas no ano de 2020 para  $3,28 \cdot 10^9$  toneladas em 2040 e o aterro 5 de  $1,24 \cdot 10^9$  toneladas para  $1,88 \cdot 10^9$  toneladas em 2040. O aterro sanitário 1 apresentou a menor projeção de resíduos alcançando o montante de  $1,64 \cdot 10^8$  toneladas em 2040, conforme mostra a Figura 3:

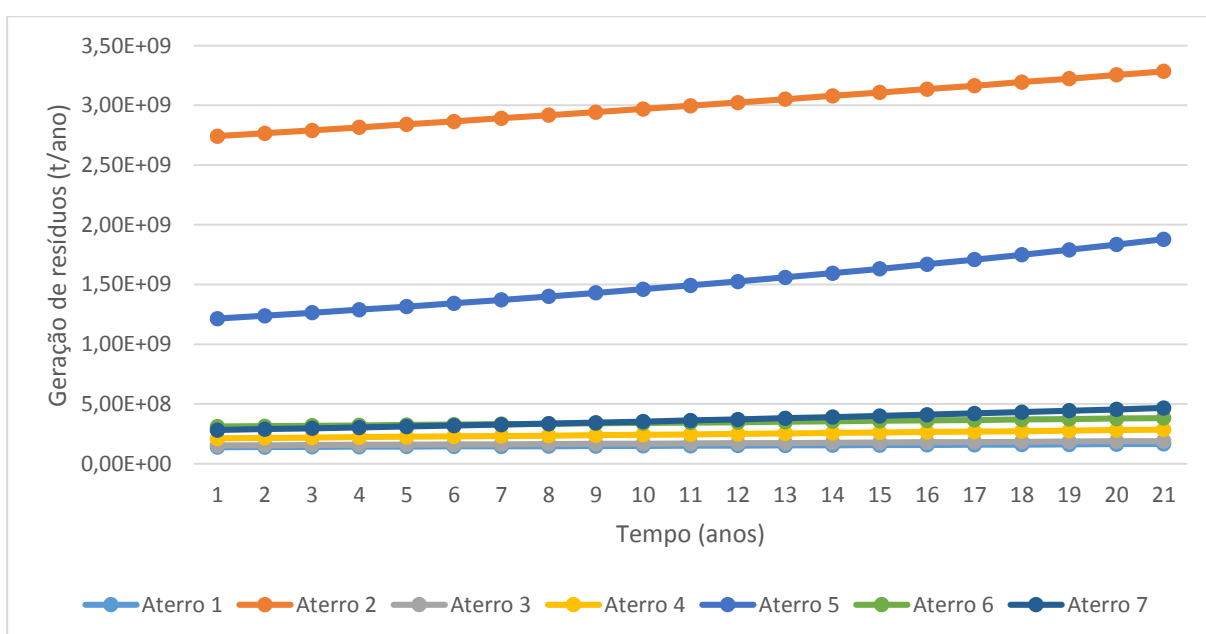


Figura 3: Geração de resíduos por aterro



### 3.3 Resultado da estimativa do Potencial Energético de cada aterro sanitário

Com as quantidades anuais de resíduos foi possível obter o cálculo da geração de biogás em cada aterro com base da metodologia aplicada pela Cetesb (2006). Este volume de gás liberado reflete o potencial energético de cada aterro. Os dados estão apresentados nas Figuras 4 e 5:

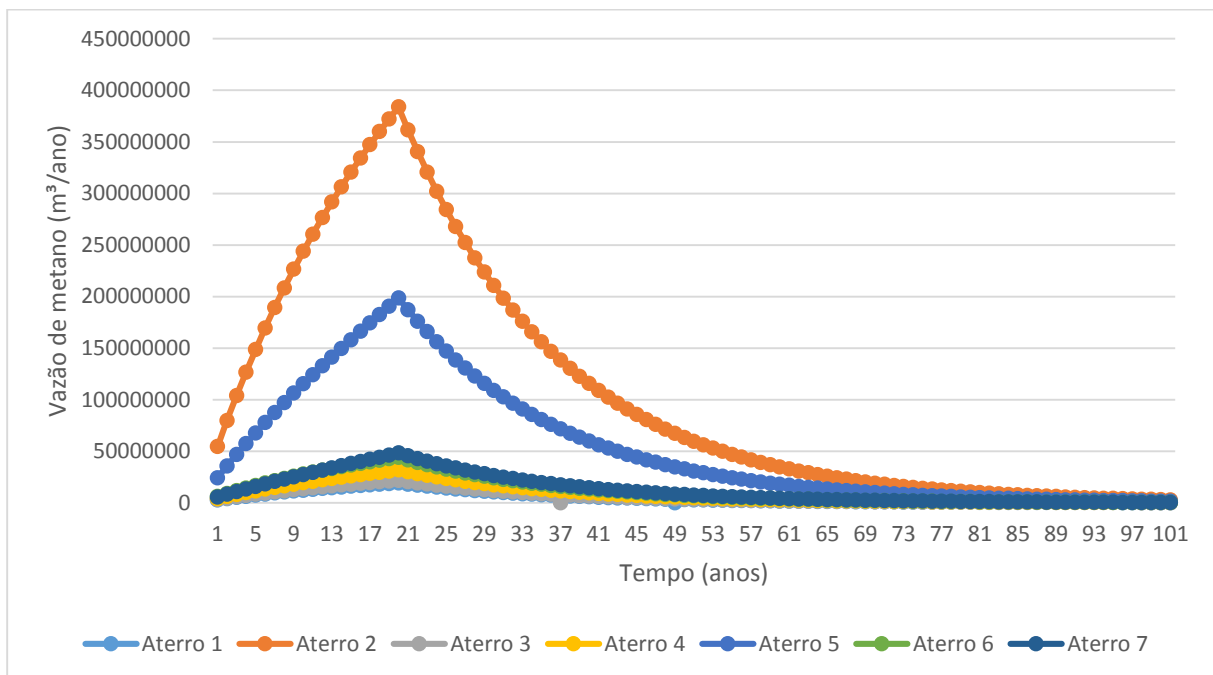


Figura 4: Vazão de metano a ser gerado por aterro (m³/ano).

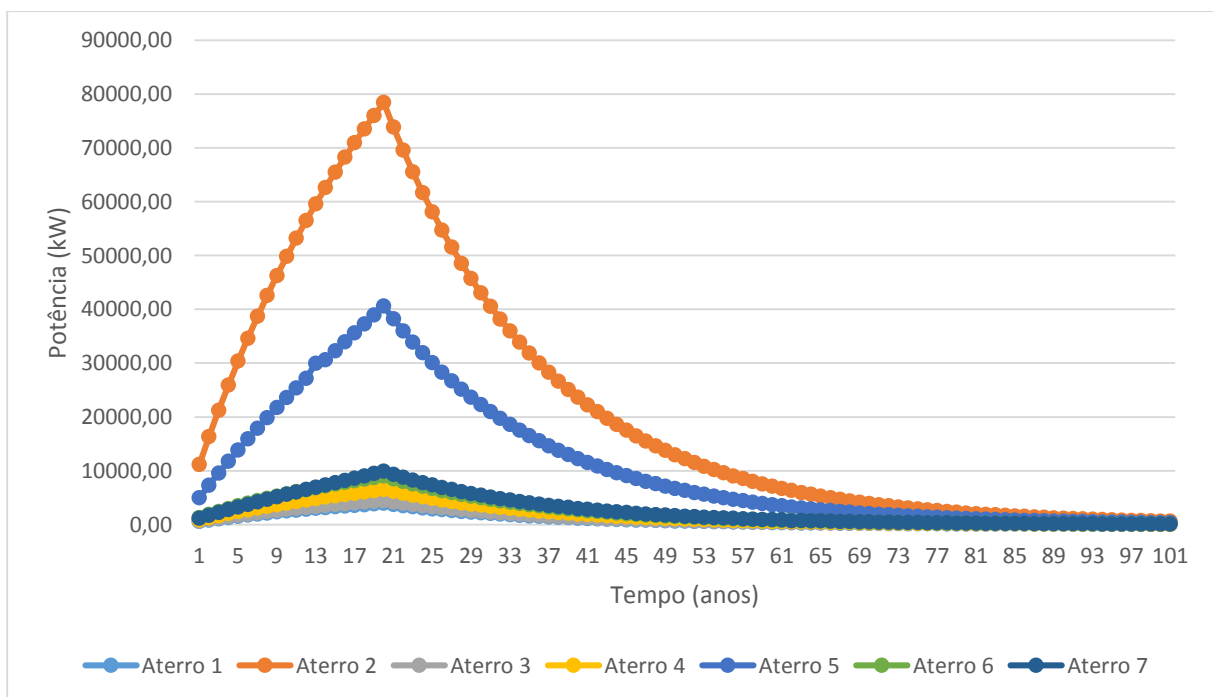


Figura 5: Potência a ser gerada por aterro (kW).

Observa-se que a vazão máxima de metano ocorre no ano de fechamento dos aterros, isto deve-se ao fato de que este será o último ano de deposição de resíduos. Após este período ocorre queda da vazão, já que nenhum resíduo será disposto nos aterros. Além disso, as maiores potências estão nos aterros que atendem às maiores populações (aterros 2 e 5) com aproximadamente 80.000 kW e 40.000 kW de potência respectivamente. O aterro 1 apresenta a menor potência, em torno de 4000 kW. A Tabela 3, apresenta todas as saídas do algoritmo:

Tabela 3: Saídas do algoritmo

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
<b>População Total (habitantes/ano)</b>	valor individual de cada cidade
<b>Resíduo Total (t/ano)</b>	valor individual de cada cidade
<b>Geração anual de metano (m<sup>3</sup>/ano)</b>	valor individual de cada aterro
<b>Potência (kW)</b>	valor individual de cada aterro

#### 4. CONCLUSÃO

Em suma, os resultados obtidos fornecem as informações de todos os parâmetros utilizados no algoritmo. Como resultado a rotina mostra-se eficaz para a sua aplicação em estudos que possuem como objetivo a determinação do potencial energético de aterros, colaborando com o desenvolvimento de pesquisas e um número cada vez maior de empreendimentos interessados no aproveitamento energético de resíduos em aterros no Brasil.

O presente trabalho apresentou os resultados da projeção populacional, projeção da quantidade de resíduos a ser gerado durante os 20 anos de funcionamento dos aterros, tornando possível determinar a vazão de metano e a potência a ser gerada em cada aterro. Os resultados mostraram-se satisfatórios em especial para os aterros 2 e 5 que atendem populações maiores, já que estes possuem elevado potencial energético, e o aterro 1 apresentou o menor potencial.

Portanto, este estudo demonstra que um grande potencial de energia tem sido desperdiçado em aterros sanitários no país e que o aproveitamento energético destes resíduos se apresenta como uma oportunidade de renda para estes empreendimentos, possibilitando melhor uso destes resíduos, a inserção de energia renovável na matriz energética nacional e menores impactos ao meio ambiente e à saúde da população.

#### 5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016... 59p. 2017.

ARAFAT, Hassan A.; JIJAKLI, Kenan; AHSAN, Amimul. Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 105, p.233-240, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.071>.

BARROS, Regina Mambeli; TIAGO FILHO, Geraldo Lúcio; SILVA, Tiago Rodrigo da. The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. **Energy Policy**, [s.l.], v. 65, p.150-164, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.10.028>.

BOVE, Roberto; LUNGHI, Piero. Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. **Energy Conversion And Management**, [s.l.], v. 47, n. 11-12, p.1391-1401, jul. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2005.08.017>.

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. *Diário Oficial* [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 de ago. 2010. Seção 1, p. 3, 2010.

CHERUBINI, F.; BARGIGLI, S.; ULGIATI, S. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, v. 34, n. 12, p. 2116-2123, 2009.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Manual do usuário do programa de computador. São Paulo, 2006. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/software/>>. Acesso em 12 de abr. 2019

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/residuossolidos/wp-content/uploads/sites/26/2018/06/inventario-residuos-solidos-urbanos-2017.pdf>>. Acesso em 9 de fev. 2019.

COSTA, Thaís Faria.; SANTOS, Ivan Felipe; MENSAH, Johnson Herlich Roslee. Algoritmo para cálculo da potência ótima e do máximo benefício líquido de Pequenas Centrais Hidrelétricas: Desenvolvimento e aplicação usando o software Scilab. 2018. Conference: XIII Seminário de Meio Ambiente e Energias Renováveis, At Itajubá, Minas Gerais (Brasil).

FERNÁNDEZ-NAVA, Y. et al. Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain). **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 81, p.178-189, out. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.008>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Séries históricas**. 2010. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&qt=series-historicas&t=o-que-e>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

LACORTE, D. Y. Metodologia de otimização de portfólio e avaliação de lances para leilões combinatórios de novos empreendimentos de geração. 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015.

MMA. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2018. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>. Acesso em 09 de abr. 2019

NERY, J. T., SILVA, E. S., CARFAN, A. C. (2004). Distribuição da precipitação pluvial no Estado de São Paulo. VI Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 6.

PECORA, V. Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir de biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – estudo de caso. 2006. 153 f. Dissertação (Mestrado) – Pós Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PIN, Bruno Vasconcelos Rosa et al. Waste management studies in a Brazilian microregion: GHG emissions balance and LFG energy project economic feasibility analysis. **Energy Strategy Reviews**, [s.l.], v. 19, p.31-43, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.esr.2017.11.002>.

PIÑAS, Jean Agustin Velásquez et al. Aterros sanitários para geração de energia elétrica a partir da produção de biogás no Brasil: comparação dos modelos LandGEM (EPA) e Biogás (Cetesb). **Revista Brasileira de Estudos de População**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.175-188, 10 maio 2016. Associação Brasileira de Estudos Populacionais. <http://dx.doi.org/10.20947/s0102-309820160009>.

RESENDE, M. G. Desenvolvimento de um programa computacional em Scilab® baseado no método *Pinch* de integração energética. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Química, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2013.

SANTOS, Ivan F.s.; BARROS, Regina M.; TIAGO FILHO, Geraldo L.. Biogas Production From Solid Waste Landfill. **Reference Module In Materials Science And Materials Engineering**, [s.l.], p.1-10, 2018. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803581-8.10585-5>

SHA'ATO, R. et al. Survey of solid waste generation and composition in a rapidly growing urban area in Central Nigeria. **Waste Management**, [s.l.], v. 27, n. 3, p.352-358, jan. 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2006.02.008>.

SCILAD. 2018. Disponível em: <<https://www.scilab.org/about>>. Acesso em : 14 de abr. 2019

SILVA, Tiago Nascimento; FREITAS, Fernando Souza Nazareth de; CANDIANI, Giovano. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. **Engenharia**

**Sanitaria e Ambiental**, [s.l.], v. 18, n. 2, p.95-104, jun. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522013000200001>.

WATERMOLEN, B. T. et al. Methane Emission, Oxidation and Collection Efficiency at a Southeastern USA Landfill. Global Waste Management Symposium. Veolia Environmental Services. North America Solid Waste, 2012. Disponível em < <http://dnr.wi.gov/topic/Waste/documents/swip/20121115/MethaneEmissionsUpdate.pdf> >. Acesso em 15 de abr. 2019.