

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

VITOR MANOEL NOGUEIRA ALVARES

ATERRO SANITÁRIO DE IBIPORÃ/PR: ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE  
ENERGIA DO BIOGÁS.

CURITIBA  
2017

VITOR MANOEL NOGUEIRA ALVARES

ATERRO SANITÁRIO DE IBIPORÃ/PR: ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE  
ENERGIA DO BIOGÁS.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Gestão Corporativa de Carbono do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do título de especialista. Orientadora: Profa. Dra. Greyce C. Benedet Maas.

CURITIBA

2017

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias pela oportunidade oferecida.

À Master Ambiental, pela permissão do uso dos dados que viabilizaram parte das análises apresentadas nesse trabalho.

Ao corpo docente e tutoria do PECCA que foram tão atenciosos com nossas demandas.

Em especial à minha orientadora Profa. Dra. Greyce C. Benedet Maas pelo apoio, orientação e incentivo.

Aos meus pais, por estarem ao meu lado em todos os momentos, desde a exaustão até a sensação de dever cumprido.

## RESUMO

A associação de fatores como o aumento da geração de resíduos, desenvolvimento econômico e o crescimento da população nos núcleos urbanos têm se tornado um desafio para o Poder Público. Essas influências refletem-se no estilo de vida e nos modos de produção e consumo da população. Como efeito direto destes processos, ocorre um aumento na produção de resíduos sólidos, principalmente nos centros urbanos. Para a elaboração deste estudo, selecionou-se o Município de Ibiporã devido ao histórico de dados de resíduos sólidos registrados por uma consultoria durante um período aproximado de cinco anos. A alternativa utilizada para a destinação dos resíduos sólidos urbanos no Município é o aterramento da parcela de rejeito coletada, triagem e comercialização dos resíduos recicláveis e compostagem dos resíduos orgânicos por uma terceirizada responsável pelo sistema de coleta de resíduos. O material armazenado no aterro está em decomposição anaeróbia, e esse processo é responsável pela geração do gás de aterro. O metano (componente do gás de aterro) gerado pela decomposição configura uma alternativa de geração de energia elétrica que pode ser utilizada pelas próprias instalações do aterro e mitiga a emissão e o acúmulo desse gás na atmosfera. Em vista dos benefícios do aproveitamento do gás gerado, este estudo propõe a avaliação da viabilidade técnica para instalação de um sistema de geração de energia por meio da queima de metano gerado pela decomposição dos resíduos no Aterro Sanitário do Município de Ibiporã-PR. Para tal, foram utilizados os relatórios e dados registrados pela consultoria Master Ambiental, as metodologias de cálculo de geração de metano propostas pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e para o cálculo de potencial de energia elétrica gerada aplicou-se a metodologia orientada pelo Conselho Internacional para Iniciativas Ambientais Locais (ICLEI). Os resultados apresentam valores de geração de 89,21 tCH<sub>4</sub> no ano de 2017, o que corresponde a um potencial de geração de energia da ordem de 0,6 mWh/dia para o mesmo ano.

Palavras-chave: Eletricidade, Metano, Resíduos Sólidos, Gás de Aterro, Viabilidade.

## ABSTRACT

The association of elements such as increasing waste generation, economic development and population growth in urban centers have become a challenge for the Public Power. These influences are a result of the way of life and the modes of production and consumption of the population. As a direct effect of these processes, there is a rise in solid waste production, especially in urban centers. For the preparation of this study, it was selected the Municipality of Ibiporã due to the historical solid waste mass data recorded by a consulting company during a period of approximately five years. The alternative used for the disposal of urban solid waste in the Municipality is the grounding of the collected waste, sorting and commercialization of recyclable waste and composting of organic waste by an outsourced company responsible for the solid waste collection system. The material stored in the landfill is in anaerobic decomposition, and this process is responsible for the generation of landfill gas. The methane gas (landfill gas component) generated by the decomposition constitutes an alternative source for electric power generation that can be used by the landfill's own facilities and mitigates the emission and the accumulation of this gas in the atmosphere. In view of the benefits of the use of the gas generated, this study proposes the evaluation of the technical feasibility for installing an energy generation system by burning methane generated by the decomposition of the residues in the Sanitary Landfill of the Municipality of Ibiporã-PR. For this purpose, the reports and data recorded by the consulting company Master Ambiental, the methodologies for calculation of methane generation proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and the calculation of the potential of electric energy generated, suggested by the International Council for Local Environmental Initiatives (ICLEI), were applied. The results show generation values of 89.21 tCH<sub>4</sub> in the year 2017, which corresponds to a power generation potential of 0.6 mWh/day for the same year.

Keywords: Electricity, Methane, Solid Waste, Landfill Gas, Feasibility.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Distribuição dos Setores de coleta do Sistema de Coleta Seletiva da Cidade de Ibiporã. ....	6
Figura 2: Dias de coleta por tipo de resíduos e por setor no Município de Ibiporã. ....	7
Figura 3: Vala de rejeitos – Aterro sanitário de Ibiporã. ....	8
Figura 4: Evolução da massa diária média de resíduos de cada tipo de coleta desde o ano de 2009 até 2015. ....	9
Figura 5: Distribuição das parcelas de resíduos dentro da coleta seletiva. ....	10
Figura 6: Projeção da Massa Total de Resíduos por Ano (MRS). ....	12
Figura 7: Comparação entre o volume de resíduos aterrado e a parcela de rejeito gerado. ....	14
Figura 8: Comparação entre as estimativas de CH <sub>4</sub> gerado e CH <sub>4</sub> recuperado. ....	21
Figura 9: Comparativo entre a geração de CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> ) e a disposição dos resíduos no aterro. ....	22
Figura 10: Comparação do potencial de geração de energia com os valores de PCI do metano das diferentes bibliografias. ....	24

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estimativa de número de habitantes no Município de Ibiporã por ano segundo estimativas do IBGE. ....	11
Tabela 2: Valores de MRS dos anos acompanhados e projeção de dados até ao ano de 2022. ....	12
Tabela 3: Percentual de Rejeito gerado no Resíduos Sólido coletado e Percentual de resíduo aterrado em relação à MRS. ....	13
Tabela 4: Massa de Resíduos depositada no aterro e estimativa de geração de CH <sub>4</sub> . ....	19
Tabela 5: Volume estimado de CH <sub>4</sub> gerado pelo Aterro Sanitário de Ibiporã. ....	20
Tabela 6: Estimativa de Potência e Energia Disponível do gás metano gerado pela decomposição dos resíduos no Aterro Sanitário de Ibiporã. ....	23
Tabela 7: Cálculo de emissões CH <sub>4</sub> em valores equivalentes de Toneladas de CO <sub>2</sub> . ....	26

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	1
2	Objetivo do trabalho .....	4
2.1.1	Geral.....	4
2.1.2	Específicos .....	4
3	Materiais e Métodos.....	5
3.1	Caracterização do objeto de estudo .....	5
3.2	Coleta de dados .....	8
3.3	Estimativa da geração de metano .....	14
3.4	Estimativa da Potencial Energético .....	18
4	Resultados e Discussão.....	19
4.1	Estimativa de geração de gás metano .....	19
4.2	Estimativa de Energia disponível no Metano Gerado.....	22
4.3	Estimativa de Emissões em tCO <sub>2</sub> equivalente resultante do CH <sub>4</sub> gerado.....	25
5	Conclusões .....	28
6	Referências.....	29

## 1 INTRODUÇÃO

A relação entre as atividades humanas e a geração de resíduos é conhecidamente uma relação de proporções diretas. Segundo o Produto 6 do PNUD (BRASIL, 2010), a intensificação dessas atividades implica em uma aceleração da produção de resíduos. De acordo com os dados apresentados no Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública, em 2016, a geração total de resíduos sólidos urbanos no Brasil em 2015 foi de aproximadamente 80 milhões de toneladas - ABRELPE, contra 78,6 milhões de toneladas de resíduos gerados no ano anterior, o que representa um aumento de 1,7%, índice superior à taxa de crescimento populacional projetada no país no período, que foi de 0,8% (IBGE, 2016).

O aumento da geração de resíduos somado ao crescimento da população nos núcleos urbanos tornam-se um problema para o Poder Público controlar de forma eficiente as ações e o manejo dos resíduos. Ainda de acordo com a ABRELPE (2016), a massa de resíduos sólidos urbanos gerados no país apresentou um aumento de 0,8% entre os anos de 2015 e 2016, resultando em uma média nacional de 1,071 kg de resíduos por habitante por dia. Em específico, no Estado do Paraná, o levantamento realizado para o mesmo Panorama indicam que são coletados diariamente, em média, 0,746 kg de resíduos por habitante. Em parte dos casos, esses resíduos acabam depositados em locais não preparados para recebê-los, como lixões ou aterros controlados, favorecendo o surgimento de significativos problemas socioambientais.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2010), as deposições de resíduos a céu aberto (lixões) constituem-se na forma mais inadequada de disposição de resíduos sólidos urbanos.

A fim de destinar de forma adequada os resíduos sólidos urbanos (RSU), o município de Ibiporã, localizado no norte do Estado do Paraná, região metropolitana de Londrina, implantou no município um sistema de coleta seletiva que contempla a destinação dos resíduos de acordo com sua tipologia.

A coleta seletiva da cidade de Ibiporã foi implantada em novembro de 2009, e se mantém em operação no município. O sistema de coleta é realizado por uma

empresa terceirizada a qual presta serviços coletando resíduos de acordo com três tipologias segregadas na fonte e recebem a destinação adequada para cada tipo: recicláveis, rejeitos e orgânicos. O programa busca que se destine ao aterro municipal somente a parcela de rejeitos gerada pelos munícipes.

Os resíduos coletados são destinados de acordo com sua tipologia e, dessa forma, uma parcela dos rejeitos são destinados para o aterro sanitário da Kurica Ambiental, e parte é destinado ao aterro sanitário do Município de Ibitiporã. Atualmente, o aterro municipal conta com uma célula em operação e duas células já encerradas.

O material armazenado nas células já encerradas e na célula em operação, está ainda em decomposição anaeróbia. Esse processo de decomposição da parcela de rejeitos gera o gás de aterro. De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (s/d), os gases presentes nos aterros de resíduos incluem o metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e oxigênio ( $\text{O}_2$ ). Segundo informações do Ministério do Meio Ambiente (s/d), o metano e o dióxido de carbono são os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos compostos biodegradáveis da parcela orgânica dos rejeitos. A distribuição do percentual de gases deverá variar conforme a idade, composição e disposição estrutural do aterro.

De acordo com Frondizi (2009, pg. 8), o metano faz parte da tríade de principais gases de efeito estufa (GEE) responsáveis pelo evento homônimo ao qual tem-se atribuído os recentes aumentos da média de temperatura global, juntamente com o gás carbônico (também chamado dióxido de carbono –  $\text{CO}_2$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Esses compostos permitem a passagem da luz solar e retêm o calor, da forma semelhante ao comportamento de uma estufa sob a incidência do sol. O metano, tem maior potencial de armazenamento de calor na atmosfera, quando comparado ao gás carbônico (produto de sua oxidação). Segundo o GHG Protocol (2013), no Quinto Relatório de Avaliação do IPCC, o potencial de aquecimento global (GWP) do metano foi estabelecido em 28 vezes o GWP do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ).

Entretanto, o biogás consiste em uma fonte potencial de geração de energia, uma vez que sua composição permite a sua utilização como combustível para queima e geração de energia elétrica. Essa alternativa não apenas aproveita de

forma sustentável este subproduto da disposição dos resíduos sólidos, como também evita que o gás metano nele contido seja emitido para a atmosfera.

Portanto, a utilização do gás metano gerado pela decomposição no aterro evita que esse gás se acumule na atmosfera, bem como fornece uma alternativa de geração de energia que mitiga a emissão do gás pela decomposição da parcela não reciclável de resíduos gerada pela população do município de Ibiporã.

Entretanto, como corroboram Landim e Azevedo (2006), a falta de informação dos líderes com relação às tecnologias existentes para a questão dos resíduos sólidos urbanos é uma barreira de entrada.

Dessa forma, esse trabalho visa a avaliação da possibilidade de utilização do volume de gás metano gerado em um aterro com o porte apresentado para a geração de energia elétrica e a projeção dessa geração e ainda, oferece uma contribuição para futuras discussões sobre a relevância da utilização dessa tecnologia.

## **2 OBJETIVO DO TRABALHO**

### **2.1.1 Geral**

Avaliação do potencial de geração de energia elétrica por meio da queima de metano gerado pela decomposição dos resíduos no Aterro Sanitário do Município de Ibiporã-PR.

### **2.1.2 Específicos**

- Quantificação do volume de metano gerado pela decomposição dos resíduos no aterro sanitário do município de Ibiporã.
- Quantificação do potencial energético em relação ao volume de metano gerado pela decomposição dos resíduos.
- Projeção do potencial de geração de gás e de energia considerando uma projeção de 5 anos de vida útil restante.
- Avaliação das vantagens e desvantagens da instalação de um sistema de geração de energia por queima do metano gerado pelo aterro de Ibiporã.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização do objeto de estudo**

O município de Ibiporã, localizado no norte do Estado do Paraná, possui, segundo o último censo do IBGE (2010) uma população de 48.198 habitantes e uma previsão de 52.848 habitantes para o ano de 2016. Segundo informações fornecidas pelo Município em sua página virtual, Ibiporã está localizada na microrregião de Londrina, e compõe a mesorregião geográfica do Norte do Paraná.

Originalmente criado como Distrito do Município de Sertanópolis, Ibiporã foi declarada com autonomia de Município no ano de 1947 por meio da lei nº. 02/47 sancionada pelo Governador Moisés Lupion. Atualmente o Município tem uma área territorial de 298,87 km<sup>2</sup>, resultando em uma densidade populacional de cerca de 160 habitantes por km<sup>2</sup> (IBGE, 2010; IPARDES, 2011).

A economia do município, segundo o IPARDES (2013), reflete-se em um Produto Interno Bruto *Per Capita* de R\$ 38.501,00 e apresenta um Índice FIRJAN de Desenvolvimento Econômico de 0,8287, indicando um alto desenvolvimento nesse setor, classificando-se como 22º Município com melhor desenvolvimento econômico do Estado, e 203º frente à totalidade do território nacional (FIRJAN, 2015).

Apesar das posições de pouca notoriedade no cenário nacional, Ibiporã destacou-se no ano de 2010, quando foi tema em foco da mídia ao mostrar o programa de educação ambiental e inclusão da população na tarefa de fazer em casa a separação do lixo em três partes (orgânico, reciclável e rejeito) para posterior destinação correta a cada um. O Município foi premiado por esse esforço na 1ª edição, o "Prêmio 5 de Junho - Sustentabilidade na Administração Pública: uma prática de valor, respeito e sucesso". A premiação consiste em uma iniciativa do Instituto Negócios Públicos do Brasil, em fomentar a discussão de medidas voltadas à sustentabilidade e reconhecer e valorizar as práticas socioambientais dos municípios e empresas públicas.

O programa de coleta estabelecida do município foi elaborado em conjunto com o Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto - SAMAE, a empresa responsável pela operação de coleta e destinação dos resíduos, Kurica Ambiental, e a prestadora de serviços de consultoria ambiental, Master Ambiental.

O sistema estabelecido para a coleta baseia-se em três setores de coleta de resíduos: Setor 1, que abrange os bairros centrais do Município; Setores 2 e 3, que abrangem os bairros periféricos de Ibiporã. O mapa a seguir expõe a distribuição atual dos bairros de acordo com cada setor de coleta (Figura 1).

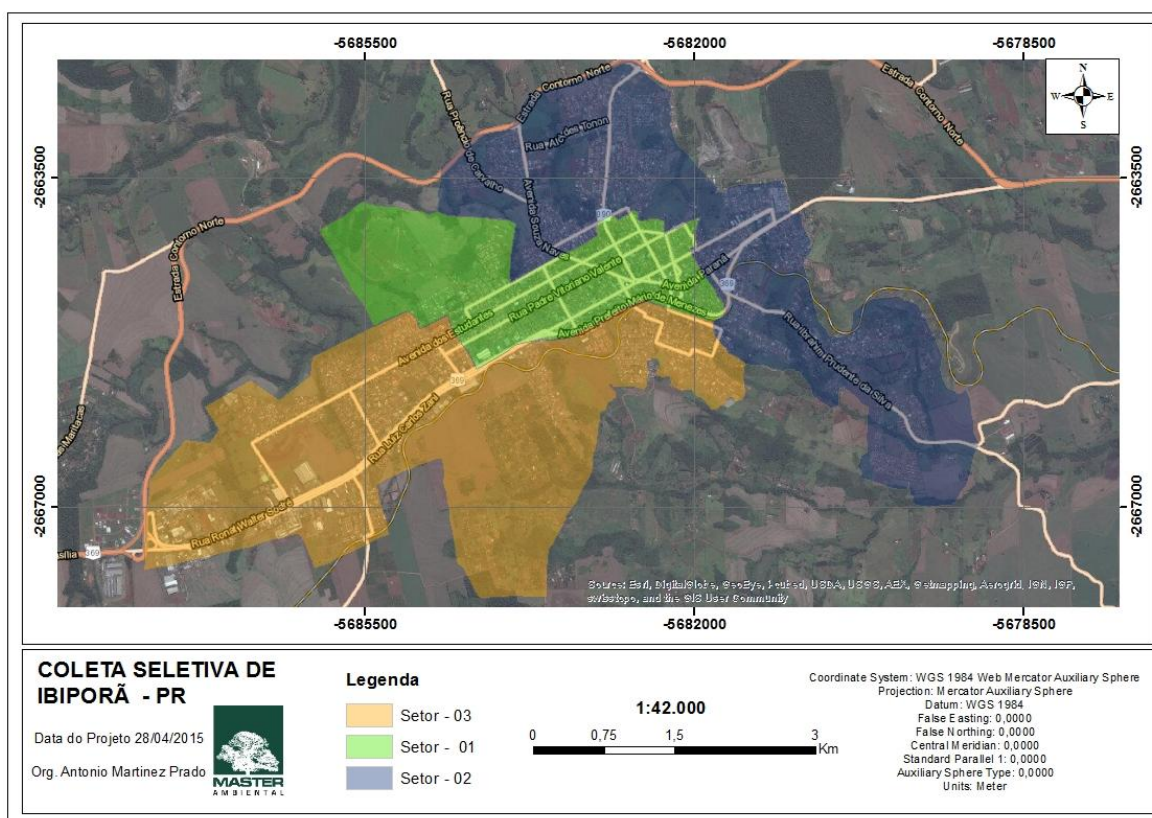


Figura 1: Distribuição dos Setores de coleta do Sistema de Coleta Seletiva da Cidade de Ibiporã.  
 Fonte: Master Ambiental, 2015

De acordo com informações disponíveis em página virtual do programa de coleta seletiva, a coleta de resíduos orgânicos é realizada 3 vezes por semana, devido à perecibilidade dessa tipologia. Os resíduos recicláveis, que se apropriadamente acondicionados, não causam maus odores e podem ser estocados por mais tempo, são coletados uma vez por semana nos setores 2 e 3. No setor 1, devido à presença de grandes geradores como shopping, hospitais, supermercados e comércio, a coleta de recicláveis é realizada três vezes por

semana. A coleta de rejeitos, devido ao potencial de geração de maus odores, é realizada com maior frequência do que os recicláveis, sendo duas vezes por semana nos setores 2 e 3 e três vezes no setor 1.

A programação da coleta seletiva é ilustrada na Figura 2 a seguir:

Setor	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
1	Orgânico	Rejeito	Orgânico	Rejeito	Orgânico	Rejeito
		Reciclável		Reciclável		Reciclável
2	Orgânico	Rejeito	Orgânico	Reciclável	Orgânico	Rejeito
3	Rejeito	Orgânico	Reciclável	Orgânico	Rejeito	Orgânico

Figura 2: Dias de coleta por tipo de resíduos e por setor no Município de Ibiporã.  
Fonte: Recycle Agora Ibiporã, 2016.

Os rejeitos, após coletados nos dias e horários preestabelecidos, são destinados para o aterro do Município, localizado às margens da Rodovia PR-862, próximo à confluência viária com a Rodovia PR-090, cerca de 2 km do centro do município.

A célula em operação do aterro de Ibiporã foi projetada em uma manta de PEAD para impermeabilização e cobertura com uma camada de solo. A drenagem da parcela líquida da decomposição dos resíduos (chorume) é coletada por meio de drenos de brita rachão instalados na base da célula. O chorume é destinado a uma lagoa de acumulação de retorno para o aterro para auxiliar no processo de decomposição.

A drenagem de gás gerado pela decomposição dos rejeitos é realizada por meio de uma tubulação de PVC perfurada envolvida em brita rachão e sustentada por sistemas de grelhas metálicas. Apesar da existência da estrutura de drenagem, o gás de aterro, atualmente não é queimado, sendo liberado para a atmosfera em seu estado natural. A célula de deposição de rejeitos do aterro de Ibiporã pode ser visualizada na Figura 3, a seguir.



Figura 3: Vala de rejeitos – Aterro sanitário de Ibiporã.  
Fonte: O próprio autor, 2015.

### 3.2 Coleta de dados

A coleta dos dados referentes aos resíduos gerados no município de Ibiporã é controlada por meio dos Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) fornecidos pela prestadora de serviços que realiza a coleta. Para elaboração desses MTR, o aterro de Ibiporã conta com uma balança para a pesagem dos resíduos que serão despejados na célula em operação.

O sistema de coleta seletiva realiza a coleta de três tipos de resíduos: orgânicos, rejeitos e recicláveis. A metodologia utilizada na implantação do sistema prevê que sejam retirados do “lixo” os recicláveis e os orgânicos, restando, desta forma, somente os rejeitos, caso a separação na fonte seja realizada adequadamente.

Os MTR são elaborados pelos responsáveis pelos veículos de coleta e registram o dia da coleta, nome do motorista e dos coletores, horário de início e fim

da coleta, tipo do resíduo, setor da coleta, peso total do caminhão com o resíduo e peso do caminhão vazio (tara) e destino do resíduo. Com esses dados é possível obter um controle diário de destinação de resíduos, por tipo de resíduo e por setor de coleta.

O monitoramento foi realizado desde o ano de 2009 e possibilitou a criação de um extenso banco de dados sobre a coleta seletiva. Segue na Figura 4 a evolução da quantidade média diária de resíduos por tipo de coleta durante os anos que foi realizado o monitoramento pela terceirizada.

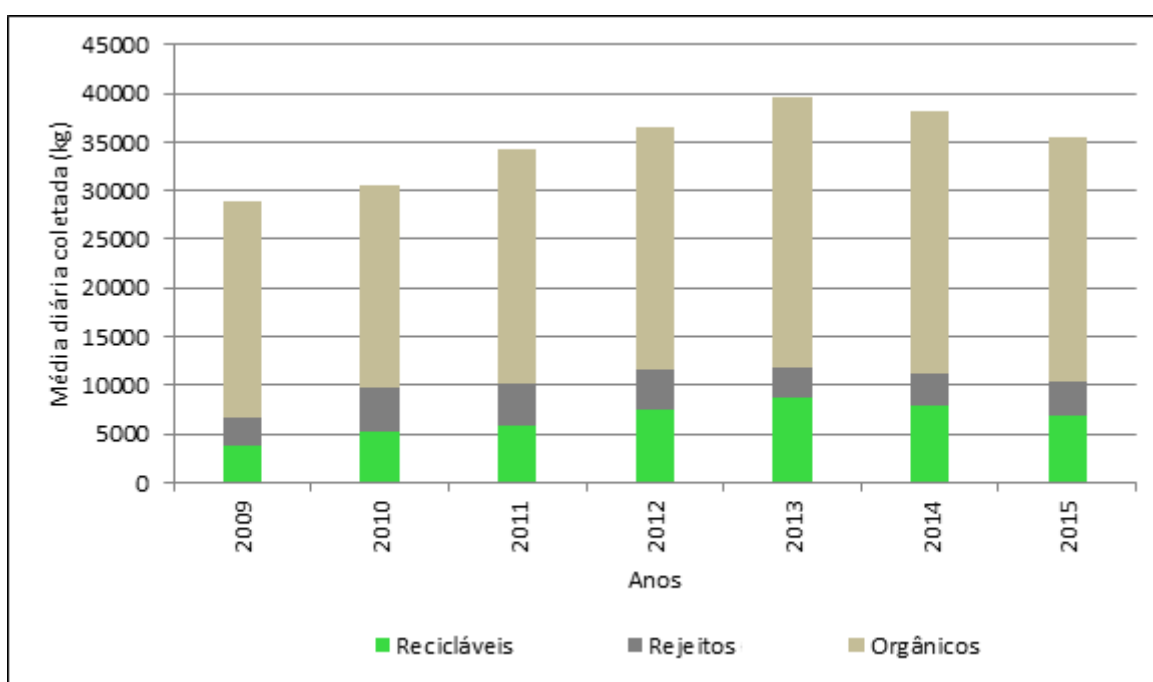


Figura 4: Evolução da massa diária média de resíduos de cada tipo de coleta desde o ano de 2009 até 2015.

Fonte: Master Ambiental, agosto de 2015.

Essa imagem representa a média de peso diária do resíduo coletado como rejeito, orgânico ou reciclável. Entretanto, é comum que haja mistura nos resíduos destinados. Por exemplo, nos resíduos coletados como orgânicos, também podem estar presentes parcelas de resíduos recicláveis e rejeitos, devido a erros na separação dos resíduos na fonte.

Para uma melhor compreensão do que era destinado à célula de rejeitos, à compostagem e à reciclagem, eram realizadas análises gravimétricas dos três tipos de coleta de resíduos. A análise da composição gravimétrica, afere a quantidade

de cada tipo de resíduo presente na massa total coletada como orgânicos, recicláveis ou rejeito. Dessa forma, tem-se o exposto pela Figura 5.



Figura 5: Distribuição das parcelas de resíduos dentro da coleta seletiva.  
Fonte: O autor, 2017

Para refinamento dos dados, considerou-se que o aterro de Ibiporã iniciou suas atividades em 2007. Entretanto, o programa de coleta seletiva do Município foi implementado apenas em novembro de 2009. Dessa forma, no intervalo inicial de operação, o aterro recebia a somatória de resíduos gerado pela população. A partir da implementação do programa de coleta seletiva, o aterro passou a receber os resíduos de forma segregada, o que reduziu o volume de entrada diária de resíduos no aterro.

O acompanhamento da deposição dos resíduos nas células, como já exposto, iniciou-se junto com o programa de coleta seletiva. Dessa forma, a fim de estimar a quantidade de resíduos depositada no aterro no período compreendido entre o início do funcionamento e o início do acompanhamento, foram utilizados os índices de progressão da geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil registrados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) nos Panoramas dos Resíduos Sólidos dos anos de 2008, 2009 e 2010.

Os índices foram aplicados sobre os valores mensais obtidos pelo acompanhamento da coleta de resíduos do município de forma retroativa,

respeitando a metodologia de progressão utilizada para o cálculo dos índices fornecidos pela ABRELPE.

Para a estimar a massa de resíduos depositada no aterro após o encerramento do controle dos dados da terceirizada, buscou-se encontrar uma curva que representasse de forma correlata o crescimento da geração de resíduos e a dinâmica populacional. Dessa forma, foram utilizados dados de crescimento populacional do Município de Ibiporã, segundo as estimativas do IBGE, que seguem apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Estimativa de número de habitantes no Município de Ibiporã por ano segundo estimativas do IBGE.

Ano	Estimativa de número de habitantes IBGE (Dados publicado no DOU)	Taxa de crescimento anual
2010	48198	
2011	48662	0,96%
2012	49111	0,92%
2013	51225	4,30%
2014	51802	1,13%
2015	52330	1,02%
2016	52848	0,99%
Média de crescimento populacional		1,55%

Fonte: IBGE

Por meio do crescimento populacional estimado observado pelos dados registrados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística no Diário Oficial da União, pode-se obter os valores de crescimento populacional ano a ano, por meio da Equação 1:

$$\text{Taxa de Crescimento Populacional (\%)} = \frac{Hab_{Ano_i} - Hab_{Ano_{i-1}}}{Hab_{Ano_{i-1}}} * 100 \quad (1)$$

Sendo que:

$Hab_{Ano_i}$  = População do ano de referência.

$Hab_{Ano_{i-1}}$  = População do ano anterior ao ano de referência.

Partindo do princípio que a geração dos resíduos acompanha o crescimento populacional, foram utilizados então a média do crescimento populacional aplicados aos volumes registrados de resíduos gerados pelo município para projeção de seus valores. Por meio da metodologia utilizada, o resultado da extrapolação de dados é ilustrado na Figura 6 e Tabela 2 a seguir.

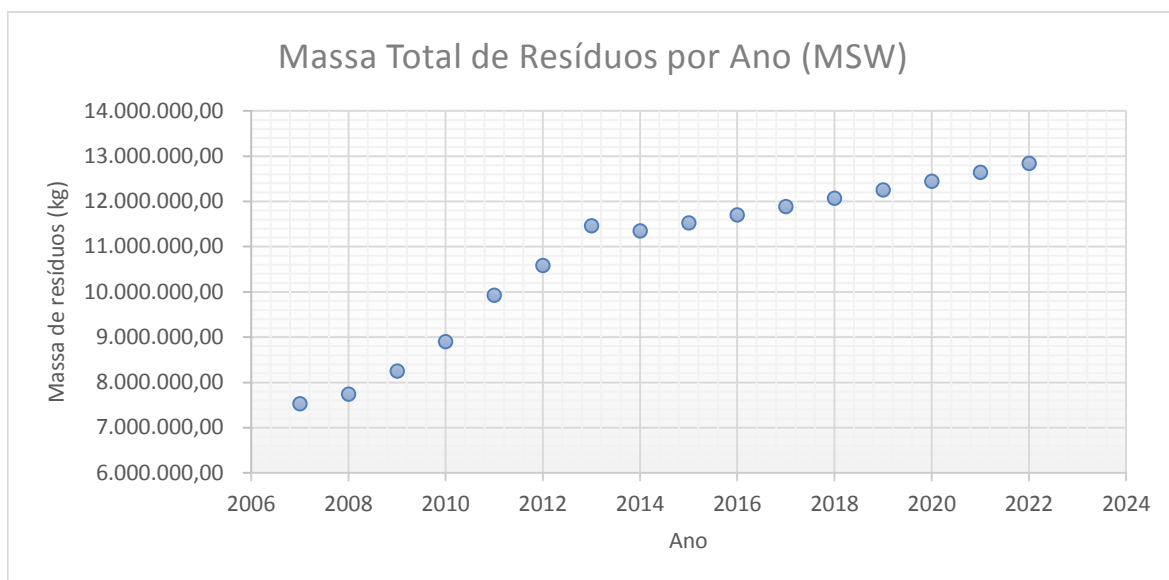


Figura 6: Projeção da Massa Total de Resíduos por Ano (MRS).  
Fonte: O autor, 2017.

Tabela 2: Valores de MRS dos anos acompanhados e projeção de dados até ao ano de 2022.

Ano	MRS (kg)	Ano	MRS (kg)
2007	7.529.824,30	2015	11.524.454,79
2008	7.740.659,38	2016	11.703.572,90
2009	8.251.542,89	2017	11.885.474,94
2010	8.905.227,00	2018	12.070.204,19
2011	9.930.994,00	2019	12.257.804,57
2012	10.588.064,00	2020	12.448.320,73
2013	11.460.185,00	2021	12.641.797,97
2014	11.348.078,00	2022	12.838.282,31

Fonte: O autor, 2017.

Faz-se importante salientar que a massa de resíduos aterrada na célula de rejeitos de Ibiporã refere-se a apenas uma parcela da massa total de resíduos gerada (MRS). Essa parcela de resíduos aterrada como rejeito também constitui uma informação que mostrou variação em função do tempo, dado que no início da operação o aterro recebia 100% dos resíduos gerados, e após a implantação do sistema de coleta seletiva, houve brusca redução do volume diário de resíduos destinado para a célula.

Ainda, cabe ressaltar que as iniciativas de educação ambiental implantadas pelo município geraram melhorias na qualidade de separação dos resíduos, evitando o envio inadequado de rejeitos para outros destinos, bem como removendo das outras parcelas de resíduos (orgânicos e recicláveis) os rejeitos

erroneamente descartados. Dessa forma, o percentual de resíduos aterrado na célula de rejeitos apresentou variações significativas no decorrer do tempo, como apresentado na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3: Percentual de Rejeito gerado no Resíduos Sólido coletado e Percentual de resíduo aterrado em relação à MRS.

Ano	Percentual de rejeito gerado	Percentual de resíduo aterrado em relação à MRS
2007 <sup>1</sup>	30,06%	100,00%
2008 <sup>1</sup>	26,26%	100,00%
2009 <sup>1</sup>	30,06%	83,62%
2010	30,30%	14,85%
2011	29,28%	12,38%
2012	29,04%	11,52%
2013	27,54%	7,74%
2014	27,83%	8,58%

Fonte: O autor, 2017.

Entretanto, nota-se que houve expressiva diferença entre o percentual da massa de resíduos classificada como rejeito e o percentual da massa de resíduos aterrada na célula de rejeitos. Isso indica que parte dessa tipologia ainda é destinada de forma incorreta como orgânicos ou recicláveis. Em paralelo aos esforços ambientais instalados no município de Ibiporã, espera-se que, ao passo que as iniciativas de conscientização da população atinjam seus objetivos, o valor percentual da parcela de rejeito aterrada aproxime-se dos índices de rejeito gerado, de forma que indique melhor separação do resíduo e destinação de uma parcela de rejeitos mais próxima do total gerado. Esse comportamento pode ser vislumbrado no gráfico a seguir (Figura 7) que mostra uma inversão na curva de percentual de aterramento dos resíduos em 2014. Assim, considerou-se também essa variação.

---

<sup>1</sup> O percentual gravimétrico de rejeito gerado dos anos de 2007, 2008 e 2009 foram baseados nas informações obtidas por meio dos dados de coleta de resíduos dos anos seguintes (2010 – 2014). O percentual aterrado referente ao ano de 2009 reflete o início da separação dos resíduos pela população e destinação diferenciada.

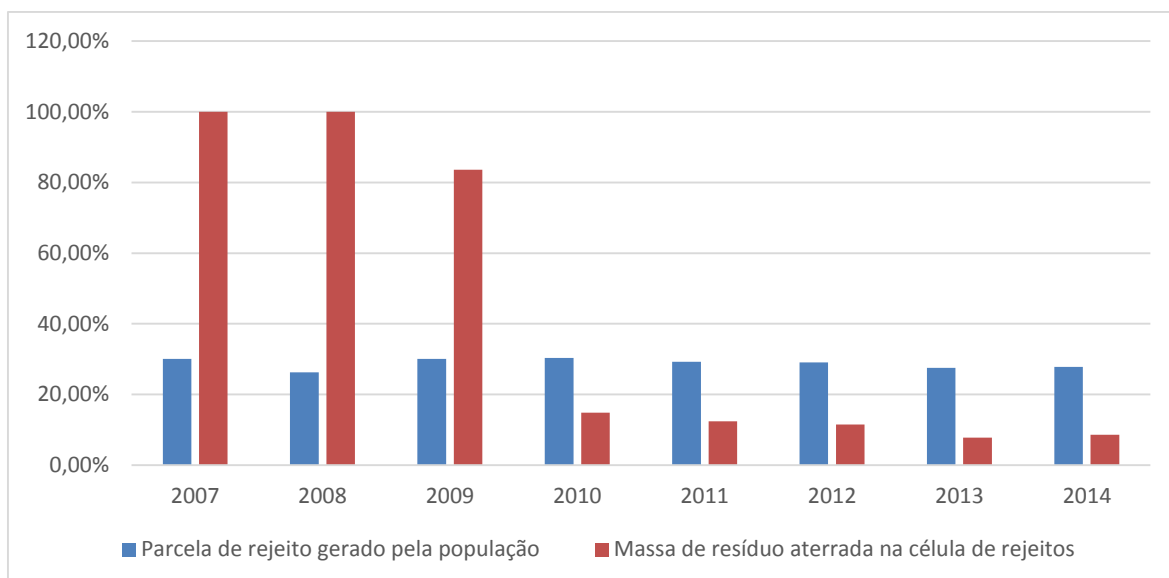


Figura 7: Comparação entre o volume de resíduos aterrado e a parcela de rejeito gerado.  
 Fonte: O autor, 2017.

Deve-se ressaltar ainda que, além das variáveis citadas nesse tópico, os resíduos variam de acordo com outros fatores como renda média e situação econômica da população, entre outros aspectos sociais que não foram considerados neste estudo, devido à imprevisibilidade desse comportamento sob uma avaliação pouco aprofundada. Para a contabilização desses dados, são necessários maiores estudos correlacionando a dinâmica socioeconômica com a geração de resíduos do município.

### 3.3 Estimativa da geração de metano

Para estimar a produção de gás e seu potencial energético na descrita área de disposição de resíduos, a metodologia proposta neste estudo seguiu as orientações constantes no Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do IPCC (2006), em específico no 5º Volume, relativo a resíduos.

De acordo com a referência, a edição revisada do mesmo Guia de 1996 (IPCC, 1997) e o Guia de Boas Práticas e Gerenciamento de Incertezas para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (IPCC, 2000) descrevem dois métodos para estimativa de emissões de CH<sub>4</sub> por Depósitos de Resíduos Sólidos (SWDS): O método de balanço de massa (Tier 1) e o métodos de Decaimento de primeira Ordem – FOD (Tier 2).

Entretanto, as instruções do IPCC (2006) orientam a utilização da metodologia Tier 2 para o cálculo, uma vez que gera estimativas de emissão anual com maior acurácia.

Dessa forma, utilizou-se para o cálculo o modelo elaborado de emissões com base na metodologia de Decaimento de Primeira Ordem (FOD) citadas pela bibliografia. O Guia explica que as emissões de CH<sub>4</sub> por decomposição de resíduos sólidos compreendidas no período de um ano podem ser estimadas pela Equação 2:

$$Emissões_{(CH_4)} = [\sum_x Geração_{CH_4(x,t)} - R_T] * (1 - OX_T) \quad (2)$$

Em que:

Emissões (CH<sub>4</sub>) = CH<sub>4</sub> emitido no ano T (Gg)

T = Ano base

x = tipo ou categoria de resíduo ou material

R<sub>T</sub> = CH<sub>4</sub> recuperado no ano T (Gg)

OX<sub>T</sub> = Fator de oxidação no ano T (fração)

Segundo a metodologia, parte do metano gerado é oxidado na camada de resíduos e a outra parte pode ser recuperada para utilização energética ou queima. Dessa forma, a equação contabiliza a massa livre de CH<sub>4</sub> não recuperada para outros usos ou oxidada.

Para este estudo, entretanto, busca-se saber a quantidade de CH<sub>4</sub> gerada pelo aterro para aproveitamento energético. Para esse cálculo, um dado importante inserido no modelo é a quantidade de matéria orgânica degradável (DOC<sub>m</sub>) no resíduo. Essa informação é estimada com base nos diferentes tipos e categorias de resíduos separadamente. O potencial de geração de CH<sub>4</sub> é estimado com base na quantidade e composição dos resíduos, e a forma de manejo dos resíduos no local da destinação final. Dessa forma, para calcular o Potencial de Geração de CH<sub>4</sub>, o modelo utiliza a Equação 3.

$$L_o = W * COD * COD_f * FCM * F * \left(\frac{16}{12}\right) \quad (3)$$

Em que:

$L_o$  = Potencial de geração de CH<sub>4</sub> (Gg CH<sub>4</sub>)

$W$  = Massa de resíduos depositado (Gg)

$COD$  = Carbono orgânico degradável no ano da deposição (fração - Gg C/Gg Resíduo)

$COD_f$  = Fração de COD que pode ser decomposta (fração)

$FCM$  = Fator de correção do metano para decomposição anaeróbica no ano de deposição (fração)

$F$  = Fração de CH<sub>4</sub> no gás de aterro gerado (fração de volume)

$16/12$  = Razão do peso molecular CH<sub>4</sub>/C

Para a reação de decaimento de primeira ordem, a quantidade do produto é sempre proporcional à quantidade de material reativo. Dessa forma, sabendo-se a quantidade de resíduos disposto no início do ano, todo ano pode ser considerado como o ano número 1 no método de estimativa, seguindo as Equações 4 e 5:

Massa de COD acumulada no aterro ao final do ano T.

$$CODDma_T = CODDmd_T + (CODDma_{T-1} * e^{-k}) \quad (4)$$

Massa de COD decomposta ao final do ano T.

$$CODDm_{degrad_T} = CODDma_{T-1} * (1 - e^{-k}) \quad (5)$$

Em que:

$T$  = Ano base

$CODDma_T$  = Massa de COD acumulada no aterro ao final do ano T (Gg)

$CODDma_{T-1}$  = Massa de COD acumulada no aterro ao final do ano (T-1)  
(Gg)

$CODDmd_T$  = Massa de COD depositada no aterro no ano T (Gg)

$COD_{Dm\ degrad_T}$  = Massa de COD degradada no aterro no ano T (Gg)  
K = constante de decaimento ( $ano^{-1}$ )

A quantidade de  $CH_4$  formado pelo material degradável é encontrada por meio do produto entre a fração de  $CH_4$  no gás de aterro gerado e a razão de peso molecular  $CH_4/C$ , como mostra a Equação 6.

$$CH_4gerado_T = DDOCm\ decomp_T * F * \frac{16}{12} \quad (6)$$

Em que:

$CH_4gerado_T$  = quantidade de  $CH_4$  gerado pelo material degradável

$COD_{Dm\ degrad_T}$  = Massa de COD degradada no aterro no ano T (Gg)

F = Fração de  $CH_4$  no gás de aterro gerado (fração de volume)

16/12 = Razão do peso molecular  $CH_4/C$

Para o cálculo do COD o modelo utiliza a Equação 7:

$$COD = \sum_i(COD_i * W_i) \quad (7)$$

Em que:

COD = Fração de carbono orgânico degradável da massa total do resíduo;

$COD_i$  = Fração de carbono orgânico degradável da massa do tipo de resíduo i;

$W_i$  = Fração do tipo de resíduo i por categoria do resíduo

O valor do COD reflete uma composição ponderada de parcelas de  $COD_i$ . Esses valores foram estabelecidos com base no padrão estabelecido pela Tabela 2.4 do Módulo 5 – Resíduos, do Guia do IPCC, Volume 2: Geração de Resíduos (IPCC, 2006).

### 3.4 Estimativa da Potencial Energético

Para a determinação da potência e energia disponível, utilizou-se o modelo fornecido no Manual de Aproveitamento de Biogás – Volume 1: Aterros Sanitários, publicado pelo International Council for Local Environmental Initiatives (ICLEI) - Brasil (2009, pg. 64). Para estimativa da Potência energética e Energia Disponível, apresentam-se as Equações 8 e 9:

$$P=Q*PCI*\eta/860.000 \quad (8)$$

Em que:

- P = Potência Disponível (MW);  
Q = Vazão de CH<sub>4</sub> por ano (m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano)  
PCI = Poder Calorífico Inferior do metano (kcal/m<sup>3</sup>).  
η = Eficiência de motores = 0,28 (ICLEI, 2009)  
860.000 = conversão de kcal para MW

$$E = P*Rend*Tempo \text{ de Operação} \quad (9)$$

Em que:

- E = Energia disponível (MWh/dia)  
Rend = Rendimento de motores operando a plena carga = 0,87%.  
Tempo de operação do motor = 24 horas/dia

Faz-se importante salientar que foram encontrados dois valores para o PCI do metano em diferentes bibliografias: 35,53 MJ/m<sup>3</sup>, correspondente a 8486,2 kcal/m<sup>3</sup> (Pecora, Velázquez e Coelho, 2009; Figueiredo, 2007); 5.500 kcal/m<sup>3</sup>, orientado pelo supracitado manual (ICLEI, 2009). Dessa forma, para essa avaliação, optou-se pelo cálculo de Potência e Energia disponível para ambos os valores encontrados, dada a relevância das bibliografias.

Para a conversão de toneladas para m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>, considerou-se a densidade do metano (0 °C e 1,013 bar) como 0,0007168 t/m<sup>3</sup> (Pecora, Velázquez e Coelho, 2009; Figueiredo, 2007).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Estimativa de geração de gás metano

Estimou-se a geração de gás metano por meio da degradação da parcela orgânica do volume aterrado nas células de rejeito (encerradas e em operação) do aterro sanitário de Ibiporã.

Para delimitar o modelo, estabeleceu-se um intervalo de funcionamento do aterro sanitário desde o seu início conhecido até 5 anos a contar do ano corrente (2017). Dessa forma, o modelo contabiliza uma deposição de resíduos sólidos no aterro existente até o ano de 2022.

Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Massa de Resíduos depositada no aterro e estimativa de geração de CH<sub>4</sub>.

Ano	Resíduos Sólido Depositado (t)	CH <sub>4</sub> Gerado (t)	Ano	Resíduos Sólido Depositado (t)	CH <sub>4</sub> Gerado (t)
2007	7.529,82	-	2022	2.446,98	97,46
2008	7.740,66	79,75	2023	0	107,45
2009	6.899,65	143,00	2024	0	92,53
2010	1.322,73	183,13	2025	0	80,22
2011	1.229,32	155,33	2026	0	69,96
2012	1.220,13	135,67	2027	0	61,34
2013	886,72	122,13	2028	0	54,03
2014	973,24	109,62	2029	0	47,79
2015	873,55	101,33	2030	0	42,44
2016	896,49	94,31	2031	0	37,81
2017	981,74	89,21	2032	0	33,80
2018	1.132,19	86,12	2033	0	30,30
2019	1.350,81	85,17	2034	0	27,24
2020	1.640,69	86,58	2035	0	24,55
2021	2.004,99	90,59	2036	0	22,19

Fonte: O autor, 2017.

Nota-se, pelos resultados expressos na Tabela 4, que a geração de metano continua mesmo após o encerramento da célula, estimando-se a geração de toneladas de CH<sub>4</sub> anos após a interrupção de deposição de resíduos. Esse resultado é esperado devido à continuada atividade de decomposição dos resíduos já aterrados.

Com base nos valores de massa de CH<sub>4</sub> gerados pela decomposição dos resíduos, é possível calcular o volume de gás metano gerado. Os resultados da razão entre a massa de CH<sub>4</sub> gerado por ano e a densidade encontrada para o gás resulta nos volumes descritos na tabela abaixo:

Tabela 5: Volume estimado de CH<sub>4</sub> gerado pelo Aterro Sanitário de Ibiporã.

Ano	CH4 Gerado (t)	CH4 Gerado (m <sup>3</sup> )	Ano	CH4 Gerado (t)	CH4 Gerado (m <sup>3</sup> )
2007	-	-	2022	97,46	135.965,63
2008	79,75	111.255,01	2023	107,45	149.907,44
2009	143,00	199.493,00	2024	92,53	129.087,45
2010	183,13	255.484,24	2025	80,22	111.915,70
2011	155,33	216.700,41	2026	69,96	97.607,28
2012	135,67	189.266,33	2027	61,34	85.576,45
2013	122,13	170.379,65	2028	54,03	75.379,93
2014	109,62	152.934,83	2029	47,79	66.677,47
2015	101,33	141.362,18	2030	42,44	59.204,31
2016	94,31	131.564,62	2031	37,81	52.751,70
2017	89,21	124.458,89	2032	33,80	47.153,03
2018	86,12	120.138,29	2033	30,30	42.273,83
2019	85,17	118.818,09	2034	27,24	38.004,49
2020	86,58	120.788,43	2035	24,55	34.254,88
2021	90,59	126.384,12	2036	22,19	30.950,28

Fonte: O autor (2017).

Para fins de aproximação com a realidade do aterro, adotou-se uma eficiência de coleta de biogás de 75%, com base em estudos de caso em aterros com operação semelhantes realizados por Figueiredo (2007), Candiani e Silva (2011), Soares (2013) e pela ABRELPE (2013), em aterros como Caieiras (Caieiras, São Paulo) e CTR São Mateus (São Mateus, Espírito Santo). O percentual adotado considera a operação do aterro em paralelo ao projeto de captura e aproveitamento do biogás. De acordo com a ABRELPE (2013), essa etapa implica na existência de zonas abertas na frente de trabalho que possibilitam fugas de biogás para a atmosfera. Os resultados expressos na Tabela 5 e a estimativa de captação real de metano para o aterro de Ibiporã são ilustrados na Figura 8.

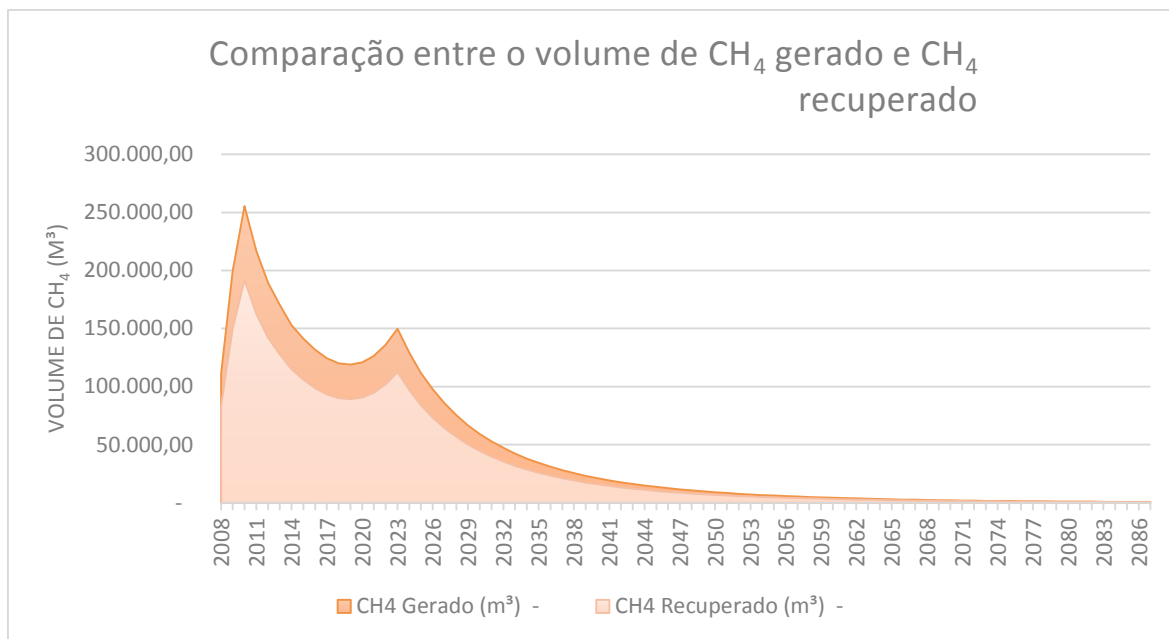


Figura 8: Comparação entre as estimativas de CH<sub>4</sub> gerado e CH<sub>4</sub> recuperado.  
Fonte: O autor, 2017.

Segundo o Guia do IPCC (2006), o modelo compõe-se caracteristicamente de um período de aumento de geração relacionado ao intervalo de funcionamento do aterro, seguido de um decréscimo exponencial causado pela interrupção da operação dos locais de disposição de resíduos. Entretanto, na Figura 8 percebem-se dois momentos de crescimento seguidos de dois momentos de redução exponencial. Esse comportamento se justifica pela alteração do manejo dos resíduos pelo município. Nos anos iniciais de operação a totalidade dos resíduos do município era destinada ao aterro. No final do ano de 2009, iniciou-se a campanha de coleta seletiva de resíduos e destinação exclusiva de rejeito para aterramento.

Um estudo análogo foi realizado por Almeida et al (2016) no Aterro Sanitário de Francisco Beltrão, Sudoeste do Paraná, por meio do Software Biogás, geração e uso energético – aterro 1.0 (CETESB,2006), mostrou um comportamento de geração de gás metano semelhante. De acordo com o estudo, o aterro recebe, em média, 1.440.000 kg de resíduos sólidos por mês. Os resultados do estudo mostram que a menor taxa de geração acontece no primeiro ano, com 175.000 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano e a maior no último ano, com 1.959.000 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano. Após o encerramento do aterro, a geração do metano se dá somente pela decomposição dos resíduos já depositados no local, resultando em um decréscimo na sua geração.

Por fim, estimou-se um aumento em relação à destinação de rejeitos para o aterro do município baseado no montante de resíduos identificados como rejeito pelas gravimetrias realizadas. Esse comportamento é ilustrado na Figura 9 que mostra que ambos os picos de geração de metano são decorrentes de picos de entrada de resíduos no aterro.

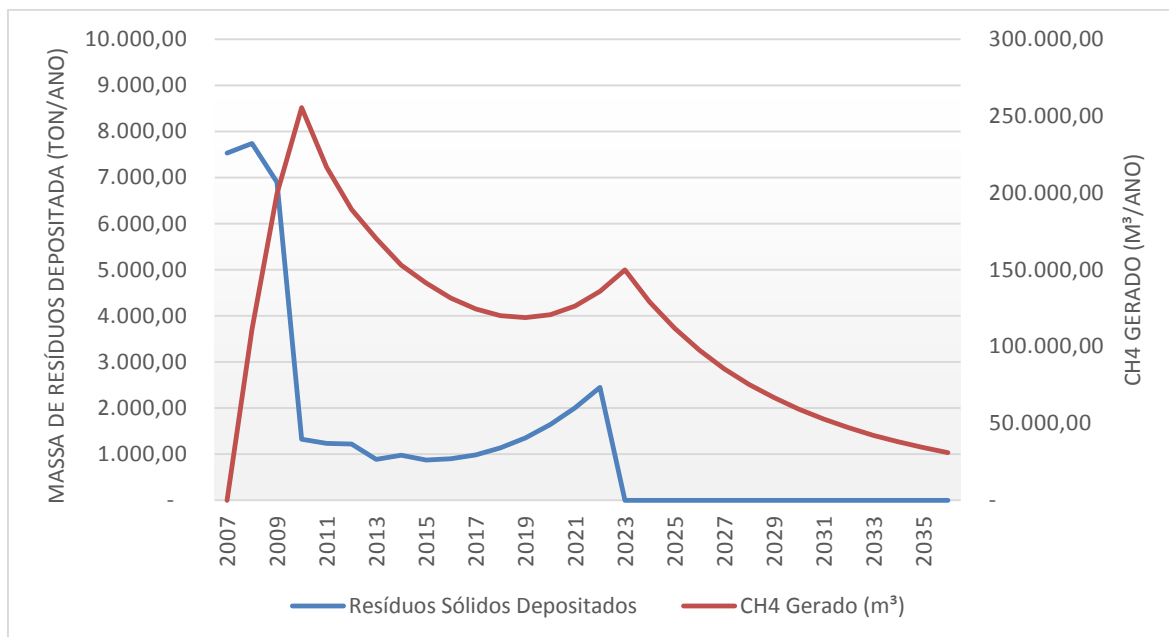


Figura 9: Comparativo entre a geração de CH4 (m³) e a disposição dos resíduos no aterro.  
Fonte: O autor, (2017).

## 4.2 Estimativa de Energia disponível no Metano Gerado

A partir dos resultados expostos no tópico anterior, considerando fatores como Poder Calorífico Inferior (PCI) do Metano e a eficiência global de motores de geração de energia a gás, pôde-se calcular a Potência Disponível (MW) no gás recuperado. Ainda com base em dado de rendimento de motores operando a plena carga e o tempo de operação do motor, foi possível calcular a Energia Disponível (MWh/dia). Esses resultados são expressos na Tabela 6.

Tabela 6: Estimativa de Potência e Energia Disponível do gás metano gerado pela decomposição dos resíduos no Aterro Sanitário de Ibiporã.

Ano	ICLEI, 2009		Pecora, Velázquez e Coelho, 2009; Figueiredo, 2007	
	Potência Disponível (MW)	Energia Disponível (MWh/dia)	Potência Disponível (MW)	Energia Disponível (MWh/dia)
2007	-	-	-	-
2008	0,017	0,356	0,026	0,550
2009	0,023	0,479	0,047	0,985
2010	0,029	0,613	0,060	1,262
2011	0,025	0,520	0,051	1,070
2012	0,022	0,454	0,045	0,935
2013	0,020	0,409	0,040	0,842
2014	0,018	0,367	0,036	0,755
2015	0,016	0,339	0,033	0,698
2016	0,015	0,316	0,031	0,650
2017	0,014	0,299	0,029	0,615
2018	0,014	0,288	0,028	0,593
2019	0,014	0,285	0,028	0,587
2020	0,014	0,290	0,029	0,597
2021	0,015	0,303	0,030	0,624
2022	0,016	0,326	0,032	0,672
2023	0,017	0,360	0,035	0,740
2024	0,015	0,310	0,031	0,638
2025	0,013	0,269	0,026	0,553
2026	0,011	0,234	0,023	0,482
2027	0,010	0,205	0,020	0,423
2028	0,009	0,181	0,018	0,372
2029	0,008	0,160	0,016	0,329
2030	0,007	0,142	0,014	0,292
2031	0,006	0,127	0,012	0,261
2032	0,005	0,113	0,011	0,233
2033	0,005	0,101	0,010	0,209
2034	0,004	0,091	0,009	0,188
2035	0,004	0,082	0,008	0,169
2036	0,004	0,074	0,007	0,153

Fonte: O autor, 2017.

Nota-se que o comportamento dos picos da Potência Disponível e da Energia Disponível no gás metano gerado são semelhantes ao apresentado pelos dados de CH<sub>4</sub> gerado.

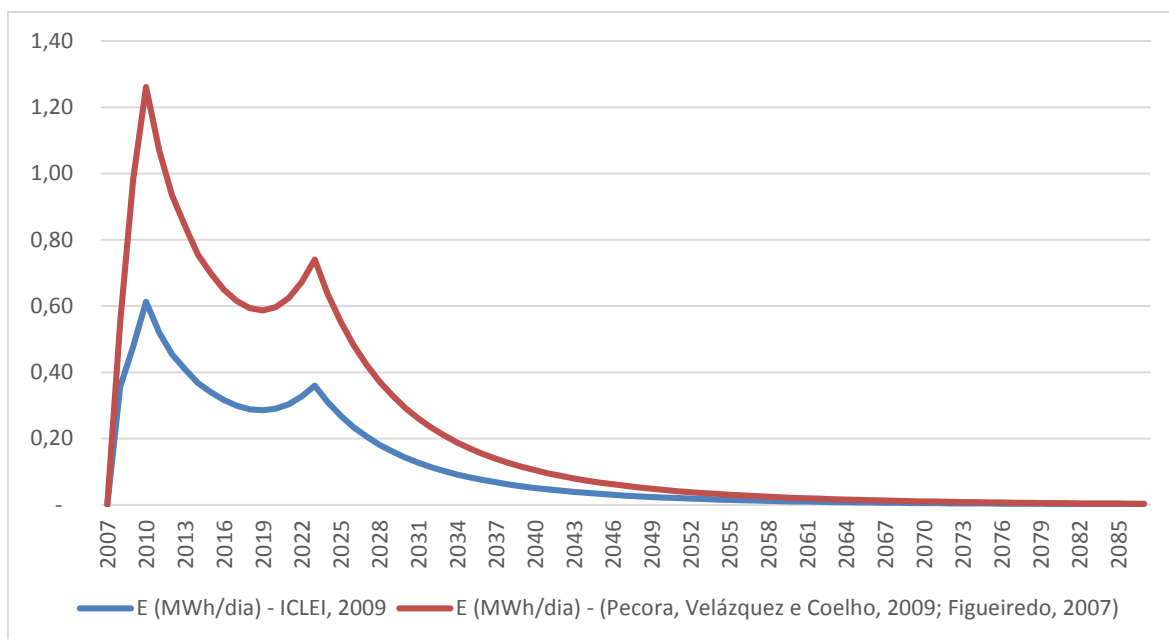


Figura 10: Comparação do potencial de geração de energia com os valores de PCI do metano das diferentes bibliografias.  
 Fonte: O autor, 2017.

Como observado na Figura 10, notam-se picos de geração de Energia Disponível logo após os anos de 2009, período em que houve brusca redução da disposição de resíduos no aterro de Ibiporã, e após 2022, ano estabelecido como encerramento do aterro e, segundo o modelo apresentado, interrupção da disposição de resíduos nas células.

Os resultados mostram que, no ano de 2017, estima-se que o gás metano gerado pela decomposição dos resíduos do aterro deve ser suficiente para gerar até 615 kWh/dia. As projeções dos dados indicam ainda um pico futuro de geração de metano em 2023, após o encerramento das atividades, de 740 kWh/dia.

Estudos de casos encontrados sobre a Central de Tratamento de Resíduos Caieiras (CTR – Caieiras), localizado a noroeste da Região Metropolitana de São Paulo, observaram relações entre o volume de metano gerado pelo aterro e o respectivo potencial de geração de energia elétrica semelhante aos resultados apresentados nesse estudo. Figueiredo (2011), em avaliação semelhante à proposta nesse estudo, calculou a geração do metano pela decomposição da massa depositada com base em parâmetros de concentração de metano no biogás de 45% e eficiência de coleta de 65%. As estimativas mostram que, no ano de 2010,

seriam gerados 88.732.775,75 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>, o que resultou em estimativas de geração de 248,7 MWh/día de Energia Disponível.

A análise realizada por Souza et al (2011), para o Aterro Sanitário de Palmas/TO, mostra também um comportamento semelhante. Os resultados foram obtidos por meio da metodologia de cálculo da Agência de Proteção Ambiental dos EUA - “Municipal Solid Waste Landfills” (1998) e mostram que para uma geração de metano de 1.681.796,00 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ano obtêm-se uma potência e energia disponível, respectivamente, de 0,54 MW e 11,28 MWh/dia.

Faz-se importante ainda ressaltar que, ao tratar-se de aterros sanitários e decomposição do material depositado, as comparações entre os casos estudados devem considerar as diferenças inerentes a cada sistema. Segundo Almeida et al (2016), tentar fazer comparações da estimativa de geração de biogás com outros aterros é uma tarefa complicada, uma vez que cada aterro sanitário possui características de projeto, fluxo de entrada de resíduos e locais com climas diferenciados.

Por fim, os dados obtidos nesse estudo refletem valores de potencial de geração de energia da ordem de 0,6 MWh/dia para o ano de 2017. A mérito de comparação, utiliza-se o dado apresentado pela Empresa de Pesquisa Energética (2016), para o consumo de uma unidade residencial localizada no sul do País. Uma residência consome, em média, 177,4 kWh/mês, equivalente a aproximadamente 0,006MWh/dia. Segundo esses dados, o aterro de Ibiporã teria potencial para sustentar 100 residências com consumo similar ao apresentado.

#### **4.3 Estimativa de Emissões em tCO<sub>2</sub> equivalente resultante do CH<sub>4</sub> gerado.**

Por meio dos resultados obtidos e com o dado de GWP do metano fornecido pelo Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (GHG Protocol, 2013), pode-se calcular o equivalente em tCO<sub>2</sub> gerado pelas emissões de CH<sub>4</sub> do aterro de Ibiporã durante o funcionamento. A Tabela 7 mostra os resultados de CH<sub>4</sub> gerado desde o início da célula do aterro até o ano de 2036, representando um intervalo de 30 anos de emissões de CH<sub>4</sub>.

Tabela 7: Cálculo de emissões CH<sub>4</sub> em valores equivalentes de Toneladas de CO<sub>2</sub>.

Ano	Toneladas de CH <sub>4</sub> gerado (tCH <sub>4</sub> )	Equivalente em Toneladas de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> e)
2007	-	-
2008	79,75	2.232,93
2009	143,00	4.003,90
2010	183,13	5.127,67
2011	155,33	4.349,26
2012	135,67	3.798,65
2013	122,13	3.419,59
2014	109,62	3.069,46
2015	101,33	2.837,20
2016	94,31	2.640,55
2017	89,21	2.497,94
2018	86,12	2.411,22
2019	85,17	2.384,73
2020	86,58	2.424,27
2021	90,59	2.536,58
2022	97,46	2.728,88
2023	107,45	3.008,70
2024	92,53	2.590,84
2025	80,22	2.246,19
2026	69,96	1.959,02
2027	61,34	1.717,55
2028	54,03	1.512,91
2029	47,79	1.338,24
2030	42,44	1.188,25
2031	37,81	1.058,75
2032	33,80	946,38
2033	30,30	848,45
2034	27,24	762,77
2035	24,55	687,51
2036	22,19	621,18
<b>Total</b>	<b>2.391,06</b>	<b>66.949,60</b>

Fonte: O autor, 2017.

Esse resultado expressa um valor aproximado de 67 mil toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente gerados pelo aterro em um período de 30 anos, sob as condições estudadas nesse modelo. Faz-se importante salientar, entretanto, que esse valor reflete apenas um equivalente do gás metano estimado gerado pelo aterro e não o volume de redução de emissões relacionado à instalação de um sistema de aproveitamento energético. Para se calcular esses valores, devem ser analisadas

outras variáveis como as emissões geradas pela própria instalação e a operação do sistema.

## 5 CONCLUSÕES

Desde o ano de 2009 até o ano de 2015, a Master Ambiental, consultoria de engenharia ambiental da região de Londrina/PR, acompanhou periodicamente o processo de separação de resíduos instalado no município de Ibiporã – PR. Os dados gerados constituíram uma sólida fonte de dados para a avaliação de geração de resíduos da população, bem como para o percentual gravimétrico do volume coletado durante esse período.

Essa fonte de dados mostrou-se como uma importante ferramenta para a avaliação proposta por esse estudo, cujo objetivo é a análise da possibilidade de geração de energia elétrica com base na composição dos resíduos depositados.

O estudo mostrou que o Aterro Sanitário de Ibiporã apresentou um potencial de geração de até 228 mil m<sup>3</sup> de gás metano no ano seguinte ao ano projetado para seu encerramento com a decomposição do volume de rejeitos descartados na célula. O Potencial Energético atribuído a essa geração de metano resultou em cerca de 740 kWh/dia.

De acordo com os dados apresentados, o aterro possui potencial para geração de energia elétrica suficiente para a manutenção de 100 residências com consumo médio de 177,4 kWh/mês, valor médio de consumo de uma unidade residencial do sul do país. A utilização desse potencial atribui a um passivo ambiental uma importante contrapartida, constituindo-se como uma alternativa para redução do impacto causado pelo aterramento de resíduos e pelo lançamento do gás de aterro gerado pela decomposição dos resíduos sólidos coletado.

A utilização desses dados, bem como a avaliação da possibilidade de geração de energia com o produto da decomposição dos resíduos permitirá a discussão sobre as vantagens da instalação de um sistema de geração de energia em um aterro municipal do porte semelhante ao estudado, fomentando o desenvolvimento de projetos sustentáveis em municípios com projetos equiparáveis. Estudos com esse tema deverão servir para difundir as informações sobre tecnologias alternativas para reaproveitamento dos resíduos.

## 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, H. C., MELLO, A. R., GRASSI, R., & ALMEIDA, D. O. **Potencial de Geração de Energia Elétrica e de Créditos de Carbono a partir da Estimativa de Emissão de Metano em Aterro Sanitário no Sudoeste do Paraná.** Revista de Engenharia e Tecnologia, 8(3), 116-130. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. 2015. **Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos.** São Paulo. ABRELPE. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/arquivos/atlas\\_portugues\\_2013.pdf](http://www.abrelpe.org.br/arquivos/atlas_portugues_2013.pdf)> Acessado em: 15/02/2017.

\_\_\_\_\_. 2015 **PANORAMA dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014.** São Paulo. ABRELPE. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)> Acessado em: 17/10/2016.

\_\_\_\_\_. 2014. **PANORAMA dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013.** São Paulo. ABRELPE. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)> Acessado em: 17/10/2016.

\_\_\_\_\_. 2013. **PANORAMA dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012.** São Paulo. ABRELPE. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)> Acessado em: 17/10/2016.

\_\_\_\_\_. 2012. **PANORAMA dos Resíduos Sólidos no Brasil 2011.** São Paulo. ABRELPE. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)> Acessado em: 17/10/2016.

\_\_\_\_\_. 2011. **PANORAMA dos Resíduos Sólidos no Brasil 2010.** São Paulo. ABRELPE. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)> Acessado em: 17/10/2016.

\_\_\_\_\_. 2010. **PANORAMA dos Resíduos Sólidos no Brasil 2009.** São Paulo. ABRELPE. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)> Acessado em: 17/10/2016.

\_\_\_\_\_. 2009. **PANORAMA dos Resíduos Sólidos no Brasil 2008.** São Paulo. ABRELPE. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)> Acessado em: 17/10/2016.

\_\_\_\_\_. 2008. **PANORAMA dos Resíduos Sólidos no Brasil 2007.** São Paulo. ABRELPE. Disponível em: <[www.abrelpe.org.br](http://www.abrelpe.org.br)> Acessado em: 17/10/2016.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Estudo sobre o potencial de geração de energia a partir de resíduos de saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável.**

Disponível em:  
<[http://www.mma.gov.br/estruturas/164/\\_publicacao/164\\_publicacao10012011033201.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf)>. Acesso em: 10 nov. 2016.

CANDIANI, Giovano; SILVA, Marcus da. **Análise do Biogás no Aterro Sanitário Caieiras**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, [s.l.], v. 32, n. 1, p.69-77, 22 jun. 2011. Universidade Estadual de Londrina. DOI: 10.5433/1679-0375.2011v32n1p69.

**Censo, I. B. G. E. (2010)**. Disponível em:<<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 23 nov. 2016.

**Demográfico**, IBGE Censo. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2016.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**, Rio de Janeiro, jan. 2016. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20EI%C3%A9trica%20-%20Dezembro%202015.pdf>> Acesso em 24 fev. 2016.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização de Biogás de Aterro Sanitário para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás – Estudo de Caso**. 2011. Trabalho de Graduação Interdisciplinar apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2011.

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (2015). **Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal**: IFDM Edição 2015, Ano Base 2013. Disponível em <<http://publicacoes.firjan.org.br/ifdm/2015/files/assets/basic-html/page-1.html>>. Acesso em: 17 dez. 2016.

FRONDIZI, I. M. R. L. (Coord.). **O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação 2009**. Rio de Janeiro: Imperial Novo Milênio, FIDES, 2009. IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by T. F. Stocker et al. Cambridge/New York, Cambridge University Press, 2013.

Garcilasso, V. P., Velázquez, S. M. S. G., & Coelho, S. T. (2010). **Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente de Aterro Sanitário–Estudo de Caso**. In XIII CBE-Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro.

ICLEI, **Manual para aproveitamento de biogás**. São Paulo, 2009, 81 p.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES) (Paraná). **Anuário Estatístico do Estado do Paraná - 2011**. 2011. Disponível em: <[http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2011/index.html](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2011/index.html)>. Acesso em: 23 nov. 2016.

\_\_\_\_\_. **Anuário Estatístico do Estado do Paraná - 2013**. 2013. Disponível em: <[http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario\\_2013](http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2013)>. Acesso em: 25 nov. 2016.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (1996) - **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Inventories – Revised** 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas - Intergovernmental Panel on Climate Change, United Nations Environment Program, the Organization for Economic Co-operation and Development and The International Energy Agency, London, United Kingdom. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch6ref1.pdf>> Acesso em: 22 dez. 2016.

\_\_\_\_\_. **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories**. In: Chapter 5. Waste. 2000. Disponível em: <[http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/5\\_Waste.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/5_Waste.pdf)> Acesso em: 22 dez. 2016.

\_\_\_\_\_. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. In: Chapter 3 Solid Waste Disposal. 2006. Disponível em: < [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_3\\_Ch3\\_SWDS.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_3_Ch3_SWDS.pdf)> Acesso em: 22 dez. 2016.

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, p. 59-99, mar. 2008

Myhre, G., D. Shindell, F.-M. Bréon, W. Collins, J. Fuglestedt, J. Huang, D. Koch, J.-F. Lamarque, D. Lee, B. Mendoza, T. Nakajima, A. Robock, G. Stephens, T. Takemura and H. Zhang, 2013: **Anthropogenic and Natural Radiative Forcing**. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. pg. 714.

Pecora, V., Velázquez, S. M. S. G., Coelho, S. T.. **Aproveitamento do biogás proveniente dos resíduos sólidos urbanos para geração de energia elétrica: estudo de caso em São Paulo**. In Congresso Internacional de Bioenergia, IV, Curitiba-PR (Vol. 18).

PREFEITURA MUNICIPAL DE IBIPORÃ (Ibiporã). Sistema Autônomo Municipal de Água e Esgoto. **Recicle Agora! Ibiporã**. 2016. Disponível em: <<http://www.recicleagoraibipora.com.br/site/>>. Acesso em: 15 out. 2016.

**RELATORIO DE DESEMPENHO DE COLETA SELETIVA DE IBIPORÃ**. Londrina: Master Ambiental, v. 71, 2016. Mensal.

SOARES, L. E.. **ATERROS SANITÁRIOS COM APROVEITAMENTO ENEGÉTICO NO BRASIL: EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E ANÁLISE DE**

POTENCIALIDADES FUTURAS. 2013. 54 f. Monografia (Especialização) - Curso de Formas Alternativas de Energia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Cap. 5.

SOUZA, R. M., SERRA, J.C.V., ZUKOWSKI Jr, C. C., SANTOS, D. C. R. Análise do Potencial Energético do biogás do Aterro Sanitário de Palmas/TO para geração de Energia Elétrica. RCA-REVISTA CIENTÍFICA DAAJES, 2011

UNFCCC – UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Methodological tool: Emissions from solid waste disposal sites – Version 07.0.0.** Bonn: UNFCCC, 2011. Disponível em: <[http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-04-v6.0.0.pdf/history\\_view](http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAmethodologies/tools/am-tool-04-v6.0.0.pdf/history_view)>.