

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS MEDIANEIRA
ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS

ROSÂNGELA APARECIDA RIBEIRO SANTOS

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO SANITÁRIO
MUNICIPAL NO OESTE DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2019

ROSÂNGELA APARECIDA RIBEIRO SANTOS

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO SANITÁRIO
MUNICIPAL NO OESTE DO PARANÁ**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare

MEDIANEIRA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL
NO OESTE DO PARANÁ

por

Rosângela Aparecida Ribeiro Santos

Esta Monografia foi apresentada em 05 de Maio de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Laercio Mantovani Frare
Prof. Orientador

Alessandra Freddo
Membro titular

Felipe Souza Marques
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

Dedico este trabalho à minha família, que me sempre me apoiaram e me incentivaram para realizá-lo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por sempre estar ao meu lado.

A meu esposo e ao meu filho Vinicius, por sempre estarem ao meu lado, pelo incentivo em todas as horas e por sempre acreditarem e mim.

Aos meus pais, Eli e Santo, por nunca medirem esforços para dar aos filhos, sabedoria, incentivo e amor.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Laércio, por ter me dado a oportunidade de trabalhar com um tema importante e por ter acreditado e me apoiado, tirando dúvidas importantes e norteando minhas pesquisas.

À equipe da banca examinadora do Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás (CIBiogás-ER), Felipe e Alessandra que tiveram participação importante nesta para realização e término do trabalho.

Ao CIBiogás-ER pelo apoio dado à realização da especialização em cadeia produtiva e pelo seu papel importante na história do biogás.

Aos colegas e professores da 1ª Turma de especialização em cadeia produtiva de Biogás da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, campus de Medianeira-PR.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

SANTOS, Rosângela Aparecida Ribeiro. **Estimativa da produção de biogás em aterro sanitário municipal no Oeste do Paraná**. 2019. 22f. (Monografia - Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás - Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Medianeira, 2019.

O aterro sanitário é, normalmente, a destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) tanto da parte orgânica quanto da inorgânica. A fração orgânica, nas condições do aterro, sofre uma decomposição anaeróbia produzindo o que é denominado de biogás e um líquido denominado de chorume. O biogás que um aterro pode produzir depende da composição dos resíduos que são depositados diariamente. O chorume que é coletado e, posteriormente, segue para a etapa de tratamento, também contém uma fração orgânica que pode ser convertida em biogás. Neste trabalho, avaliou-se a produção de biogás de um aterro por meio de um modelo matemático, para estimar a produção da parte sólida, e, por análise laboratorial, do potencial metanogênico do chorume coletado. Para estimar a produção de biogás dos resíduos do aterro foi utilizada a metodologia do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC). Para determinar o potencial de biogás do chorume, foram realizados testes em batelada sob condições controladas. Pelo modelo do IPCC foi possível estimar uma produção de $0,27260 \text{ Gg ano}^{-1}$ ou $380.299,2 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ de biogás. A partir dos ensaios de laboratório obteve-se uma produção de $333 \text{ L}_N \text{ CH}_4 \text{ g SV}^{-1}$. A composição do biogás obtido a partir do chorume foi de CH_4 de 58,1% para o CH_4 e de 20,6% para o CO_2 . Esse estudo demonstrou que o biogás gerado a partir do chorume coletado pode ser uma importante fonte de geração de energia renovável.

Palavras-chave: chorume; metodologia IPCC; teste BMP.

ABSTRACT

SANTOS, Rosângela Aparecida Ribeiro. **Estimation of landfill biogas production in the west of Paraná.** 2019. 22 f. (Monographic - Specialization in Technologies the biogas production chain - Federal Technological University - Paraná. Medianeira, 2019.

The landfill is usually the final disposal of organic and inorganic municipal solid waste (MSW). The organic fraction, under anaerobic decomposition, produce biogas and a slurry. The biogas produced by landfill depends on the composition of the waste that is deposited daily. The manure that is collected and subsequently goes to the treatment stage also contains an organic fraction that can be converted into biogas. In this work, the biogas production of a landfill was evaluated by means of a mathematical model, to estimate the production of the solid part, and, by laboratory analysis, the methanogenic potential of the collected slurry. The methodology of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) was used to estimate biogas production of MSW residues. For the slurry, batch tests were carried out under controlled conditions to obtain the methanogenic potential and the composition of the same. From the IPCC model it was possible to estimate a production of 0.27260 Gg year⁻¹ or 380,299. 2 m³ year⁻¹ of biogas. From the laboratory assays a yield of 333 L_NCH₄ gVS⁻¹ was obtained. The composition of the biogas obtained from the slurry was 58.1% for CH₄ and 20.6% for CO₂. This study demonstrated that the biogas generated from the leachate collected can be an important source of renewable energy generation.

Keywords: slurry; IPCC methodology; BMP test.

LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1 – Banho termostático contendo frascos para testes PBM	14
Figura 2 – Disposição gravimétrica dos RSU do aterro sanitário	15
Figura 3 – Produção específica diária de Metano	18
Figura 4 – Produção de Biogás acumulado	18
Tabela 1 – Cálculo do metano aproveitável no RSU para o ano de 2018	16
Tabela 2 – Resultados da análise físico-química do inóculo e do chorume utilizados para avaliar o PBM	17

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS.

g	gramas
a	fração de papel, papelão e tecidos nos RSU (%)
b	fração de resíduos de poda e jardinagem nos RSU (%)
c	fração correspondente a restos de alimentos nos RSU (%)
CH ₄	gás metano
CO ₂	dióxido de carbono
COD	Carbono orgânico degradável no RSU (%)
CODR	fração de COD que realmente degrada (%)
d	fração de madeira nos RSU (%)
FCM	fator de correção de metano (%)
FEM	fração de metano no gás de aterro (%)
g	gramas
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
L _N	litros normalizados
L ₀	potencial de geração de metano (m ³ .t ⁻¹)
MR	quantidade de metano recuperado (t.ano ⁻¹)
OX	fator de oxidação (adimensional)
PBM	Potencial bioquímico do metano
QCH ₄	quantidade de metano gerado (Gg. ano ⁻¹)
RSU	Resíduos sólidos urbanos
R _{SUD}	total anual de RSU depositados no aterro
SF	sólidos fixos
SV	sólidos voláteis
TRH	tempo de retenção hidráulica
VDI	Verein Deutscher Ingenieure

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MATERIAL E MÉTODOS	12
2.1 ÁREA DE ESTUDO	12
2.2 ANÁLISE GRAVIMÉTRICA DE AMOSTRA DE RESÍDUO DEPOSITADO NO ATERRO	12
2.3 MODELO DE ESTIMATIVA DE METANO GERADO	13
2.4 ANÁLISE DO POTENCIAL METANOGENICO DO CHORUME.....	13
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
3.1 RESULTADO DA ANÁLISE GRAVIMÉTRICA DE AMOSTRA DO RESÍDUO DEPOSITADO NO ATERRO	15
3.2 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE METANO GERADO	16
3.3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS DO CHORUME	17
4 CONCLUSÕES	20
REFERÊNCIAS	21

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, os resíduos sólidos urbanos (RSU), são coletados e, em sua grande parte, destinados de formas inadequadas, principalmente, nos lixões a céu aberto ou em aterros controlados, que levam diretamente a impactos ambientais como a contaminação do solo e da água e a proliferação de vetores.

A atenção às questões ambientais é crescente e vem aprimorando, basicamente, voltada a aterros sanitários. Neste contexto há destaque na produção de energia por meio do biogás, atitude que permite a proteção dos recursos ambientais não renováveis, pois contribui para eficiência energética, reduz possíveis impactos ambientais dos poluentes como o gás metano nos aterros, produz potencial de geração de energia e serve de substituição de combustíveis fósil como diesel, gás liquefeito de petróleo por renováveis.

Para Vanzin (2006), o crescimento da população e das atividades industriais traz uma demanda cada vez maior de energia, além de aumentar o descarte de resíduos sólidos, que por sua vez, vão ocasionar problemas ambientais e consequentes impactos na oferta e nos custos de energia. De certa forma, o aterro sanitário é uma prática de disposição final adequada e com potencial de geração de energia, devido à presença maciça de componentes presentes no chorume com um grande potencial energético.

A produção de biogás está diretamente ligada com as principais ideias do desenvolvimento sustentável, econômico, social e ambiental. Uma parte dos resíduos é de natureza orgânica, nos quais os processos microbiológicos são responsáveis para geração do gás (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008). Os compostos predominantes são metano (CH_4), com grande potencial energético, e dióxido de carbono (CO_2) (IPCC, 1996; SPOKAS et al., 2006). Na formação do biogás e dos lixiviados tem-se a dissolução dos elementos naturais, o desprendimento de partículas de água e a bioconversão da matéria orgânica em formas solúveis e gasosas por meio da degradação dos resíduos (TADA et al., 2009).

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar a estimativa da produção de biogás no aterro sanitário empregando-se o modelo do IPCC para os resíduos sólidos e a determinação experimental por meio de testes em batelada do chorume coletado.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O aterro sanitário estudado encontra-se em um município da Região Oeste do Paraná, pertencente à bacia hidrográfica do Baixo Iguaçu. O aterro está localizado em um local apropriado para a destinação final dos resíduos domiciliares. Todo o chorume do aterro é coletado em lagoas e, posteriormente, irrigado sobre o atual aterro.

2.2 ANÁLISE GRAVIMÉTRICA DE AMOSTRA DE RESÍDUO DEPOSITADO NO ATERRO

Para estimar a produção de biogás a partir da decomposição anaeróbia da fração orgânica foi realizada uma análise gravimétrica dos resíduos depositados no aterro. A partir de uma carga de resíduos do caminhão coletor, os resíduos foram totalmente separados de acordo com a seguinte denominação: plástico, vidro, papel, Madeira, orgânico e diversos. Os resíduos separados foram pesados individualmente para compor o valor final. Pode-se levar em consideração a quantidade de carbono presente em cada componente do lixo, o que pode ter grandes variações de um local para outro. O carbono orgânico degradável que é acessível à composição bioquímica deve ser expresso como Gg de resíduo, baseado na composição dos resíduos e pode ser calculado a partir de uma ponderação média do teor de carbono de vários componentes do fluxo de resíduos conforme as diretrizes da metodologia IPCC.

A partir dos valores obtidos na análise, utilizou-se a Equação 1 para determinar a COD dos resíduos:

$$\text{COD} = (0,4. a) + (0,17. b) + (0,15. c) + (0,3. d) \quad (\text{Eq. 1})$$

Na Equação 1 tem-se que **a** é a fração de papel, papelão e tecidos nos RSU, **b** é a fração de resíduos de resíduos urbanos, orgânicos e não alimentares, **c** é a fração correspondente a restos de alimentos nos RSU e **d** é a fração da madeira nos RSU.

2.3 MODELO DE ESTIMATIVA DE METANO GERADO

Para se estimar a produção de metano (CH_4) gerado, foi seguida a metodologia proposta pelo IPCC. A Equação 2 representa o modelo utilizado.

$$Q_{\text{CH}_4} = (1 - \text{OX}) \cdot [R_{\text{SUD}} \cdot (\text{FCM} \cdot \text{COD} \cdot \text{COD}_R \cdot \text{FEM} \cdot 16/12 - \text{MR})] \quad (\text{Eq.2})$$

Na Equação 2 tem-se: COD é o carbono orgânico degradável no RSU; COD_R é a fração de COD que realmente degrada; FCM é o fator de correção de CH_4 ; FEM é a fração de CH_4 no gás de aterro; Lo é o potencial de geração de metano ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$); MR é a quantidade de CH_4 recuperado (t ano^{-1}); OX é o fator de oxidação (a dimensional); Q_{CH_4} é a quantidade de CH_4 gerado (Gg ano^{-1}) e R_{SUD} é o total anual de RSU depositados no aterro.

2.4 ANÁLISE DO POTENCIAL METANOGÊNICO DO CHORUME DO ATERRO

O chorume foi avaliado quanto ao seu potencial bioquímico metanogênico (PBM) em testes em laboratório. Na avaliação do PBM, os testes foram realizados em triplicata para que fosse possível calcular o erro experimental. Na Figura 1 pode-se observar o teste em batelada sob temperatura controlada.



Figura 1: Banho termostático contendo frascos para teste PBM

Fonte: Autoria própria

As amostras foram incubadas em frascos de 100 mL a uma temperatura de 37°C e monitoradas diariamente quanto ao volume de biogás produzido. Ao final desta etapa, uma amostra de biogás foi analisada por meio de cromatografia gasosa para avaliar a composição do biogás.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESULTADOS DA ANÁLISE GRAVIMÉTRICA DE AMOSTRA DE RESÍDUO DEPOSITADO NO ATERRO

A partir da análise de uma amostra de resíduos antes de serem depositados no aterro, obteve-se a composição de acordo com o ilustrado na Figura 2. De acordo com os resultados obtidos, a quantidade de matéria orgânica coletada, diariamente, será próxima de 27%. No ano de 2018 o aterro recebeu 12.960 t. Essa fração é a que possui elevada importância para o aproveitamento energético.

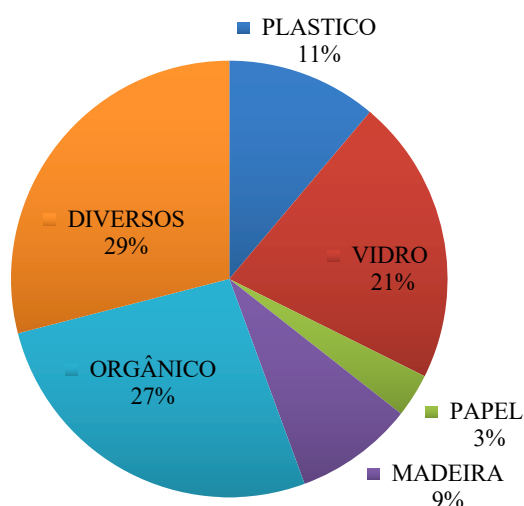


Figura 2: Disposição gravimétrica dos RSU do aterro sanitário

Fonte: Autoria própria

Mediante os resultados apresentados na Figura 1 e a Equação 1, foi possível estimar a fração degradável do carbono orgânico uma vez que $a = 3,24\%$, $c = 26,60\%$ e $d = 8,81\%$ (madeira). Com o resultado total do COD igual a 0,08195 ou 8,195 %.

MELLO et al., (2014), utilizaram $0,134446 \text{ t}^{-1}$ de carbono para fração de carbono orgânico degradável no lixo (DOC), considerando uma população de 80.000 habitantes, com uma produção de lixo que realmente degrada de 61,81%.

NECKER et al., (2013), encontraram 61,60% de matéria orgânica como resultado principal da composição gravimétrica e uma fração de carbono degradável

(COD) de $0,1554 \text{ t}^1$ de carbono para uma quantidade aproximada de 106.000 habitantes.

3.2 CÁLCULO DA QUANTIDADE DE METANO GERADO

Para aplicar a metodologia proposta, foram realizadas algumas hipóteses, entre elas: o valor de oxidação do metano (OX) contida no biogás foi estimada em 0; utilizou-se 0,5 como padrão na fração do CH_4 ; em função das características do aterro, estabeleceu-se a quantidade de CH_4 recuperado (MR) é igual a 0; para aterro controlado ou seja, bem gerenciado, utilizou-se um fator de correção (FCM) igual a 1; utilizou-se valor padrão 0,50 para fração que realmente degrada (COD_R). Na Tabela 1 são apresentados os valores obtidos, para o ano de 2018, ao aplicar-se a Equação 2 e as condições estabelecidas.

Tabela 1. Cálculo do metano aproveitável no RSU para o ano de 2018.

Ano	(Gg CH_4 /GgRSU)	(Gg CH_4)	(Gg CH_4 /Gg RSU)	(1 - OX)	Quantidade Aproveitamento de CH_4 (Gg)	Quantidade Aproveitamento de CH_4 ($\text{m}^3 \text{ano}^{-1}$)
2018	0,04207	0,54520	0,27260	1	0,27260	380299,2

Fonte: Autoria própria

O principal valor utilizado foi montante de lixo depositado no final do ano correspondente, esses resultados avaliados são para comparar a quantidade que o aterro recebe que possui uma produção equivalente e observa que sua produção de biogás é de extrema importância para o meio ambiente.

Segundo Lucas et al., (2008), a estimativa da quantidade de aproveitamento de metano de resíduos gerou $1,96146 \text{ Gg ano}^{-1}$ que constatou-se ser interessante, dentro das possíveis alternativas a conversão do biogás em energia elétrica que possibilita, em curto prazo, economia no consumo de eletricidade no aterro.

3.3 RESULTADOS EXPERIMENTAIS DO CHORUME

Na Tabela 2 são apresentados os valores obtidos durante as análises físico-químicas do inóculo e do chorume do aterro sanitário para avaliar o potencial bioquímico metanogênico.

Tabela 2. Resultados da análise físico-química do inóculo e do chorume utilizados para avaliar o PBM.

	Massa cadinho (g)	Massa cadinho+amostra calcinação (g)	ST%	SF%(base seca)	SV%(base seca)	SF%(base úmida)	SV%(base Úmida)	SV (g/kg)
Inóculo1	36,0324	36,1128	2,6	51,7	48,3	0,78	0,73	
Inóculo2	35,6104	35,6906	2,5	51,8	48,2	0,78	0,72	7,3
Inóculo3	35,6104	35,4860	2,5	51,3	48,7	0,78	0,74	
Amostr1	36,2830	36,3599	1,5	31,2	68,8	0,82	1,81	
Amostr2	36,2289	36,3087	1,5	32,0	68,0	0,81	1,72	17,5
Amostr3	35,4645	35,5434	1,5	31,8	68,2	0,80	1,71	

Fonte: Autoria própria

Destacam-se, na Tabela 2, os sólidos voláteis (SV) dos resultados do inóculo de 7,3 g kg⁻¹ e da amostra de 17,5 g kg⁻¹. Portanto a diferença inicial de ambos os tratamentos é similar aos apresentados na literatura.

Durante o período de incubação do chorume, o biogás produzido diariamente foi medido. Os resultados podem ser observados na Figura 3.

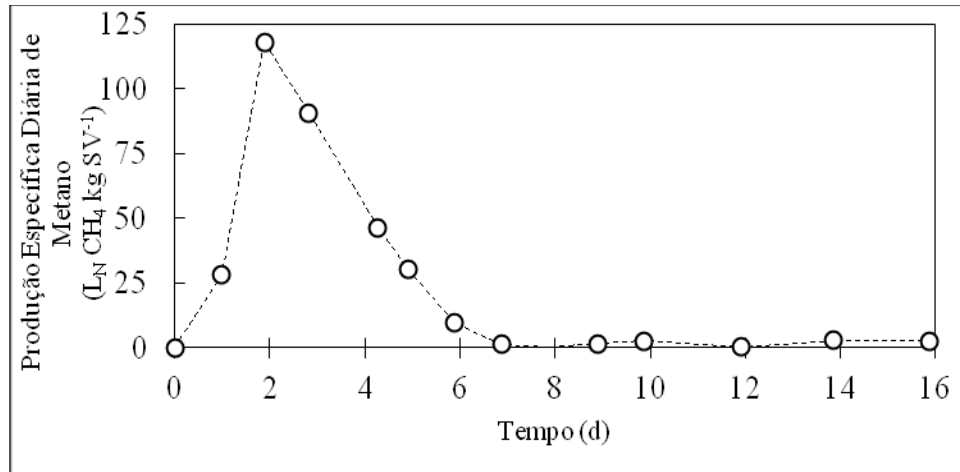


Figura 3: Produção específica diária de Metano

Fonte: autoria própria

A produção diária atingiu um máximo de $121 \text{ L}_N\text{CH}_4 \text{ kgSV}^{-1}$, logo no início do processo de degradação anaeróbia. Portanto, em pouco tempo é possível obter-se elevados volumes de biogás produzido. O PBM do substrato avaliado foi de $333 \text{ L}_N \text{ gás kgSV}^{-1}$ chegando a um teor de CH_4 de 58,1% e de 20,6% para o CO_2 . A produção acumulada de biogás pode ser visualizada na Figura 4.

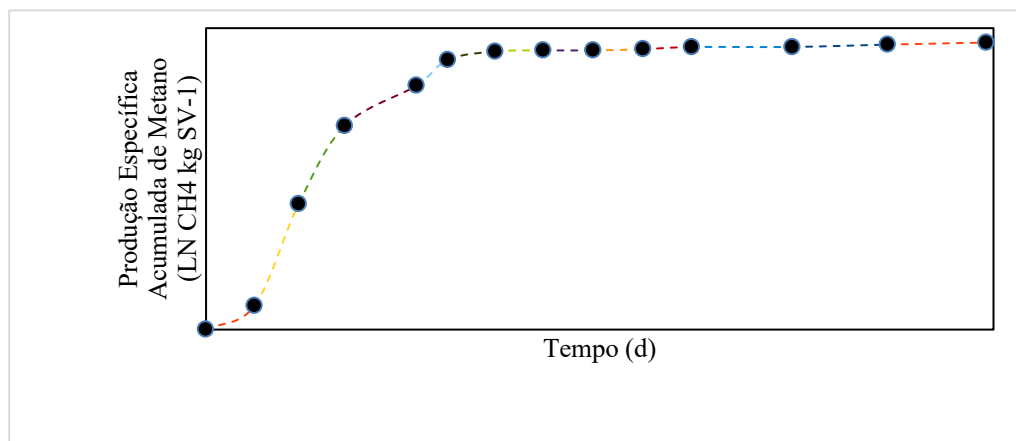


Figura 4: Produção de Biogás acumulado

Fonte: Autoria própria

A produção específica acumulada de CH_4 , demonstrada na Figura 3, demonstra que o tempo de retenção hidráulica (TRH) para a completa transformação em biogás deve ser de 7 dias. Esta análise também foi realizada por SILVA (2016)

obtendo valores de volume acumulado de biogás de 282,7 NL.kg⁻¹ MS e percentagem de 60,9% de CH₄.

Gueri et al. (2018) concluíram que os resíduos alimentares podem ser utilizados no processo de digestão anaeróbia, caracterizando-se como uma ferramenta fundamental para a gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no país, uma vez que reduz a carga contaminante dos resíduos e pode reduzir em aproximadamente 50%.

4. CONCLUSÕES

Com a correlação dos dados analisados em laboratório e dados disponibilizados da quantidade depositada no aterro, foi possível estimar a quantidade CH_4 produzida para o ano de 2018. A metodologia IPCC aplicada apresentou uma produção de biogás de $0,27260 \text{ Gg ano}^{-1}$ ano e $380299,2188 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$. Destaca-se os resultados da avaliação gravimétrica dos resíduos e aproveitamento do CH_4 gerado, ou seja, os resultados indicam um direcionamento do potencial de produção em que aterro pode produzir sendo ele gerenciado corretamente.

Os estudos laboratoriais demonstraram a viabilidade da produção de biogás a partir do chorume coletado. O potencial bioquímico do metano BMP foi de $333 \text{ L}_N \text{ CH}_4 \text{ kgSV}^{-1}$. Portanto, o chorume coletado pode ser aproveitado em plantas de tratamento em aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos sólidos-classificação.** Segunda edição 31.05.2004 Disponível em :<<http://analiticaqmresiduos.paginas.ufsc.br2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>> acesso dia 04/11/2018.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogás from waste and renewable resources: an introduction.** Weinheim: Wiley-VCH, 2011. 469 p.

DIN. DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. 38414: **Determination of the amenability to anaerobic digestion.** In: DIN, Berlin, Germany, 1985. Disponível em: [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S0961953407001602?VIA%3DIHUB](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953407001602?via%3DIHUB) acesso dia 23/12/2018.

IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Municípios do Brasil, 2010.** Disponível em : <://CIDADES.IBGE.GOV.BR/> acesso dia: 22/12/2018.

GUERI., D.V.M.; SOUZA, M.N.S.; KUCZMAN,O.; SCHIRMER.N.W, BURATTO.J.W, RIBEIROB.C, BESINELLA.B.G. **digestão anaeróbia de resíduos alimentares utilizando ensaios bmp** Universidade federal do Paraná BIOFIX Scientific Journal v. 3 n. 1 p. 08-16 2018. ACESSO 05/04/2018.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Solid waste disposal. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, v. 5, p. 1-40, 1996.

LUCAS, J.F.R.; MARAN, M.A.; FRARE, L.M. **Proposta de aproveitamento do biogás gerado no aterro sanitário de foz do Iguaçu-PR.** XVIII Congresso brasileiro de engenharia química, 2010.

MELLO. R.A.; GRASSI. R. **Avaliação do potencial de geração de energia elétrica a partir do biogás gerado no aterro sanitário do município de Francisco Beltrão-PR.** Pág. 43,2014. Disponível < http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2179/1/FB_COEAM_2013_2_04.pdf> acesso 03/04/2019.

NECKER, S.H.; ROSA, D.L. **Estimativa teórica da geração de biogás do futuro aterro sanitário de JI-PARANÁ-RO.** Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental-REGET E-ISSN 2236 1170- V17 DEZ.2013.p -3416-3424.

SILVA, A.G.; JR, M.A.J., ROCHA, R.E. **Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do Potencial Bioquímico do Metano aplicado a resíduos sólidos urbanos** Eng Sanit Ambient | v.21 n.1 2016. Disponível em :< <http://www.scielo.br/pdf/esa/v21n1/1413-4152-esa-21-01-00011.pdf>> acesso 06/04/2019.

SPOKAS, K. et al. Methane mass balance at three landfill sites: **What is the efficiency of capture by gas collection systems?** *Waste Management*, v. 26, p. 516-525, 2006.

TADA, A. M. et al. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte.** São Paulo: Rima Artes e Textos, 2009.

VANZIN, E. et al. **Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no aterro santa tecla.** In: encontro nacional de engenharia de produção, 2006.

VDI-4630 Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU) **Fermentation of organic materials Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests** All rights reserved © Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2016 p 3. Acesso em: 15 set.2018.