

ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DESCARTADOS POR UM MERCADO EM JUAZEIRO DO NORTE

Rodolfo José Sabiá

rodolfo.sabia@urca.br

Mariane Leite de Souza

marianee.leitee@outlook.com

Valéria Dos Santos Turbano

valeriaturbano@gmail.com

Janaina Gomes de Melo

janaiinamelo@hotmail.com

Geraldo Souza

j.geraldo55@live.com



Grandes quantidades de resíduos que podem ser reaproveitados são descartados antes mesmo de serem tratados e destinados de forma adequada. A digestão anaeróbia é uma alternativa para o aproveitamento desses resíduos, visto que ela os transforma em biogás e biofertilizante. O biogás é composto principalmente por metano e gás carbônico, ele pode ser utilizado para queima, geração de energia elétrica entre outras aplicabilidades. Neste contexto a digestão anaeróbia se mostra como uma alternativa promissora, com isso o presente trabalho teve por objetivo analisar o potencial teórico da produção de biogás e seu potencial energético utilizando a metodologia estabelecida pelo Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC, 2006) a partir de resíduos orgânicos alimentares provenientes do Mercado Público Governador Gonzaga Mota na cidade de Juazeiro do Norte – CE. Os dados levantados indicaram uma média de geração de resíduos diários de 7.336,53 kg com uma estimativa de produção de gás de 8,94 m³/dia.

Palavras-chave: BIOGÁS, Resíduos sólidos, Potencial energético

1. Introdução

A geração de resíduos nos aglomerados urbanos vem acompanhando o crescimento da população e dos seus padrões de consumo, além do avanço econômico e tecnológico. Esta é uma das principais preocupações da humanidade em termos ambientais na atualidade; visto que a ineficiente gestão dos resíduos sólidos pode resultar em problemas urbanos, sanitários e ambientais (PERUNCHIN, 2013).

A Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010, que define a Política Nacional de Resíduos Sólidos (RS), os municípios e estados passaram a ter limitações quanto ao tipo de destinação dos resíduos e às emissões de gases responsáveis pelo efeito estufa decorrente destas opções.

Em Juazeiro do Norte, um dos empreendimentos com maior geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) é o Mercado Público Governador Gonzaga Mota conhecido como Mercado do Pirajá, a produção de resíduos gerados diariamente é de aproximadamente 7.336 kg/dia (SILVA, 2016).

Para Gouveia (2012), é de extrema importância para a preservação do meio ambiente, assim como para a promoção e proteção da saúde humana realizar o manejo adequado dos resíduos, uma vez que o não tratamento dos RSU pode causar sérios impactos socioambientais negativos. Uma solução atrativa é a digestão anaeróbia, tendo destaque à produção de biogás. O biogás fornece uma transportadora versátil de energia renovável, ele pode ser usado para a substituição de combustíveis fósseis na produção de energia e calor, e pode ser usado também como combustível de veículo gasoso. O biogás rico em metano (biometano) pode substituir também o gás natural como matéria-prima para a produção de produtos químicos e materiais (WEILAND, 2010).

A partir dos dados acima se observou a oportunidade de pesquisa com o objetivo de avaliar a produção de metano e o potencial energético dos resíduos orgânicos descartados no Mercado Público Governador Gonzaga Mota.

2. Metodologia

Primeiro realizou-se uma revisão bibliográfica a fim de obter maiores conhecimentos sobre o tema abordado nessa pesquisa, depois foi feito um levantamento de dados para quantificar os resíduos gerados no Mercado Público Governador Gonzaga Mota.

Para avaliação da geração de metano utilizou-se a metodologia indicada pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006), esta metodologia mensura as emissões de CH₄, na atmosfera. Para esta pesquisa, utilizou-se a equação (1), que é utilizada para resíduos orgânicos, com o intuito de calcular emissões do metano provenientes da digestão anaeróbia.

$$CH_4_{emissões} = \sum (M_i \times EF_i) \times 10^{-3} \quad (1)$$

Onde:

CH₄ emissões= Emissões de CH₄ (kgCH₄);

M_i = Massa de resíduo orgânico do tipo comercial (kg);

EF_i = Fator de emissão para o tratamento anaeróbio (g CH₄/kg resíduo tratado);

O fator de emissão, segundo IPCC pode variar de 0 a 8 g CH₄/kg resíduo tratado, não sendo possível definir o fator, recomenda-se usar 0,8, esse fator representa a quantidade de gás metano produzida a partir da quantidade de resíduo a ser processada.

Para estimar o potencial energético do metano produzido a partir dos RSU deve-se levar em consideração alguns pontos:

- O metano quando puro e em condições normais de pressão e temperatura (CNTP, 0°C e 1 atm), o metano tem um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kwh/m³;
- O biogás com o teor de metano entre 50-80% terá um PCI entre 4,95- 7,92 kwh/m³;
- A eficiência de conversão do biogás em energia elétrica com grupos geradores (motores ciclo Otto) é de aproximadamente 25% (CCE, 2000).

3. Referencial Teórico

3.1 Resíduos Sólidos

Ao associarmos a necessidade da produção de alimentos e bens de consumo proporcionalmente ao crescimento populacional, nota-se que este fato leva o homem a transformar cada vez mais a matéria-prima gerando maiores quantidades de resíduos, tanto no processo de produção industrial quanto no consumo.

A Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010, que define a Política Nacional de Resíduos Sólidos, em seu artigo 3º, inciso XVI, define resíduos sólidos como:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação 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 técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

3.2 Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos orgânicos (RO) são uma problemática relevante e tratada com grande importância no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ferramenta legal para a gestão dos RS prevista na PNRS Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. A PNRS prevê, em seu Capítulo IX, a redução dos RSU úmidos dispostos em aterros sanitários, o tratamento e a recuperação de gases em aterros sanitários (BRASIL, 2012).

No Ceará a geração de resíduos (t/dia) foi de 9.809 e 7.678 coletados e com disposição final de 45% em aterros sanitários, 29,9% em aterros controlados e 25,1% em lixões (ABRELPE, 2016).

O agravante é que grande parte desses resíduos são constituídos por matéria-prima que poderia estar sendo reinserida no processo produtivo, como é o caso da matéria orgânica, basicamente alimentos, que devido às más condições de armazenamento e ao desperdício, tanto no preparo quanto no consumo, acaba por virar “lixo” ao invés de transformar-se em composto orgânico, esse “lixo” domiciliar urbano é composto por 65 a 70% na sua maioria por materiais orgânicos biodegradáveis ou compostáveis (PEREIRA, 2012).

Os RO, em ambientes naturais equilibrados, se degradam espontaneamente e reciclam os nutrientes nos processos da natureza. Mas quando derivados de atividades humanas, especialmente em ambientes urbanos, podem se constituir em um sério problema ambiental, pelo grande volume gerado e pelos locais inadequados em que são armazenados ou dispostos. A disposição inadequada de resíduos orgânicos gera chorume, emissão de metano na atmosfera e favorece a proliferação de vetores de doenças. Assim, faz-se necessária a adoção de métodos adequados de gestão e tratamento destes grandes volumes de resíduos (BRASIL, 2016).

Existem vários procedimentos para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos, visto que cada um tem características físicas e químicas diferentes. As técnicas de tratamento são destinadas

a reduzir o seu potencial poluidor, buscando minimizar os impactos ao meio ambiente (CARDOSO, 2004).

Dentre os diversos processos para o tratamento destes resíduos, a biodigestão anaeróbia se traduz em uma tecnologia eficiente, uma vez que permite a obtenção do biogás e do biofertilizante, cuja disponibilidade, além de contribuir para amortizar o custo de instalação da tecnologia, soluciona o problema da disposição destes resíduos no meio ambiente (DHANALAKSHMI, 2012).

A importância ambiental da reciclagem ou reaproveitamento dos resíduos sólidos proporciona o entendimento de uma consciência ecológica em relação aos elementos recicláveis e reaproveitáveis com valor para a preservação do meio ambiente e dos recursos não renováveis e, ainda, a instauração de uma cultura antidesperdício preservando os recursos naturais e evitando a degradação (DONHA, 2002).

3.3 BioGás

A produção de biogás por meio da digestão anaeróbica é um meio promissor de alcançar benefícios ambientais globais e locais já que ele é um transportador de energia renovável e a introdução de digestão anaeróbica de resíduos orgânicos pode reduzir o impacto ambiental potencialmente negativo dos procedimentos de tratamento de resíduos atuais. Além disso, seu uso diminui a emissão de gases causadores do efeito estufa e, no caso de biodigestores, ainda permite o uso do resíduo sólido como fertilizante (KUCZMAN, 2017).

O biogás, gás produzido durante o processo de digestão anaeróbia, é constituído por uma mistura de gases como o metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), seguido em menores concentrações por hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2) e gás sulfídrico (H_2S), entre outros (MALINOWSKY, 2016).

Trata-se de uma mistura gasosa com potencial combustível, composta principalmente por CH_4 e CO_2 , que pode ser utilizado na geração de energia elétrica e no aquecimento (CALZA, 2015).

A Tabela 1 abaixo mostra a composição média dos gases que compõe o biogás:

Tabela 1: Composição típica do biogás processado num biodigestor

GASES	PORCENTAGEM (%)
METANO (CH ₄)	40 a 75
DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	25 a 40
HIDROGÊNIO (H ₂)	1 a 3
NITROGÊNIO (N ₂)	0,5 a 2,5
OXIGÊNIO (O ₂)	0,1 a 1
GÁS SULFÚRICO (H ₂ S)	0,1 a 0,5
AMÔNIA (NH ₃)	0,1 a 0,5
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	0 a 0,1

Fonte: (HIRANO, 2015)

Sua produção é possível a partir de diversos resíduos, entre eles os orgânicos. Nesse caso, quando a digestão anaeróbia é realizada em biodigestores especialmente planejados, a mistura gasosa pode ser usada como combustível, o qual além de seu alto poder calorífico, de não produzir gases tóxicos durante a queima e de ser uma ótima alternativa para o aproveitamento do lixo orgânico, ainda deixa como resíduo, um lodo que é um excelente biofertilizante (PECORA, 2006).

De acordo com um estudo comparativo a tabela (2) nos mostra o poder calorífico inferior (PCI) de algumas substâncias quando comparados a 1 Nm³ de biogás (BARRERA, 1993).

Tabela 2: Energia equivalente produzido pelo biogás

1 NM³ DE BIOGÁS, EQUIVALE A:	0,61 litro de gasolina
	0,58 litro de querosene
	0,55 litro de diesel
	0,79 litro de etanol
	0,45 litro de GLP
	1,53 kg de lenha
	1,43 kw de energia elétrica

Fonte: (HIRANO, 2015)

Na Tabela 3 podem ser demonstradas algumas das principais utilidades possíveis do biogás:

Tabela 3: Consumo de biogás em diferentes utilidades

UTILIZAÇÃO	CONSUMO
COZINHAR	0,33 Nm ³ /dia.pessoa
ILUMINAÇÃO POR LÂMPIÃO	0,12 Nm ³ /hora.lâmpião
CHUVEIRO A GÁS	0,8 Nm ³ /banho
INCUBADOR	0,71 Nm ³ /m ² de espaço interno.hora
MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA	0,45 Nm ³ /HP.hora
AQUECEDOR DE ÁGUA A 100°C	0,08 Nm ³ /litro
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (1KWh)	0,62 Nm ³

Fonte: (HIRANO, 2015)

O biogás tem diferentes utilizações, mas dependendo de qual seja requer um processo de purificação. A retirada da umidade, do gás carbônico e gás sulfúrico (altamente corrosivo) elevam o poder calorífico do gás. As etapas do processo estão apresentadas na tabela (4) abaixo:

Tabela 4: Processo de purificação do biogás

	PROCESSO PARA PURIFICAÇÃO	REAÇÃO QUÍMICA
REMOÇÃO DE UMIDADE	Pode ser feito através de glicóis, sílica em gel ou outro material que retenha umidade	-
RETIRADA DE GÁS SULFÚRICO POR ÓXIDO FÉRRICO (Fe₂O₃)	Passa a mistura gasosa por uma torre preenchida por Fe ₂ O ₃ e aparas de madeira	$Fe_2O_3 + 3H_2S \rightarrow Fe_2S_3 + 3H_2O$
REMOÇÃO DE GÁS CARBÔNICO	Pode ser lavado com água (depende de temperatura e pressão)	-
REMOÇÃO DE GÁS SULFÚRICO E GÁS CARBÔNICO POR HIDRÓXIDO DE SÓDIO (NaOH), POTÁSSIO (KOH) OU CÁLCIO (Ca(OH)₂)	O gás carbônico em contato com NaOH, KOH ou Ca(OH) ₂ , ocorre a formação de bicarbonato, reação irreversível. Dependendo do tempo da reação o gás sulfúrico também é removido	$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$ $Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O \leftrightarrow 2NaHCO_3$ $H_2S + NaCO_3 \rightarrow NaHS + NaHCO_3$

Fonte: adaptado de Craveiro, 1982; Oliveira, 2005

O biogás proveniente da digestão anaeróbia de resíduos sólidos ou líquidos constitui uma fonte de energia alternativa, bem como contribui em muito na solução dos problemas ambientais, pois, reduz potencialmente os impactos da fonte poluidora (SALOMON, 2007).

3.4 Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbica é uma tecnologia amplamente utilizada que pode processar vários tipos de resíduos orgânicos para a produção de biogás por decomposição de matéria orgânica em condições livres de oxigênio (GE XUMENG, 2014) e, simultaneamente, uma opção energética, com reconhecida vantagem ambiental. Um dos benefícios do processo, que logo contribuiu para um crescente interesse por esta tecnologia, reside na conversão da maior parte da carga poluente do efluente em uma fonte de energia: o biogás (OLIVEIRA, 2011).

A digestão anaeróbia pode ser dividida em cinco fases, como define Chernicharo (1997):

Hidrólise: A etapa inicial do processo. Os materiais particulados complexos (polímeros) são convertidos compostos solúveis mais simples (menor massa molar), possibilitando que as bactérias fermentativas os absorvam através de suas paredes celulares. Essa dissolução ocorre por meio de enzimas extracelulares expelidas pelas bactérias. Com esse processo de hidrólise, as proteínas são convertidas em aminoácidos, os lipídeos solúveis em ácidos graxos e os carboidratos em açúcares simples.

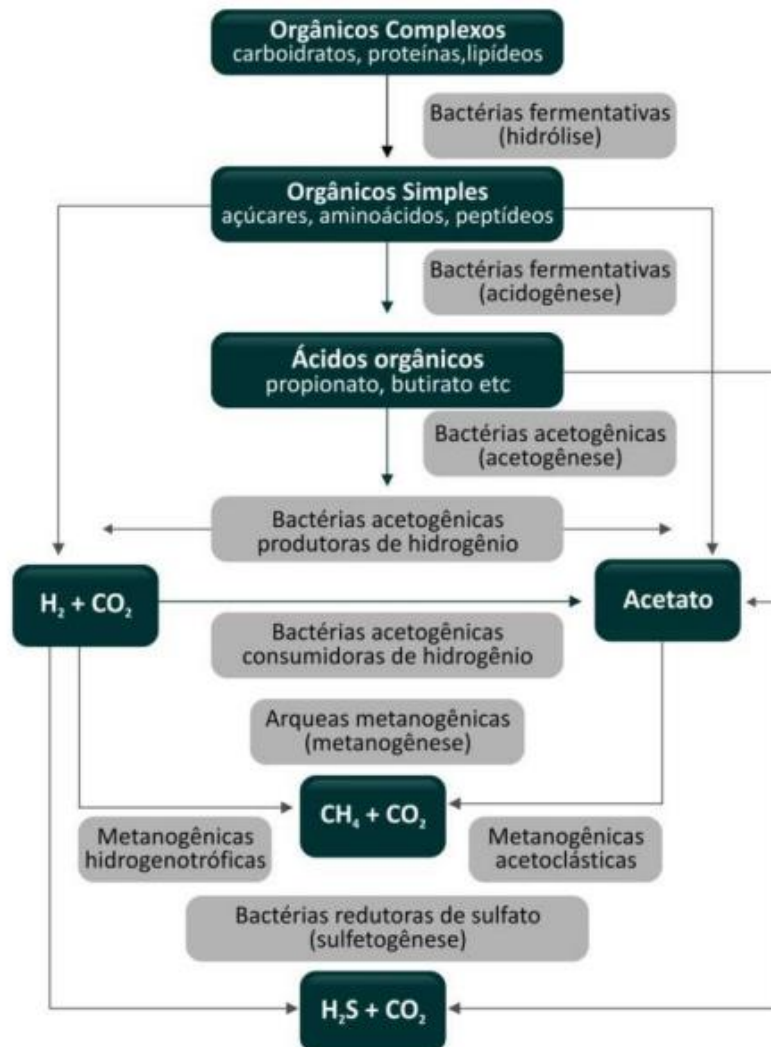
Acidogênese: Os compostos solúveis gerados na fase de hidrólise são assimilados pelas bactérias e metabolizados, sendo convertidos, principalmente, em ácidos graxos voláteis (AGV). Em menores quantidades são gerados alcoóis, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia, sulfeto de hidrogênio e novas células bacterianas.

Acetogênese: Os compostos gerados na acidogênese são oxidados e convertidos a hidrogênio, dióxido de carbono e acetato, o que forma o substrato adequado ao desenvolvimento das bactérias metanogênicas.

Metanogênese: Nessa fase que os compostos orgânicos são convertidos em biogás pelas bactérias metanogênicas. As bactérias envolvidas nesse processo são divididas em dois grupos: as acetoclásticas, que produzem o metano a partir do ácido acético e de outros compostos, contendo um átomo de carbono; e as hidrogenotróficas, que metabolizam o hidrogênio e o dióxido de carbono, gerando o gás metano.

Sulfetogênese: Fase onde as bactérias sulforedutoras reduzem os sulfatos e outros compostos sulfurados em sulfetos. Essas bactérias se alimentam de uma gama de substratos, podendo competir com as demais bactérias. Essa fase pode ou não ocorrer no processo de digestão anaeróbia, e só ocorrerá de forma significativa se houver grande quantidade de sulfato presente no meio. Nesse caso, a produção de metano tende a diminuir e a de gás sulfídrico a aumentar, o que é indesejável do ponto de vista balanço energético do aproveitamento do biogás.

Como mostra a figura abaixo, cada grupo de bactérias tem sua função dentro do complexo processo de digestão, a concretização de todas as fases é determinante para a metanogênese e consequente produção do biogás (CHERNICHARO, 2007).



Fonte: Adaptado de Chernicharo, 2007.

4. Resultados

O Mercado Público Governador Gonzaga Mota tem uma geração total de 7.336,53 kg/dia de resíduos (SILVA, 2016). Os valores utilizados para estimativa da produção de metano foram os valores diários de resíduos orgânicos, recicláveis e outros resíduos que se enquadram no processo. A tabela (5) abaixo mostra os valores correspondentes a cada tipo de resíduo:

Tabela 5: Tipos de resíduos e suas respectivas quantidades diárias

TIPOS DE RESÍDUOS	MASSA (kg/dia)	VOLUME (m ³ /dia)	PARTICIPAÇÃO (%)
Resíduos	878,77	3,30	31 %

recicláveis			
Resíduos orgânicos	6.059,25	4,95	49%
Outros resíduos	398,51	1,75	18%
Total	7.336,53	10,0	100%

Fonte: Elaborada pelo autor

A partir dos dados obtidos e considerando-se 0,8 para o fator de emissão, utilizando a equação (1) obteve-se:

$$CH4_{emissões} = \sum (M_i \times EF_i) \times 10^{-3}$$

$$CH4_{emissões} = (7.336,53 \times 0,8) \times 10^{-3}$$

$$CH4_{emissões} = 5,87 \text{ kg/dia}$$

Considerando a densidade do CH₄ 0,656 kg/m³, em condições normais de temperatura e pressão (CNTP) temos uma produção de:

$$8,94 \text{ m}^3/\text{dia}$$

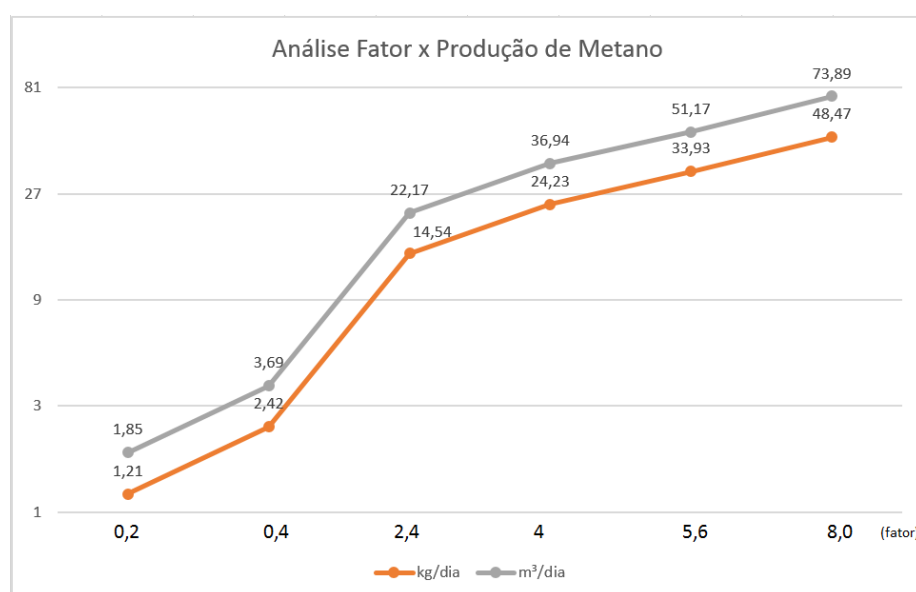
Para estimativa do potencial energético do gás metano produzido, utilizou-se o poder calorífico do biogás 7,92 kWh/m³ considerando a conversão em energia elétrica com grupos geradores motores ciclo Otto (25%) (CCE, 2000), a produção real de energia estimada é equivalente a:

$$1.770,12 \text{ kWh/dia}$$

O consumo de energia elétrica residencial no Brasil em 2016 encerrou o ano em 160 kWh/mês por cada residência, o potencial energético calculado a partir dos resíduos gerados no Mercado Municipal tem uma produção estimada mensal de 53.103,6 (kWh), considerando o mês com 30 dias, seria possível suprir a demanda de 331 residências aproximadamente.

Foi feito também um cálculo com outros fatores sugeridos pelo IPCC, pois podem ocorrer variações devido à realidade de cada país. Pode-se ver a relação de produção de metano com os fatores sugeridos no gráfico abaixo:

Gráfico 1: Análise da produção de metano com diferentes fatores de emissão



Fonte: Elaborada pelo autor

5. Conclusão

A problemática que envolve os resíduos sólidos tornou-se uma pauta bastante discutida em todo o mundo. Ter conhecimento a respeito da legislação vigente, e dos processos que possam melhor utilizar esses resíduos é de fundamental importância.

A metodologia utilizada neste trabalho foi baseada em valores de emissão que são obtidos de acordo com cada localidade, como não foi definido o fator de emissão de metano em resíduos que condizem à realidade brasileira é necessário um cuidado ao se basear apenas nesta metodologia, pois como se trata de um método americano, ele foi baseado de acordo com a realidade local, com composição e valores diferentes de resíduos.

Embora tal resultado possa não ser condizente com o valor real de emissão de metano, ele ajuda a estimar, com base em seus fatores de emissão, quantidades mínimas e máximas de produção de metano e seus respectivos potenciais energéticos.

Esta pesquisa teve como intuito mostrar o potencial energético dos resíduos gerados no Mercado Público Governador Gonzaga Mota, que muitas vezes são descartados em lugares inapropriados que pode ocasionar diversos problemas sociais e socioambientais. Além do uso energético dos resíduos têm muitas outras utilidades caso seja aproveitado de forma correta.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2016.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2012.
- CCE - Centro para Conservação de Energia. Guia Técnico do Biogás. Ed. JE92 Projectos de Marketing Ltda, Algés, Junho, 2000.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5: Waste.
- PERUCHIN, Bianca et al. **Gestão de resíduos sólidos em restaurante escola**. Tecno-Lógica, v. 17, n. 1, p. 13-23, 2013.
- SILVA, Sanlorran Sousa. **Análise da composição gravimétrica dos resíduos sólidos decorrentes de atividades econômicas no município de Juazeiro do Norte, Ceará**. Universidade Regional do Cariri, 2016.
- DHANALAKSHMI, S. V.; RAMANUJAM, R. A. **Biogasgeneration in a vegetablewasteanaerobicdigester: Ananalytical approach**. ResearchJournalofRecentSciences, v.1, n.3, p.41-47, 2012.
- GOUVEIA, N. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. 2012
- HIRANO, Marcio Yukio. **Geração de energia por microturbina alimentada à biogás em uma propriedade rural: estudo de caso**. 2015. 93 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2015.
- OLIVEIRA, S.V. et al. **Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property**. Biomass and bioenerg y, v. 35, n. 7, p. 2608-2618, 2011.
- WEILAND, Peter. Biogas production: current state and perspectives. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 85, n. 4, p. 849-860, 2010.
- WEILAND, Peter. Biogas production: current state and perspectives. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 85, n. 4, p. 849-860, 2010.
- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo, 2016.
- CARDOSO, Oséias. **Gestão dos resíduos sólidos urbanos do município de Campo Mourão/PR**. 143 f. 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2004.

PEREIRA, Suellen Silva; CURI, RosiresCatao. **Modelos de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos: a importância dos catadores de materiais recicláveis no processo de gestão ambiental.** Revista Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 9, n. 4, p. 118-138, 2012.

CALZA, Lana F. *et al.* **Costassessment of biodigester implementation and biogas-produced energy.** Engenharia Agrícola, v. 35, n. 6, p. 990-997, 2015.

DHANALAKSHMI, S. V.; RAMANUJAM, R. A. **Biogasgeneration in a vegetablewasteanaerobicdigester: Ananalytical approach.** ResearchJournalofRecentSciences, v.1, n.3, p.41-47, 2012.

DONHA, Mauro Siqueira. **Conhecimento e participação da comunidade no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: o caso de Marechal Cândido Rondon/PR.** 2002. 113 f. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Florianópolis, 2002.

KUCZMAN, Osvaldo et al. **Effects of stirring on cassava effluent treatment in an anaerobic horizontal tubular pilot reactor with support medium–A Review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 77, p. 984-989, 2017.

MALINOWSKY, Carina et al. **Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio.** 2016.

PECORA, Vanessa. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP - Estudo de Caso.** São Paulo, 2006.

BARRERA, P. **Biodigestores: Energia, fertilidade e saneamento para zona rural.** 3. ed. São Paulo, SP: Editora Ícone, 1983, 108 p.

CRAVEIRO, A. M. **Considerações sobre projetos de plantas de biodigestão – Digestão anaeróbia e aspectos teóricos e práticos.** I Simpósio Latino-Americano sobre Produção de Biogás a partir de Resíduos Orgânicos, São Paulo, dezembro de 1982.

SALOMON, Karina Riberio. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade.** 2007. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ.

GE, Xumeng et al. **Biogas energy production from tropical biomass wastes by anaerobic digestion.** Bioresourcetechology, v. 169, p. 38-44, 2014.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios.** v.5. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. UFMG. Belo Horizonte, 1997, 245p.