



ESTUDO DO POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS DO ATERRO SANITÁRIO EM MARECHAL CÂNDIDO RONDON: ASPECTOS ENERGÉTICOS E DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA COLETA SELETIVA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.IV-027>

Ricardo Morel Hartmann*, Luis Evelio Garcia Acevedo, Marcos Chaves, Luan Carlos Covalski Cozer, Douglas André Roesler

* Universidade Federal da Integração Latino-americana, Engenharia de Energia, Grupo de Pesquisa em Mobilidade e Matriz Energética, Foz do Iguaçu/PR. ricardo.hartmann@unila.edu.br.

RESUMO

A temática dos resíduos sólidos urbanos (RSU) foi abordada neste trabalho analisando-se aspectos de produção de energia e potencial das cadeias de inovação tecnológica. Foi analisada a produção de biogás no aterro sanitário em Marechal Cândido Rondon (MCR) obtendo-se um resultado considerado promissor, consistindo da medição de fração de metano de 68,5 %. Realizou-se cálculos de projeção de produção de biogás para a vida útil de 100 anos do aterro sanitário Marechal Cândido Rondon, aplicando o modelo de Scholl-Canyon. Obteve-se curva de projeção com pico de produção de $1,5 \times 10^6$ m³ de biogás para o ano de 2032. Isto equivale a aproximadamente 903 toneladas de GLP por ano, com economia de aproximadamente R\$ 6,94 milhões de reais/ano ao município de MCR pela substituição de GLP pelo biogás. Os trabalhos contemplaram estudos de processos energéticos alternativos, consistindo da instalação de grupo motogerador de 74 kVA para geração de energia elétrica utilizando o biogás produzido no aterro sanitário. Para aumentar a produtividade do sistema de geração de energia elétrica, está em testes pelo município, um sistema de coleta seletiva de resíduos orgânicos, consistindo de uma importante inovação de processo tecnológico para a cadeia de coleta, processamento e aproveitamento de resíduos orgânicos no município. Os valores calculados de produção de biogás no aterro sanitário foram comparados com projeções de produção de biogás em biodigestores dedicados, alimentados com a coleta seletiva através dos novos caminhões adquiridos para coleta de orgânicos, obtendo-se resultados de produção de biogás em torno de 250 % acima do que seria produzido no aterro sanitário. Com isso, confirma-se que a coleta seletiva de resíduos orgânicos tem um elevado potencial energético para produção de biogás, esperando-se assim aumentar a eficiência energética da cidade de MCR, consolidando também a cadeia de inovação tecnológica no setor.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos urbanos, biogás, inovação tecnológica, energia renovável, aterros sanitários.

ABSTRACT

The issue of municipal solid waste (MSW) was addressed in this work by analyzing aspects of energy production and potential of technological innovation chains. The production of biogas in the sanitary landfill in Marechal Cândido Rondon (MCR) was analyzed, obtaining a result considered promising, consisting of the measurement of a methane fraction of 68.5%. Biogas production projection calculations were carried out for the 100-year useful life of the Marechal Cândido Rondon landfill, applying the Scholl-Canyon model. A projection curve was obtained with a peak production of 1.5×10^6 m³ of biogas for the year 2032. This is equivalent to approximately 903 tons of LPG per year, with savings of approximately R\$ 6.94 million reais/year for the municipality of RCM by replacing LPG with biogas. The work included studies of alternative energy processes, consisting of the installation of a 74 kVA motor-generator group to generate electricity using the biogas produced in the landfill. To increase the productivity of the electricity generation system, the municipality is testing a system for the selective collection of organic waste, consisting of an important technological process innovation for the chain of collection, processing and energetic utilization of organic waste in the city. The calculated values of biogas production in the landfill were compared with projections of biogas production in dedicated biodigesters, fed with the selective collection through the new trucks acquired for the collection of organics, obtaining results of biogas production around 250 % above what would be produced in the landfill. With this, it is confirmed that the selective collection of organic waste has a high energy potential for biogas production, increasing so the energy efficiency of the city of MCR, also consolidating the chain of technological innovation in the sector.

KEY WORDS: Municipal solid waste, biogas, technological innovation, renewable energy, landfills.



INTRODUÇÃO

O crescimento na geração de RSU conforme o aumento da população brasileira e na América Latina faz com que sejam necessárias cada vez mais áreas para a correta destinação dos resíduos sólidos urbanos, onde se destacam os aterros sanitários, sendo também este crescimento na geração dos resíduos uma fonte de preocupação para gestores e a população em geral. É fato que o tema dos RSU é um dos principais desafios das cidades no século XXI. Um estudo publicado pelo Banco Mundial [1] estima que no ano de 2050, 9 entre cada 10 habitantes da América Latina viverão em cidades. Isto implicará uma quantidade crescente na geração de RSU e conseqüente aumento na necessidade por serviços públicos relacionados com coleta, transporte, separação e correta destinação destes resíduos. Por isso, a correta destinação e aplicação em economia circular para os resíduos, a exemplo de geração de energia elétrica com biogás dos aterros sanitários, é uma alternativa que tem se mostrado muito valorizada por pesquisadores nas universidades, setor industrial e pela população em geral. Além disso, é necessário avaliar o impacto do correto manejo dos resíduos orgânicos e da geração de energia renovável com esta biomassa, calculando o impacto de sistemas eficazes no aumento da eficiência termodinâmica das cidades sob análise. Hartmann, Garcia-acevedo & Bazzo [2] avaliaram o impacto da correta separação dos RSU em Florianópolis em 2018, obtendo um aumento na eficiência termodinâmica da cidade em torno de 1,5 %, o que representa economia de aproximadamente 5.219 toneladas de GLP por ano devido a utilização de biogás produzido em biodigestores alimentados com resíduos orgânico devidamente separado na cidade. Em termos de CO₂, a correta separação e utilização de resíduos orgânicos na cidade para geração de biogás tem o potencial de evitar a emissão de 16.671 toneladas de CO₂ fóssil por ano. Lembrando que a cidade de Florianópolis tem aproximadamente 500 mil habitantes, a correta separação de resíduos orgânicos e posterior produção de biogás em biodigestores tem o potencial de reduzir a emissão de em 33 kg CO₂ / ano-habitante. Em 2022 Hartmann e Garcia-Acevedo [3] publicaram um aprofundamento do estudo de 2019, analisando 5 diferentes cidades no mundo: Florianópolis e Foz do Iguaçu no Brasil, o arquipélago do Havai nos EUA, Ingolstadt na Alemanha e a cidade-estado de Cingapura no sudoeste da Ásia. Foram obtidos resultados similares comparando os trabalhos publicados em 2019 e 2022, com destaque para o aumento de 47 para 53 % da eficiência termodinâmica de Ingolstadt na Alemanha pela correta separação e uso dos resíduos orgânicos municipais para geração de energia.

OBJETIVOS

O principal objetivo do deste trabalho foi aplicar as metodologias termodinâmicas de avaliação de cidades contemporâneas para avaliar o impacto da utilização de metodologias de inovação tecnológica na cadeia de coleta, transporte, disposição e utilização energética de resíduos sólidos urbanos na cidade de Marechal Cândido Rondon, localizada no oeste do Paraná.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização dos trabalhos foram utilizadas a infraestrutura de casa de máquinas e biogás do aterro sanitário de Marechal Cândido Rondon/PR e um grupo motogerador para geração de energia elétrica. O GMG é composto de motor a combustão interna do ciclo Otto marca General Motors Vortec V8, com potência máxima de [155hp@3000rpm](#). O gerador elétrico utilizado foi um marca WEG série GTA com potência elétrica nominal de [74kVA@1800rmp](#), painel de controle e comando marca Woodward modelo EasyGen 100 kVA. Para análise da composição do biogás foi utilizado um analisador de gases portátil marca Landtec GEM 5000. Além disso foram utilizadas informações técnicas da prefeitura municipal de MCR, no que se refere ao sistema de coleta seletiva de resíduos orgânicos, dos caminhões utilizados e dados sobre a coleta convencional de RSU realizada diariamente no município e que atualmente são destinados ao aterro sanitário. Foram utilizados também dados de modelos de produção de biogás em aterros sanitários obtidos na literatura bem como dados comparativos publicados por outros grupos de pesquisa sobre produção de biogás utilizando-se resíduos orgânicos.

RESULTADOS OBTIDOS

Em março de 2022 foram realizados testes de composição de biogás e estabilidade de chama no aterro sanitário em Marechal Cândido Rondon. O biogás testado no aterro em em Marechal Cândido Rondon teve a seguinte composição: 68,3 % de metano, 31,7 % de CO₂, 11 ppm de ácido sulfídrico (H₂S) e 22 ppm de monóxido de carbono CO. Em reuniões de projeto posteriores foram feitas análises técnicas acerca do levantamento e cálculos da quantidade média de RSU depositado no aterro sanitário em MCR, obteve-se o valor médio de 26 toneladas RSU/dia para o ano de 2022.



Com isso foi possível obter uma curva de projeção de produção de biogás por ano no aterro sanitário no município de MCR. Utilizou-se o modelo de Scholl-Canyon, com os resultados mostrados na figura 1.

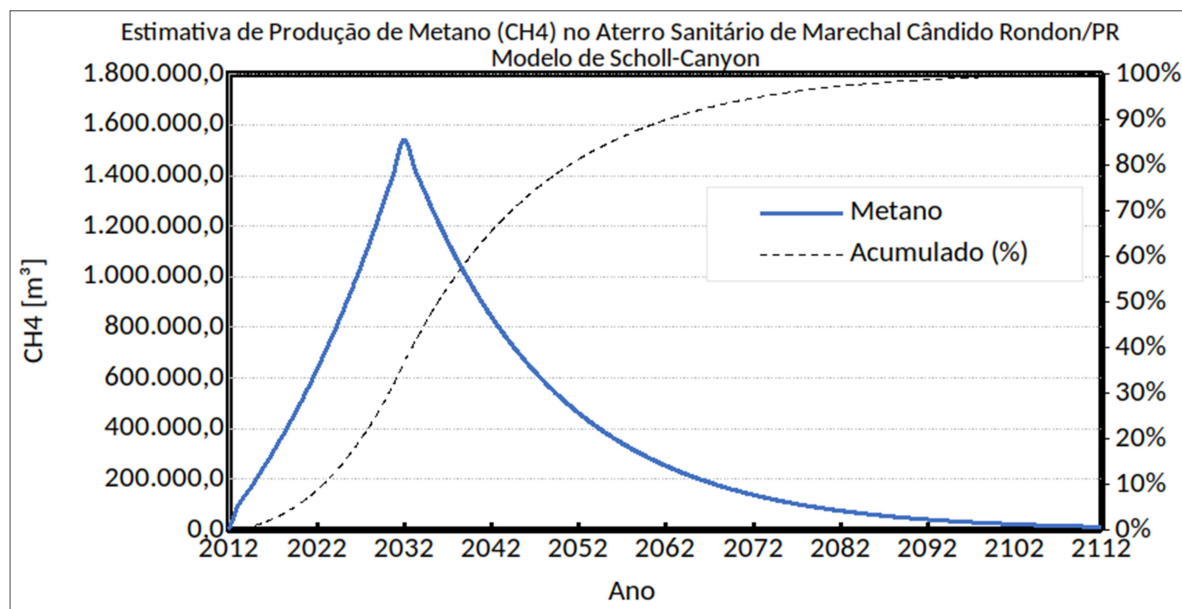


Figura 1: Resultados da projeção de produção de biogás no aterro sanitário em Marechal Cândido Rondon/PR, aplicando-se o modelo de Scholl-Canyon. Fonte: Autores do Trabalho.

Observa-se na figura 1 a curva de projeção de produção de biogás, onde o pico de produção está indicado para o ano de 2032 com produção de aproximadamente $1,5 \times 10^6$ m³ de biogás. Caso este biogás gerado considerando fração de 65 % de metano fosse utilizado para substituir o combustível GLP, seria possível uma substituição equivalente a aproximadamente 903 toneladas de GLP por ano, com economia financeira em torno R\$ 6,94 milhões de reais/ano ao município de MCR pela substituição de GLP pelo biogás, considerando o preço médio de R\$ 100,00 pelo botijão de 13 kg, ou 7,69 R\$/kg de GLP (preços de dezembro de 2022).

Este resultado representa economia de quase 7 milhões de reais por ano, e foi um dos fatores que motivou a prefeitura de MCR a estruturar um projeto amplo para implementação de coleta seletiva de resíduos orgânicos no município, configurando-se como exemplo de inovação efetiva na cadeia tecnológica para a correta utilização energética de RSU nos municípios brasileiros.

Análise do Processo de Inovação Integrada às Rotas Tecnológicas de Coleta Seletiva de RSU e Orgânicos

As discussões técnicas com a subsequente absorção de conceito importantes de inovação tecnológica por parte dos gestores municipais do município de MCR, resultaram na concepção de um modelo veicular do tipo caminhão Diesel para coleta seletiva de resíduos orgânicos. A figura 2 mostra o caminhão adquirido pela prefeitura de MCR e construído por uma empresa metalúrgica na área de fabricação de veículos para transporte de carga.



Figura 2: Foto do caminhão desenvolvido pela prefeitura de MCR para coleta seletiva de resíduos orgânicos. Fonte: Autores do Trabalho.

Os detalhes mecânicos do projeto do caminhão para coleta seletiva de resíduos orgânicos mostrado na figura 2 foram pensados de tal modo a facilitar e estimular a população para realizar a correta separação de resíduos orgânicos nos domicílios. Os custos do caminhão adquirido pela prefeitura municipal de MCR mostrados na figura 2 são similares ao custos de um caminhão de coleta comum: em torno de R\$ 300.000,00.

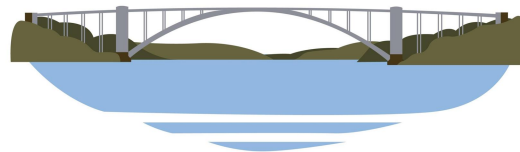
Para se fazer a comparação teórica entre a produção de biogás com biodigestores dedicados com a produção de biogás nos aterros sanitários, foi feita uma pesquisa na literatura técnica. Os trabalhos de Zhang et all. [4] e Kondusamy & Kalamdhad [5] indicaram que é possível produzir cerca de 300 litros de biogás para cada kg de resíduos orgânico. Estes valores podem ser maiores dependendo do tipo e da configuração dos biodigestores, podendo chegar até a 400 litros de biogás para cada kg de resíduo orgânico. A tabela 1 abaixo mostra os dados utilizados para se fazer os cálculos de produção de biogás em biodigestores dedicados.

Tabela 1. Dados utilizados para calcular projeções de produção de biogás utilizando biodigestores dedicados no município do MCR. Fonte: Os autores.

Produção diária de RSU em MCR em 2022 [ton/dia]	26
Fração de orgânicos no RSU em MCR [%]	45,6
Produtividade biogás [Nm ³ biogás / kg resíduo] [4, 5]	0,3
Produção biogás em 2022 [Nm ³ biogás / dia]	3.517,8
Produção biogás em 2022 [Nm ³ biogás / ano]	1.283.997
Equivalente energia biogás em 2022 [GJ / ano]	38.519,9
Equivalente energia em óleo diesel em 2022 [m ³ / ano]	1078
Economia Equivalente em óleo diesel em 2022 [M R\$ / ano]	5,394

Os dados mostrados na tabela acima foram calculados considerando o poder calorífico do metano como sendo $PCI_{CH_4} = 50$ MJ/kg e para o óleo Diesel é de $PCI_{Diesel} = 42,5$ MJ/kg. Além disso, utilizou-se a fração de metano de 65 % para as projeções de biogás produzido em biodigestores dedicados a resíduos orgânicos selecionados nas residências.

Os resultados da tabela 1 comparados com os resultados mostrados na figura 1 mostram que no cenário onde ocorra separação dos resíduos orgânicos a nível de residências, a produção de biogás para o ano de 2022 seria de 1.283.997 Nm³ de biogás contra projeções de aproximadamente 500.000 Nm³ de biogás produzido no aterro. Ou seja, a correta separação de resíduos orgânicos tem o potencial de produzir 2,5 vezes mais biogás, ou uma produtividade de 250 % acima do aterro sanitário.



Esta diferença de cenários de produção de biogás representaria aproximadamente R\$ 3 milhões por ano com economia de equivalente óleo Diesel, considerando o preço do óleo Diesel a 5,00 R\$/litro. Com esta economia anual seria possível financiar toda a estrutura de caminhões para a coleta dedicada de resíduos orgânicos bem a estrutura de biodigestores, filtros e planta industrial relacionada com a produção de biogás.

Assim, verifica-se que os resultados teóricos de economia financeira com a produção de biogás de resíduos orgânicos apresenta-se como ferramenta eficaz para promover a inovação tecnológica na cadeia de coleta e utilização de RSU que pode ser ampliada ou aplicada em outros municípios brasileiros.

CONCLUSÕES

A obtenção de resultados de fração de metano em 65 % e de projeção de biogás para toda vida útil do aterro com pico de produção de 1,5 milhões de m³ para o ano de 2032 são significativos subsídios para estimular e consolidar inovações no processo tecnológico de coleta, destinação e aproveitamento energético de RSU em Marechal Cândido Rondon/PR. Projeções de substituição do combustível GLP pelo biogás produzido no aterro sanitário do município mostraram um potencial de economia de aproximadamente 6,94 milhões de R\$/ano para o ano de 2032. Os valores calculados de produção de biogás no aterro sanitário foram comparados com projeções de produção de biogás em biodigestores dedicados, alimentados com a coleta seletiva através dos novos caminhões adquiridos para coleta de orgânicos, obtendo-se resultados de produção de biogás em torno de 250 % acima do que seria produzido no aterro sanitário. Com esta economia é possível financiar uma nova usina dedicada a produção de biogás utilizando biodigestores otimizados, o que pode resultar na produção de biometano com alto valor agregado no mercado energético nacional. Os caminhões para coleta seletiva de resíduos orgânicos já foram incorporados a frota de veículos do município de MCR e em breve será possível ter dados de CAPEX e OPEX em conjunto para coleta seletiva de resíduos orgânicos no município. Os resultados do projeto analisados mostraram que a avaliação técnica de engenharia, aliada a aplicações de princípios de inovação tecnológica sincronizados com uma gestão municipal disposta a aplicar inovações resulta em bons resultados para o município e para a população. Isto foi constatado no município de MCR que configura-se atualmente como destaque entre os municípios no Brasil no que se refere ao adequado manejo de RSU bem como aplicação de práticas tecnológicas inovadoras e eficientes disponíveis na engenharia ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a *Fundação Araucária* de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA), por meio do NAPI – Novos Arranjos de Pesquisa e Inovação – Oeste do Paraná pelas bolsas de iniciação científica e de pesquisador, bem como agradecem a prefeitura municipal de MCR pela parceria técnica e acesso as informações sobre o sistema de coleta e disposição de RSU no município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. 2018. What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.
2. Hartmann R. M., Acevedo L. E. G., Bazzo E. Assessment of municipal solid waste management system using a mixing index as indicative for urban sustainability analysis. In: Stanek W, Gladysz P, Werle S, Adamczyk W, editors. Proc. ECOS 2019 - 32nd Int. Conf. Effic. Cost, Optim. Simul. Environ. Impact Energy Syst., Wroclaw;
3. Hartmann R. M., Acevedo L. E. G., Thermodynamic assessment of cities applying exergetic efficiency as evaluation index, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Volume 50, March 2022, 101801;
4. Cunsheng Zhang, Haijia Su, Jan Baeyens, Tianwei Tan, Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production, Renewable and Sustainable Energy Reviews 38 (2014) 383-392;
5. Dhamodharan Kondusamy, Ajay S. Kalamdhad, Pre-treatment and anaerobic digestion of food waste for high rate methane production – A review, Journal of Environmental Chemical Engineering 2 (2014) 1821-1830.