

REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

AValiação DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE ATERROS SANITÁRIOS DE SEIS CIDADES BRASILEIRAS¹

Giovanna Loiola Fernandes²; Ivan Felipe Silva dos Santos³

¹ Apresentado no XII Seminário de Meio Ambiente e Energias Renováveis

² Universidade Federal de Itajubá (MG), Brasil.

E-mail: gf.loiola@gmail.com

³ Universidade Federal de Itajubá (MG), Brasil.

E-mail: ivanfelipece@hotmail.com

RESUMO

Atualmente, há uma grande apreensão mundial em relação à combustíveis fósseis – sendo eles os mais usados e, no entanto, mais perto de se extinguirem, assim como mais poluidores –, então têm-se investido muito em pesquisa e desenvolvimento de fontes de energia alternativas, principalmente daquelas que sejam renováveis. Em vista desse fato, acrescido da também preocupação com a produção cada vez mais crescente de resíduos sólidos pela população mundial, este trabalho teve como objetivo analisar a forma alternativa de energia que se utiliza do aproveitamento do biogás gerado pela decomposição desses resíduos sólidos em projeções de 20 anos para seis cidades pré-selecionadas (Niterói/RJ, Jundiaí/SP, Cascavel/PR, Dourados/MS, Ariquemes/RO e Vigia/PA), com diferentes populações. Para projeção da produção de gás foi utilizado o software LandGEM® desenvolvido pela Agência Americana de Proteção Ambiental (USEPA) e os cálculos energéticos foram realizados considerando-se a combustão de biogás em motores de combustão interna. As equações de correlação entre a potência do aproveitamento e a energia produzida em função da população foram determinadas e podem ser replicada para estudos preliminares em outras cidades.

Palavras-chave

Resíduos sólidos, Biogás, Aproveitamento energético.

EVALUATION OF THE POTENTIAL ENERGY OF SANITARY LANDINGS OF SIX BRAZILIAN CITIES**Abstract**

Nowadays, there is a great worldwide apprehension about fossil fuels - it being the most used and, however, closer to extinction, as the most polluting – so have being very invested in research and development of alternative energy sources, mostly the ones that be renewable. In view of this fact, also added the warning with the global increasing solid waste production, this work had as objective the analysis of the alternative energy which use the biogas generated by the decomposition of those solid waste in projections of 20 years to six pre-established cities (Niterói/RJ, Jundiaí/SP, Cascavel/MS, Dourados/MS, Ariquemes/RO e Vigia/PA), with different population. For the production of gas projection was used the software LandGEM® developed by United States Environmental Protection Agency (USEPA) and the energetic estimative has realized considering the combustion of biogas in gas microturbine. The equations of correlation between the power of exploitation and the produced energy depending on the population were determined and can be reply to other preliminary studies in other cities.

Keyword: Solid waste, Biogas, Energetic use.

INTRODUÇÃO

Resíduos sólidos são definidos, segundo a NBR 10004 (2004), como resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) visa os aspectos relacionados aos marcos legais da limpeza urbana, em especial da gestão e manejo dos resíduos sólidos no Brasil, estabelecendo princípios, objetivos, metas, ações, diretrizes e instrumentos economicamente

aplicáveis para a redução na geração de resíduos sólidos através de hábitos de consumo e produção sustentáveis, aumento da reciclagem, coleta seletiva e reutilização dos mesmos.

A PNRS, ainda, estabelece fins ambientalmente adequados tanto para os resíduos sólidos, sendo a passagem pelos processos de reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento, podendo ter destinações diferenciadas, caso essas tenham sido admitidas pelos órgãos competentes. Após a utilização, os então rejeitos, são distribuídos em aterros sanitários.

A geração total de resíduos sólidos no Brasil em 2014, segundo a ABRELPE (2015), foi de 78,6 milhões de toneladas por ano. Com pesquisas feitas pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2014 e, apesar da alta porcentagem de resíduos coletados, apenas aproximadamente 58,5% desses tem disposição adequada segundo as normas, ou seja, são dispostos em aterros sanitários.

Segundo a NBR 8419 (1983), aterro sanitário é um método adequado de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, receptando apenas resíduos de origem doméstica, varrição de vias públicas e comércios; não podendo receber resíduos de origem industrial – que devem ter destinação correta.

Ainda, de acordo com a NBR 8419, o intuito desse método é não causar danos à saúde pública e à sua segurança, assim como minimizar os impactos ambientais, como proliferação de vetores, riscos de contaminação do solo e o controle da poluição do ar. É possível, ainda, utilizando do processo de decomposição da matéria orgânica, aproveitar os gases gerados – o biogás – como fonte de energia.

De acordo com Batista (2007), o biogás é a mistura gasosa, combustível, resultante da fermentação anaeróbia da matéria orgânica, sendo constituída basicamente por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio e compostos orgânicos voláteis (SILVA *et al.*, 2013). Dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como carga orgânica, pressão e temperatura, o biogás pode conter entre 50% a 75% de metano.

O metano, principal componente do biogás possui um potencial de aquecimento global de vinte e um a até vinte e cinco vezes maior que o do dióxido de carbono, principal gás de efeito estufa. Em vista do problema ambiental com o lançamento direto do biogás na atmosfera, sua queima ajuda a mitigar possíveis impactos, principalmente se ocorrer de forma controlada (SILVA & SOEIRO, 2013).

Em países desenvolvidos, a recuperação do biogás produzido nessa decomposição para aproveitamento energético é uma prática comum – tanto pela minimização dos riscos de segurança, como pelo impacto ambiental (MMA, 2011). Apesar de no Brasil essa prática não ser muito propagada, nos Estados Unidos e no Reino Unido, por exemplo, foram criados programas de recuperação do metano que, em algumas décadas, tende a reduzir suas emissões em 50% ou mais, tendo um ganho econômico pelas emissões evitadas e pela recuperação e geração de energia a partir dessas (HENRIQUES, 2004).

Com o intuito de se desenvolver o aproveitamento energético de aterros sanitários no Brasil, o presente trabalho, então, propõe-se analisar o potencial disponível devido o aproveitamento energético do biogás gerado em aterros sanitários de cidades com diferentes populações através de projeções populacionais de 20 anos. O objetivo desta análise é estabelecer uma correlação entre potência e população que permita uma estimativa preliminar do potencial energético passível de ser obtido pela combustão do biogás produzido pela digestão anaeróbia dos resíduos de uma cidade com base na população ali residente.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia proposta se divide em dois segmentos: i) Cálculo de projeção populacional e crescimento de resíduos durante a operação do aterro sanitário; ii) Estimativa do aproveitamento energético do biogás do aterro sanitário.

i) Projeção populacional e de produção de resíduos

Para a projeção populacional, foi escolhida fazer a função logística para cada um dos municípios, durante um período de 20 anos. Foi feita essa escolha em razão dessa função apresentar um crescimento limitado, ou seja, não crescendo indefinidamente.

Considerando:

$$P_0 < P_1 < P_2$$

Tem-se as seguintes equações (QUASIM, 1998):

$$P_s = \frac{2P_0 \times P_1 \times P_2 - (P_1)^2 \times (P_0 + P_2)}{P_0 \times P_2 - (P_1)^2} \quad (1)$$

$$C = \frac{(P_s - P_0)}{P_0} \quad (2)$$

$$K_1 = \frac{1}{t_2 - t_1} \times \ln \left[\frac{P_0 \times (P_s - P_1)}{P_1 \times (P_s - P_0)} \right] \quad (3)$$

$$P_t = \frac{P_s}{1 + C \times e^{K_1(t-t_0)}} \quad (4)$$

Onde: P_s é a população de saturação; C é uma constante; K_1 é o coeficiente de crescimento logístico; t é o ano atual; P_t é a população estimada no ano t .

ii) *Estimativa do aproveitamento energético*

Conseqüentemente, foi usado o índice de geração de resíduos, retirado do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS, 2013) e acrescido 1% no valor para cada ano posterior (BARROS, 2013 *apud* SANTOS, 2015).

A partir desses dados, é possível calcular a geração total de resíduos por ano, em toneladas, através da equação 5:

$$R_t = \frac{365 \times (I_{ger_t} \times P_t)}{1000} \quad (5)$$

Onde: R_t é a geração de resíduos no ano t ; P_t é a população no ano t ; I_{ger_t} é o índice de geração de resíduos no ano t .

Na segunda parte, foram utilizados os dados de geração de resíduos no software LandGem®, que estimou a produção de biogás do determinado aterro para cada um dos municípios, para um período de 20 anos. Com esses dados, foi calculada a vazão passível de ser coletada e a potência disponível, através das fórmulas 6 e 7.

$$Q_{coletado} = Q_{biogás} \times \eta_{coletado} \quad (6)$$

$$P_{disponivel} = Q_{coletado} \times \eta \times PCI \quad (7)$$

Onde: Q_{coletado} é a vazão coletada de biogás em cada ano, em m^3/ano ; η_{coletado} é a eficiência de coleta, onde foi adotado o valor de 55,5% (Santos, 2015a *apud* Silva, 2013 Watermolen *et al.*, 2012); $P_{\text{disponível}}$ é a potência disponível por ano; η , rendimento da conversão energética; PCI significa poder calorífico do biogás, é igual a 22 [$\text{MJ}/\text{m}^3_{\text{CH}_4}$], de acordo com CETESB (2010).

A partir disso, foi encontrada a média da potência disponível para cada uma das cidades e, então, calculada a energia passível de ser produzida, através da fórmula 8.

$$E = P \times fc \times 8760 \quad (8)$$

Onde: E, energia disponível anualmente, em GWh; Fc, o fator de capacidade, valor adotado de 80%.

Esses valores encontrados, então, foram comparados com o número de habitantes para posterior análise de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisadas seis cidades, com populações próximas a 50.000, 100.000, 200.000, 300.000, 400.000 e 500.000 habitantes, sendo elas, respectivamente: Vigia (PA), Ariquemes (RO), Dourados (MS), Cascavel (PR), Jundiá (SP) e Niterói (RJ).

Utilizando as fórmulas 1, 2, 3 e 4 e dados históricos de população, obtidos através do IBGE, foi encontrada a projeção populacional para cada uma das cidades. A figura 1 apresenta o modelo de crescimento obtido.

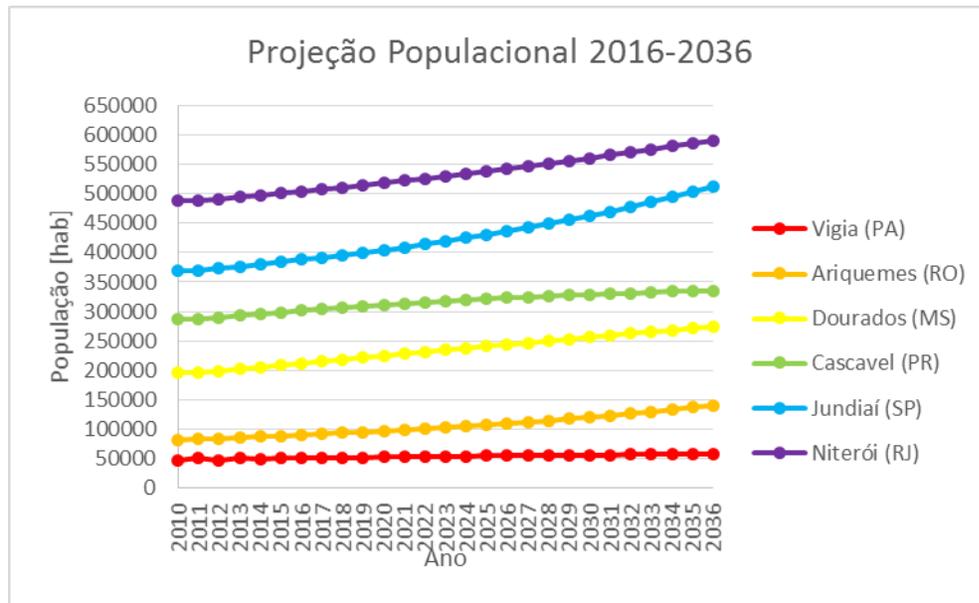


Figura 1. Projeção populacional 2016-2036 para as cidades de Niterói (RJ), Jundiaí (SP), Cascavel (PR), Dourados (MS), Ariquemes (RO) e Vigia (PA).

Pela figura 1 é possível verificar que a tendência da projeção, conforme o aumento dos anos, é diminuir o crescimento e se aproximar da estabilização populacional, principalmente no caso de cidades com poucos habitantes, como é o caso de Vigia (PA), que teve um crescimento próximo a 7 mil habitantes, nos 20 anos de análise.

Jundiaí (SP) destoou em relação a crescimento, comparado com as outras cidades. Um dos possíveis fatos para explicar isso seria sua localização. A cidade é situada entre dois grandes polos: São Paulo e Campinas. A tendência da população, com o crescimento desses polos, é a maior procura por cidades próximas a fim de moradia, tendo-se a chamada população pendular. A partir dos dados de população e do índice de geração de resíduos específico para cada uma das cidades, obtido através de dados do SNIS (2013) – e acrescido de 1% ao ano, conforme Barros *et al.* (2014) –, foi possível calcular a geração de resíduos anual, pela fórmula 5. Com os resultados obtidos dessa geração, foi criado uma linha de tendência entre essas e as população de cada cidade, apresentada na figura 2.

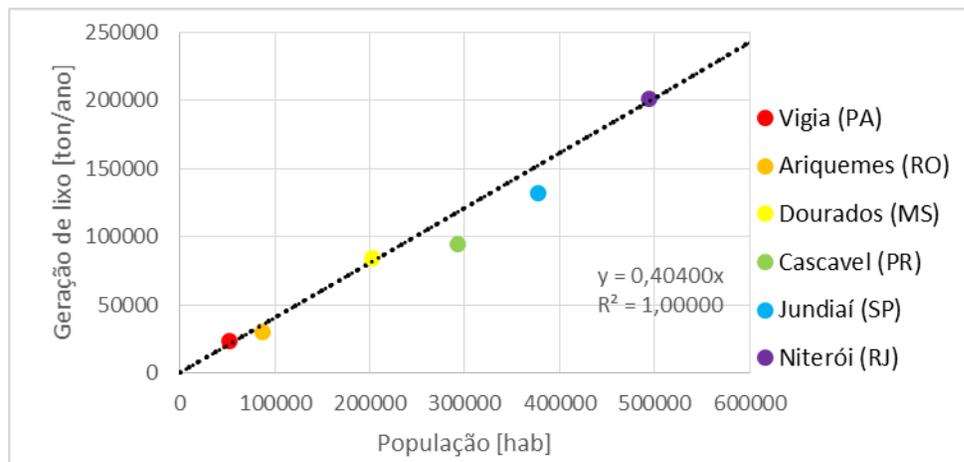


Figura 2. Comparação entre número de habitantes e geração de resíduos sólidos anuais.

Comparando a figura 2 com a linha de tendência de geração de resíduos das cidades, é possível constatar que, com exceção de Niterói (RJ), Dourados (MS) e Vigia (PA), as cidades possuem gerações de resíduos sólidos dentro ou abaixo da linha de referência.

Com o desenvolvimento do país, existe a tendência de aumento nessa geração, como pode ser verificada em países ricos, pois há maior acesso à renda, aumentando o consumo e, conseqüentemente, a produção de resíduos.

Através dos dados de geração total de resíduos por ano, o software LandGem® consegue calcular a vazão de biogás, em m³/ano, produzida em cada ano, até essa quase se extinguir. Essas fórmulas levam em consideração os seguintes parâmetros selecionados no próprio software: a constante de geração de metano, que foi usado o valor 0,05 por ano, e o potencial de geração de metano por tonelada de lixo, que foi usado o valor convencional de 170 m³/Mg.

Considerando os dados obtidos pelo software e utilizando a fórmula 6, é possível calcular a vazão de metano, em m³/ano, passível de ser coletada e, através desses dados e da fórmula 7, calcular a potência disponível anualmente, em kW. A figura 3 apresenta a desenvoltura da potência com o passar dos anos, para cada uma das cidades.

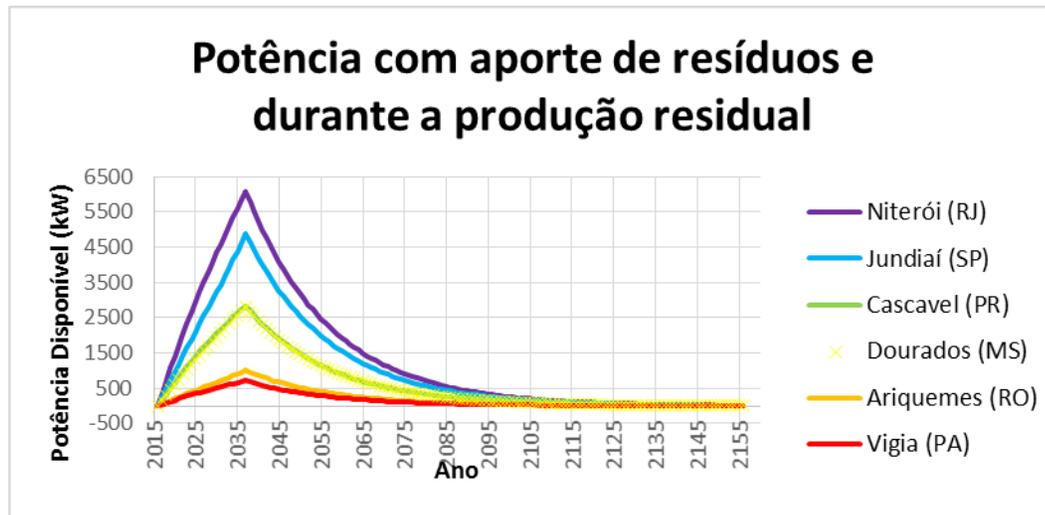


Figura 3. Comparação da potência com aporte de resíduos e da potência durante a produção residual das diferentes cidades.

A curva que apresenta crescimento é a potência gerada durante o período de aporte de resíduos no aterro, enquanto que a que decresce é potência gerada durante a produção residual, ou seja, após o fechamento do aterro, gerada com os resíduos lá existentes, sem acréscimo.

A partir da figura 3, é possível verificar que a curva da potência apresenta um pico no ano de 2037 – ocorrendo no mesmo ano para todas as cidades –, pois é o ano posterior do fechamento do empreendimento, ainda havendo grande aporte de resíduos e decomposição.

Foi feita, então, a média entre as potências do período de aporte de resíduos, para cada uma das cidades e, a partir dessas potências disponíveis, foi calculada a energia média passível de ser produzida pelo biogás gerado para cada uma das populações. Segue na tabela 1 e, posteriormente, a figura 4, contendo os dados obtidos para cada uma das cidades a fim de comparação.

Tabela 1. Dados de população, potência máxima, potência média e energia produzida, para cada uma das cidades.

Cidade	População Média (habitantes)	Potência Máxima (MW)	Potência Média (MW)	Energia (GWh/ano)
Niterói (RJ)	542345	6,0841	3,5207	24,6734
Jundiaí (SP)	435991	4,8837	2,5573	17,9215
Cascavel (PR)	323087	2,8382	1,5068	10,5594

Dourados (MS)	243937	2,8017	1,4798	10,3706
Ariquemes (RO)	110099	1,0042	0,5284	3,7029
Vigia (PA)	55337	0,7107	0,3768	2,6408

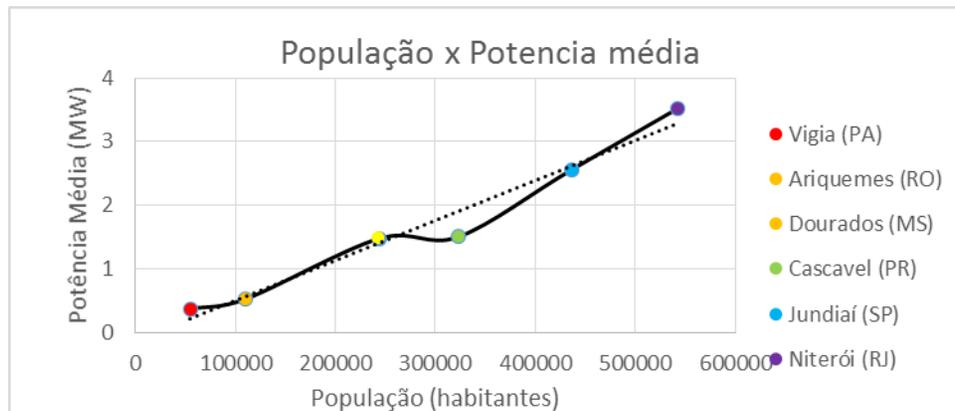


Figura 4. Comparação entre o número de habitantes e a potência média disponível gerada

É possível verificar que em uma comparação entre a potência média e a população, cada habitante é responsável pela produção de cerca de 5,3 W dessa potência.

Ainda, tem-se que conforme houve o crescimento da população, também houve o aumento na potência, conseqüentemente. Porém, houveram três cidades que apresentaram um crescimento fora curva: Vigia (PA), Cascavel (PR) e Niterói (RJ).

No caso de Vigia (PA) e Niterói (RJ), a potência foi superior à linha de tendência, ou seja, a produção de resíduos durante os 20 anos analisados foi superior que o esperado, possivelmente por apresentarem altos índices de geração de resíduos. Enquanto que, Cascavel (PR), apresentou-se muito abaixo na curva – no mesmo nível de Dourados (MS), considerando sua população de 300 mil habitantes com uma de 200 mil –, porém seu índice de geração de resíduos, comparado com o das demais cidades, é muito inferior, explicando, assim, a baixa média de produção de resíduos.

Considerando, ainda, os dados de energia produzida presentes na tabela 2, pode-se compará-los com o uso de energia per capita do Brasil, que é 0,548 GWh/ano (World Energy Council, 2010 *apud* Shrink That Footprint [s.d.]), e determinar o número de habitantes que se abasteceriam dessa energia gerada, como mostra a tabela 2.

Tabela 2. Número de habitantes que seriam abastecidos pela energia gerada de resíduos em cada uma das cidades.

Cidade	Número de Habitantes
Niterói (RJ)	45024
Jundiaí (SP)	32703
Cascavel (PR)	19268
Dourados (MS)	18924
Ariquemes (RO)	6757
Vigia (PA)	4818

É possível, ainda, verificar a quantidade de domicílios que essa mesma energia abasteceria.

De acordo com dados do IBGE (2010), no período de 2000-2010, a média de habitantes por residência era de 3,34. Considerando esse dado, a tabela 3 apresenta o número de domicílios.

Tabela 4. Número de domicílios passíveis de serem atendidos com a energia gerada por resíduos em cada uma das cidades.

Cidade	Número de Domicílios
Niterói (RJ)	13480,38
Jundiaí (SP)	9791,46
Cascavel (PR)	5768,16
Dourados (MS)	5666,01
Ariquemes (RO)	2023,1
Vigia (PA)	1442,81

CONCLUSÕES

O presente trabalho procurou estimar uma análise quantitativa da produção energética a partir de resíduos sólidos destinados a aterros sanitários, tomando como base cinco cidades com populações definidas por dados históricos do IBGE. Pode-se verificar a diferença de produção energética entre as cidades.

As principais conclusões obtidas a partir deste estão listadas abaixo.

- i) A potência média nunca será igual ou superior à máxima, pois essa não ocorre durante todo o funcionamento do empreendimento. A razão entre essas duas potências, como uma média dos cálculos apresentados, tem o valor de 54%, sendo que a menor apresenta valor igual a 52% e a maior igual a 58%. A razão entre essas duas potências, também, nunca será igual a zero, pois sempre existirá uma potência de funcionamento.
- ii) Através da comparação entre a potência média e a população média, é possível verificar que cada habitante, com sua contribuição de resíduos sólidos para o aterro sanitário, gera cerca de 5,3 W para produção energética;
- iii) Comparando os resultados obtidos para cada uma das cidades, é possível verificar que o uso índice de geração de resíduos, real e específico para cada cidade, interfere nos resultados esperados, fazendo com que a generalização de que “quanto maior a população, maior a potência/energia passível de ser gerada” não ocorra em todos os casos.
- iv) O número de habitantes atendidos pela energia gerada ao ser comparado com o número total de habitantes de cada cidade varia de 5,96% (Cascavel/PR) a 8,71% (Vigia/PA).

Desta análise, percebe-se que a energia provinda do aproveitamento do biogás, pode ser atrativa em relação à quantidade de matéria prima para essa produção, contudo os cálculos apresentados consideraram apenas uma potência média de produção, sem picos positivos ou negativos de produção.

Para que projetos de aproveitamento energético em aterros sanitários existam na prática, e com possibilidade de rentabilidade, as políticas públicas necessitam de maior importância e, essas devem ser atreladas a ensino de educação ambiental, a fim de que realmente tenha uma otimização na coleta seletiva, na destinação correta do resíduo e responsabilidade social dos cidadãos para com o meio ambiente.

É possível, ainda, criar consórcio entre cidades menores para criação de aterros em conjunto, proporcionando maior quantidade de resíduos e, conseqüentemente, viabilizando um projeto de aproveitamento energético mais rentável.

AGRADECIMENTOS

Agraço a minha família, que sempre foi meu porto seguro durante esse longo percurso, me guiando e apoiando em todas as decisões. Assim como os meus amigos, que sempre estavam ao meu lado, independente do momento.

Agradeço a meus professores, por me darem a base de conhecimento necessária, e, em especial, o professor Ivan Felipe Silva dos Santos, meu orientador, por todo o auxílio, orientação e paciência.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, [2015].

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1983.

BARROS, R. M. *et al.* The electric energy potential of landfill biogás in Brazil. **Elsevier**, v.65, p. 150-164, 2014.

BATISTA, P. S. **Geração Biogás e Fertilizantes Orgânico**. Lavras, 2007.

BRASIL. **Ministério das Cidades, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2014**. Brasília, 2016.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. CETESB: **Manual de Operações de Aterro Sanitário em Valas**. São Paulo, 2010.

FERNANDES, G. L. **Aproveitamento energético do biogás de aterros sanitários: Um estudo de viabilidade econômica em função da população**. Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Itajubá (MG), 2016.

FIRMO, A. L. B. *et al.* **Avaliação do Potencial de Geração de Biogás dos Componentes dos Resíduos Sólidos Urbanos do Aterro da Muribeca**. In: 3º Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos e 2º Seminário da Região Nordeste sobre Resíduos Sólidos. 2010.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica**. Rio de Janeiro, 2004.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - 2008**. Rio de Janeiro, 2008.

LANDIM, A. L. P. F.; AZEVEDO, L. P. de. O aproveitamento energético do biogás em aterros sanitários: unindo o inútil ao sustentável. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 27, 2008.

MACHADO, G. B. **Lei 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos**. In: Portal Resíduos Sólidos. Disponível em: < <http://www.portalresiduossolidos.com/lei-12-3052010-politica-nacional-de-residuos-solidos/>>. Acesso em: 16 jul. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil – BRA/OEA/08/001: Proposta Preliminar do Produto sobre os Sistemas Elétricos em Geral e com Aproveitamento Energético do Biogás de Aterro Sanitário ou de Biodigestores no Brasil**. Rio de Janeiro, 2011.

NÓBREGA, L. G. Estudo do potencial de produção de biogás e energia por meio de resíduos orgânicos no Brasil. **Trabalho Final de Graduação**. Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Itajubá (MG), 2016.

PEDOTT, J. G. J.; AGUIAR, A. O. Biogás em Aterros Sanitários: Comparando a Geração Estimada com a Quantidade Validade em projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. **Holos**. v4, 2014.

Portal: Shrink that footprint. **Average household electricity use around the world**. Disponível em: <<http://shrinkthatfootprint.com/average-household-electricity-consumption>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

SANTOS, I. F. S. dos. Proposta de um método para a motorização de aterros sanitários para fins de geração de energia elétrica. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal de Itajubá (MG), 2015.

SANTOS, I. F. S. *et al.* **Uso de biogás de aterros sanitários para geração de eletricidade: um estudo dos custos de implantação**. In: XI Latin-American Congress Electricity Generation and Transmission – CLAGTEE, 2015, São José dos Campos. Disponível em: <<http://www.researchgate.net/publication/283901860>>. Acesso em: 10 out. 2016.

SILVA, R. J.; SOEIRO, E. C. Viabilidade da Utilização do Biogás como Fonte Alternativa de Energia. **RUNPetro**, a. 2, n. 1, out2013/mar2014, p 34.

SILVA, T. N. *et al.* Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 2, 2013, p 95-104.

ZANETTE, A. L. Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. **Dissertação de Mestrado**, Universidade Federal do Rio de Janeiro (RJ), 2009.

ZALUF, M. **Geração com biogás de aterros de lixo**. In: Dossiê: Energia positiva para o Brasil, 2004. Disponível em: < <http://www.greenpeace.org.br/>>. Acesso em: 22 set. 2016.